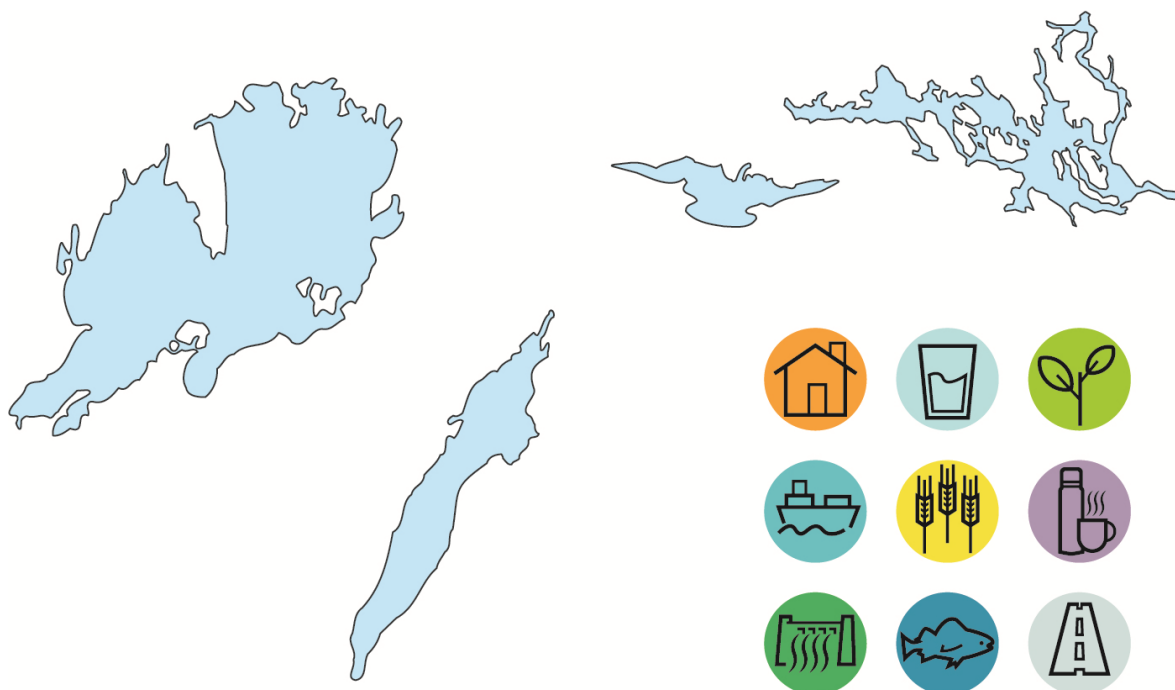


Sveriges stora sjöar idag och i framtiden

Klimatets påverkan på Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren.
Kunskapssammanställning februari 2018.

Anna Eklund, Katarina Stensen, Ghasem Alavi, Karin Jacobsson



Pärmbild. Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren samt symboler för de intressen som behandlas i denna rapport (Bebyggelse, Dricksvatten, Naturmiljö, Sjöfart, Jordbruk, Friluftsliv och turism, Vattenkraft, Fiske, infrastruktur). Illustration: Veronica Wärn, SMHI.

KLIMATOLOGI Nr 49, 2018

Sveriges stora sjöar idag och i framtiden

Klimatets påverkan på Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren.
Kunskapssammanställning februari 2018.

Anna Eklund, Katarina Stensen, Ghasem Alavi, Karin Jacobsson

Sammanfattning

I denna rapport beskrivs den klimatrelaterade problematiken kring landets fyra största sjöar i ett tidsperspektiv fram till 2100. Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren är mycket olika till sin karaktär, men vissa gemensamma problem finns. Av sjöarna är det Vänern som har de största problemen i dagens klimat och fram till slutet av detta sekel, medan Mälaren troligtvis är den sjö som kommer få störst problem i ett längre tidsperspektiv.

Klimatförändringarna medför bland annat förändrade vattennivåer, förändrade vattenflöden, ökande vattentemperatur, minskad istäckning och havsnivåhöjning vilket ger konsekvenser för olika intressen runt sjöarna.

En gemensam svårighet för klimatanpassning kring de stora sjöarna är att det inte är tydligt vem som ska ta ansvar och kostnader för klimatanpassningsåtgärder. Detta är ett hinder för att komma vidare med de problem som idag finns för Vänern och för den långsiktiga klimatanpassningen av Mälaren, bortom detta sekel.

Gemensamt för sjöarna är också att det finns behov av ytterligare underlag kring:

- Samhällsekonomiska konsekvenser av klimatförändringarna för sjöarna
- Analyser av hur ekosystemen i de enskilda sjöarna påverkas av varmare vatten och kortare perioder med is.
- Modellering av hur råvattenkvaliteten förändras i framtiden.
- Mer observationer för att fånga upp klimateffekter i sjöarna.

Till varje sjö har en referensgrupp bestående av representanter för olika intressen kring sjöarna bildats. Mycket av det som beskrivs i rapporten är underlag som tagits fram inom ramen för projektet och frågeställningar som kommit upp under möten med referensgrupperna, men även befintlig litteratur har använts.

Vänern och Göta älv

Vänern och Göta älv är ett unikt område med en komplex problembild. Hanteringen av vattensystemet berör flera viktiga samhällsfunktioner med delvis motstående intressen. Jordbrukssektorn vill hålla åkrarna torra runt Vänern, sjöfarten får problem vid låga nivåer i sjön och vattenkraftindustrin vill kunna utnyttja detta stora regleringsmagasin (Sveriges största) för att optimera elproduktionen. Längs Vänerns stränder finns mycket bebyggelse i översvämningss känsliga lägen, men också ett intresse för ytterligare exploatering längs stränderna. För att möjliggöra detta finns krav på att de högsta vattennivåerna ska undvikas. Den igenväxning av Vänerns stränder som pågår får negativa konsekvenser för naturmiljön, besöksnäringen, det rörliga friluftslivet, yrkesfisket och sportfisket. Därför framhålls behovet av att låta Vänerns nivå variera mer och därmed minska igenväxningen.

Längs Göta älv finns riskområden för skred, men också bebyggelse i översvämningss känsliga lägen. På grund av detta är tappningen till Göta älv begränsad vilket gör det svårt att släppa ut vatten ur Vänern när tillrinningen till sjön är stor. Tappningen begränsas också tidvis vid höga vattenstånd i havet. Göteborgs dricksvattenförsörjning är beroende av vatten från Göta älv och skulle kunna äventyras i händelse av ett skred längs älven. Problem med dricksvattenförsörjningen kan också uppstå vid låga flöden i älven eller höga vattennivåer i havet, på grund av att saltvatten kan tränga in till dricksvattenintaget.

Att Vänerns har stora problem redan under dagens klimatförhållanden bekräftades av översvämningarna i området under vintern 2000/2001. För att minska översvämningss risken tillämpas sedan 2008 en tappningsstrategi som har sänkt nivåerna i Vänern och ska minska risken att nå höga nivåer. Strategin minskar variationen i vattennivå, vilket kan leda till att igenväxningen ökar.

Många av dagens problem riskerar att förvärras i framtiden som en följd av den pågående globala uppvärmningen. Det beräknas bli vanligare med både höga och låga nivåer i Vänern, vilket kan medföra en ökad översvämningss risk och ökade problem för jordbruket och sjöfarten. Höga nivåer beräknas främst förekomma under vinterhalvåret då nederbörden väntas öka och i större utsträckning falla som regn. De låga nivåerna beräknas främst förekomma under sommarhalvåret, eftersom avdunstningen, både direkt från sjön och från växtligheten i Vänerns tillrinningsområde, ökar i ett varmare klimat. Det beräknas också bli vanligare med låga vattenflöden i Göta älv, vilket i kombination med en höjd havsnivå, kan leda till en mer frekvent saltvatteninträngning till Göteborgs dricksvattenintag.

Åtgärder behövs för att hantera de komplexa problemen kring Vänern och Göta älv, men det finns ingen som har ett utpekat ansvar för att driva frågan. Länsstyrelser och kommuner har påtalat detta i skrivelser till regeringen. Dessa skrivelser överlämnades år 2015 från regeringen till klimatanpassningsutredningen. Utredningen tog dock inte upp frågan om ansvar och kostnader kring åtgärder för att hantera Vänerns problem.

För att komma vidare med åtgärder behövs ett beslut kring vem som ska ta ansvar och kostnader för dessa. Det behövs en utredning som belyser behov från olika intressen samt ger förslag till lösningar. En viktig frågeställning är hur stor tappning i Göta älv som är möjlig med hänsyn till översvämningss risk, havsnivåhöjning och tekniska begränsningar vid kraftverken. Regeringen har beslutat att SGI ska inrätta en delegation kring ras och skred vid Göta älv. Dessutom har byggnation av en ny slussled i Göta älv föreslagits och beslut väntas i frågan under våren 2018. En kommande utredning kring Vänern har mycket att vinna på att samarbeta med dessa projekt.

De viktigaste intressena kring Vänern och Göta älv, beskrivning för dagens klimat samt framtida förändringar.

Intresse	Dagens klimat	Framtida förändring
 Bebyggelse  Jordbruk  Infrastruktur	Stor översvämningsrisk i Vänern och skredrisk i Göta älv	Ökad översvämningsrisk och skredrisk
 Dricksvatten runt Vänern	God kvalitet idag	Risk för sämre kvalitet på grund av varmare vatten och ökad risk för skyfall.
 Dricksvatten i Göteborg	Beroende av ett relativt högt vattenflöde i Göta älv. Problem vid höga havsnivåer. Stora konsekvenser vid ett skred.	Ökad risk för låga vattenflöden i Göta älv. Höjning av havsnivån. Ökad skredrisk.
 Naturmiljö	Igenväxning av Vänerns stränder pågår. En trolig orsak är minskad variation i vattennivå.	Oviss påverkan på igenväxningen. Stigande vattentemperaturer och minskad period med is ger nya förutsättningar och påverkan på ekosystemen.
 Sjöfart	Problem vid låga nivåer i Vänern och vid höga flöden i Göta älv.	Ökad risk för låga nivåer. Vanligare med höga flöden i Göta älv.
 Friluftsliv och turism	Igenväxning av Vänerns stränder pågår. En trolig orsak är minskad variation i vattennivå.	Osäker påverkan på igenväxning. Minskad period med is och varmare vatten.
 Fiske	Stort yrkesfiske och sportfiske.	Osäker påverkan på ekosystem och fiskpopulationer.
 Vattenkraft	Stor elproduktion.	Osäkert hur vattenkraften i Göta älv påverkas.

Vättern

Eftersom Vättern är en kall sjö har den ett speciellt kallvattenekosystem som kan förändras när vattentemperaturen ökar i framtiden. En viktig art för sjöns ekosystem är kallvattenarten storrröding. I framtiden beräknas förekomsten av vissa arter att öka och andra minska, men utredningar behövs för att säkerställa vilka förändringarna blir.

Vättern har en mycket fin vattenkvalitet och används som dricksvattentäkt av cirka 280 000 personer, både runt sjön och i några kommuner i Västergötland. Vattnet rinner vidare till Motala ström och används som dricksvatten bland annat i Linköping och Norrköping. Det finns långtgående planer på att kommuner i Örebro län från och med cirka 2027 ska hämta sitt dricksvatten från Vättern. Det skulle innebära ungefär en fördubbling av antalet människor som dricker vatten från Vättern.

I framtiden då vattnet blir varmare kan vattenkvaliteten försämrast. Det kan i sin tur leda till ett ökat behov av rening av vattnet samt att vattenintagen kan behöva flytta till ett större djup. Den här typen av problem blir troligen större i andra vattentäkter och därför är det troligt att efterfrågan på Vätterns vatten därför kommer att öka, vilket kan innebära överledning av vatten till andra kommuner.

Vättern har inte lika stora problem som Vänern vad gäller översvämningar. Vid Vättern är det endast Jönköpings kommun som har en översvämningrisk vid hög vattennivå. I framtiden beräknas de extrema nivåerna i Vättern bli oförändrade, varför översvämningsskansen i Jönköping blir fortsatt stor. Tidigare har Jönköpings kommun och kammarkollegiet tagit fram underlag för en ny vattendom för Vättern, där en ökad avtappning föreslås som sänker de högsta nivåerna i Vättern något. I dagsläget driver dock ingen av dem denna fråga.

Vid låga nivåer i sjön kan det uppstå problem för båttrafiken, både för småbåtar och för passagerarbåtar, så var fallet exempelvis 2017. I ett framtida klimat beräknas de låga nivåerna bli vanligare till följd av en ökad avdunstning. Detta kan medföra problem för båttrafiken, till exempel kan de stora passagerarbåtarna som trafikerar Göta kanal komma att få problem att ta sig förbi slusströsklarna i Motala och Forsvik.

De viktigaste intressena kring Vättern, beskrivning och problem i dagens klimat samt framtida förändringar.

Intresse	Dagens klimat	Framtida förändring
 Bebyggelse  Infrastruktur	Jönköping översvämningskänsligt.	Oförändrad översvämningsrisk.
 Dricksvatten	God vattenkvalitet	Risk för sämre kvalitet på grund av varmare vatten och ökad risk för skyfall. Eventuellt större efterfrågan på Vätterns vatten.
 Naturmiljö	Unikt kallvattenekosystem	Stigande vattentemperaturer och minskad period med is ger påverkan på ekosystemen.
 Sjöfart	Problem vid låga nivåer.	Vanligare med låga nivåer
 Friluftsliv och turism	Stort året runt.	Minskad period med is och varmare vatten.
 Fiske	Stort yrkesfiske och sportfiske.	Stigande vattentemperaturer och minskad period med is ger påverkan på ekosystemen.

Mälaren

Kring Mälaren bor många människor och mycket infrastruktur är samlad vid dess utlopp genom Stockholm. Mälaren är också Sveriges största vattentäkt och försörjer cirka 2 miljoner människor med dricksvatten.

Idag finns en stor risk för översvämningar runt Mälaren. Risken kommer att minska betydligt, när Slussen som byggs i Stockholm är färdig och ger en ökad tappningskapacitet.

För att öka avtappningskapaciteten i Slussens ombyggnad och för att kunna ta i drift en ny reglering av Mälaren krävdes tillstånd enligt miljöbalken. Processen med att ta fram den nya regleringen har varit ett stort arbete under många år och har involverat ett stort antal intressenter. Tillstånden enligt miljöbalken har vunnit laga kraft.

I ett varmare klimat stiger havet. Mälaren som ligger i medel 70 cm över Saltsjöns vattenyta kommer på lång sikt att påverkas av detta då det blir svårare att tappa vatten från sjön. Den nya Slussen ger goda möjligheter att hantera en havsnivåhöjning, åtminstone fram mot slutet av århundradet. Däremot behövs ställningstagande i frågan om hur en havsnivåhöjning hanteras och hur detta påverkar vattennivåerna i Mälaren på längre sikt. Anledningen är de stora konsekvenser och stora kostnader för bebyggelse, infrastruktur, naturmiljö och dricksvattenproduktion som stigande vattennivåer kan innebära på lång sikt för Mälaren.

Länsstyrelserna har i en förstudie tagit fram tre alternativ för hur detta kan hanteras på lång sikt, någon gång bortom 2100:

- Mälaren tillåts återgå som havsvik vilket kräver ny dricksvattentäkt alternativt ny teknik för dricksvattenproduktion.
- Mälaren höjs i samma takt som havet vilket innebär stor påverkan på bebyggelse och infrastruktur runt sjön.
- Barriärer och vallar byggs i skärgården.

Oavsett vilket alternativ som väljs kommer konsekvenserna bli stora. Det är därför viktigt att ett beslut fattas för att underlätta den långsiktiga planeringen.

I framtiden kan det bli vanligare med låga nivåer i Mälaren, något som kan påverka bland annat sjöfarten.

I ett varmare klimat stiger vattentemperaturen och perioden med istäcke kommer att minska. Detta kommer påverka Mälarens ekosystem, men även råvattenkvaliten och kostnaden för att rena Mälarens vatten till dricksvatten av god kvalitet. En ökande brunifiering har uppmätts, även om denna inte är helt tydligt kopplad till klimatet.

De viktigaste intressena kring Mälaren, beskrivning och problem i dagens klimat samt framtida förändringar.

Intresse	Dagens klimat	Framtida förändring
 Bebyggelse  Jordbruk  Infrastruktur	Stor översvämningsrisk fram tills ny sluss är färdigbyggd.	Lägre risk när Slussen är färdigbyggd. Risken ökar med en ökad havsnivå. Osäker påverkan bortom 2100 beroende på hur havsnivåhöjningen hanteras.
 Dricksvatten	Sveriges största vattentäkt. God vattenkvalitet. Ökande brunifiering.	Ökande vattentemperaturer, minskad period med is och ökad risk för skyfall medför risk för försämrad dricksvattenkvalitet alternativt dyrare teknik vid rening. Osäker påverkan bortom 2100 beroende på hur havsnivåhöjningen hanteras.
 Naturmiljö	Varierande och mycket skyddsvärd natur. Övergödning.	Ökande vattentemperaturer och minskad period med is ger nya förutsättningar och påverkan på ekosystemen. Osäker påverkan bortom 2100 beroende på hur havsnivåhöjningen hanteras.
 Sjöfart	Stor farled. Inga stora problem.	Ökad risk för låga nivåer mot mitten av århundradet. Osäker påverkan bortom 2100 beroende på hur havsnivåhöjningen hanteras.
 Friluftsliv och turism	Stort året runt.	Minskad period med is och varmare vatten.
 Fiske	Stort yrkesfiske och sportfiske.	Osäker påverkan på ekosystemet och fiskpopulationer.

Hjälmaren

Runt Hjälmaren finns mycket låglänt jordbruksmark som uppkom efter den stora sänkningen av vattennivån som gjordes i slutet av 1800-talet. När Hjälmarens nivå är hög finns risk att delar av denna mark översvämmas. Marken kan också översvämmas till följd av kraftig nederbörd som faller innanför invallningarna mot Hjälmaren. I framtiden beräknas det bli något vanligare med höga nivåer i Hjälmaren och risken för kraftig nederbörd beräknas öka.

Vid låga nivåer i Hjälmaren uppstår problem för båttrafiken, speciellt i de västra delarna, som är mycket grunda. Det märktes sommaren 2017 när nivån var låg. I framtiden beräknas dessa problem öka, eftersom låga nivåer väntas bli vanligare.

Hjälmarens vatten används som dricksvatten i Arboga och Eskilstuna. Idag förekommer vissa problem med råvattenkvaliteten i Hjälmaren, bland annat i samband med algbloomningar. Vattenkvaliteten kan bli sämre i framtiden när vattentemperaturen ökar. Eftersom Hjälmaren är grund kommer det vara svårt att hitta kallt bottenvatten och det kan få stora konsekvenser för dricksvattenförsörjningen.

Varmare vatten ger också nya förutsättningar för ekosystemet. Troligtvis kommer vissa arter att gynnas och andra missgynnas, men mer utredningar behövs kring detta.

De viktigaste intressena kring Hjälmaren, problem i dagens klimat och framtida förändringar.

Intresse	Dagens klimat	Framtida förändring
 Bebyggelse  Infrastruktur	Inga stora översvämningsproblem.	Något ökad risk för översvämnningar.
 Dricksvatten	Vissa problem med råvattenkvalitet.	Varmare vatten och ökad risk för skyfall kan leda till sämre vattenkvalitet.
 Naturmiljö	Varierande natur påverkad av övergödning.	Stigande vattentemperaturer och minskad period med is ger nya förutsättningar och påverkan på ekosystemen.
 Jordbruk	Stor risk för översvämnningar vid höga nivåer i Hjälmaren och vid kraftig nederbörd.	Något ökad risk i framtiden på grund av Hjälmarens nivå. Ökad risk på grund av kraftig nederbörd.
 Sjöfart	Problem för passagerarbåtar och fritidsbåtar vid låga nivåer.	Ökad risk för låga nivåer i Hjälmaren.
 Friluftsliv och turism	Stort året runt.	Minskad period med is och varmare vatten.
 Fiske	Stort yrkesfiske och sportfiske.	Osäker påverkan på ekosystemet och fiskpopulationer.

Ordlista

100-årsnivå och 200-årsnivå	Vattennivåer som inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under en period av 100 respektive 200 år. Mer information i Bilaga A.
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 nederbördsmängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. Kallas ibland också dimensionerande nivå.
Buffertkapacitet	En sjös förmåga att stå emot förurning.
Dimensionerande nivå	Se Beräknad högsta nivå.
Dämningsgräns	I ett regleringsmagasin strävar man efter att reglera vattennivån mellan dämningsgränsen och sänkningsgränsen där dämningsgränsen är den högsta nivån. Om vattennivån når över dämningsgräns finns ofta bestämmelser för hur tappning ska hanteras.
Invasiv art	En art som med människans hjälp direkt eller indirekt tar sig in i ett nytt ekosystem och som växer till ibland kraftigt, och i samband med detta påverka inhemsk biologisk mångfald eller orsaka stora socioekonomiska skador.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, FN:s klimatpanel.
Klimatscenario	En beskrivning av en tänkbar klimatutveckling i framtiden med hjälp av antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser.
Kraftverksdamm	Konstruktion för att dämna upp vatten i ett magasin för produktion av vattenkraft.
Naturlig nivå	Vattennivån vid oreglerade förhållanden.
Nya Slussen	Den sluss vid Söderström i Stockholm som är under ombyggnation.
Omsättningstid	Den genomsnittliga tid som en vattenpartikel uppehåller sig i en sjö. Beräknas utifrån sjövolymen och medelflöde vid utloppet.
RCP	RCP-scenarier 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. Referensperioderna definieras av Meteorologiska världsförbundet, WMO. I denna rapport har även en annan referensperiod använts; 1997-2015 för beräkningen av vattentemperatur och is. Referensperioden definierad av WMO har av beräkningstekniska skäl inte kunna användas vid dessa beräkningar.
Regleringsmagasin	Uppdämt vatten i vattendrag eller sjö som används till kraftproduktion. Magasinet volym är den vattenvolym som finns mellan sänkningsgräns och dämningsgräns.
RH00	Rikets höjdsystem 1900, RH00, baseras på den första precisionsavvägningen av Sverige som genomfördes under åren 1886-1905. Nivåer anges i meter över havet.
RH2000	Rikets Höjdsystem 2000, RH2000, är Sveriges nya

	nationella höjdsystem. Baseras på precisionsavvägningen som utfördes under åren 1979-2003
Råvatten	Vattnet innan det renats i ett dricksvattenverk
Skiktning	Då vattenmassor med olika fysikaliska och kemiska egenskaper delas upp i ett ytskikt och ett bottenskikt. I denna rapport avses skiktning på grund av temperatur.
Slussenprojektet	Det projekt som pågått kring ombyggnation av slussen i Söderström och stora delar av Slussenområdet i Stockholm.
Stormflod	Nivån på det högsta uppmätta havsvattenståndet under en högvattenhändelse
Sänkningsgräns	I ett regleringsmagasin strävar man efter att regler vattennivån mellan dämningssgränsen och sänkingsgränsen där sänkingsgränsen är den lägsta nivån.
Tappning	Den mängd vatten som tappas från en reglerad sjö. Anges oftast i kubikmeter per sekund, m ³ /s.
Tappningskapacitet	Den maximala tappning som går att tappa från en sjö eller regleringsmagasin.
Tappningsstrategi	En strategi som anger hur tappningen från en sjö eller regleringsmagasin ska skötas.
Tillrinning	Det vatten som rinner till en sjö från vattendrag och grundvatten.
Vattendom	En juridisk handling som utgör beslut och tillstånd för en vattenverksamhet.
Vattenflöde	Hur mycket vatten som passerar genom en tvärsektion av vattendraget per tidsenhet. Anges i m ³ /s.
Vattenhushållningsbestämmelser	Bestämmelser kring hur vattnet ska tappas ur en sjö eller regleringsmagasin eller kring hur vattennivån i en sjö eller regleringsmagasin får variera.
Vattenreglering	Mänsklig påverkan av vattenflödet i ett vattendrag eller sjö genom uppsamling av vatten i regleringsmagasin.
Vattenstånd	Vattennivå.
Vattenverksamhet	Vattenverksamhet är benämningen på i princip alla verksamheter och åtgärder som med syfte att förändra vattnets djup eller läge, avvattnar mark, leder bort grundvatten eller ökar grundvattenmängden genom tillförsel av vatten.
Återkomsttid	Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Mer information i Bilaga A.

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION	1
1.1	Läsanvisning.....	1
1.2	Bakgrund och syfte	2
1.3	Underlag till rapporten	2
1.3.1	Nya beräkningar för vattennivåer, tappningar och vattentemperatur och is idag och i ett framtida klimat.....	2
1.3.2	Referensgrupper	3
1.3.3	Litteraturstudie	3
1.4	Problembild utifrån olika tidsperspektiv.....	4
1.5	Avgränsningar	4
2	SVERIGES STORA SJÖAR	5
3	VÄNERN OCH GÖTA ÄLV.....	6
3.1	Intressen vid Vänern och Göta älv.....	7
3.2	Historiska förändringar.....	10
3.2.1	Vänerns vattendom.....	11
3.2.2	Höga nivåer 2000/2001	13
3.2.3	Överenskommelse om en tappningsstrategi för Vänern 2008	13
3.2.4	Naturanpassad tappningsstrategi.....	14
3.2.5	Skredrisk i Göta älv.....	15
3.3	Klimatförändringar i och kring Vänern.....	16
3.3.1	Förändrade vattennivåer.....	16
3.3.2	Förändrad tappning i Göta älv	18
3.3.3	Varmare vatten och kortare period med is	19
3.3.4	Vanligare med skyfall.....	20
3.4	Problem idag och i ett framtida klimat	21
3.4.1	Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat.....	21
3.4.2	Förändrad tillrinning och ökning av skyfall.....	24
3.4.3	Låga vattennivåer idag och i ett framtida klimat	24
3.4.4	Liten variation i vattennivå idag och i ett framtida klimat	25
3.4.5	Högt vattenflöde i Göta älv idag och i framtiden.....	26
3.4.6	Lågt vattenflöde i Göta älv, idag och i framtiden	26
3.4.7	Skredrisk i Göta älv idag och i framtiden	27
3.4.8	Ökande vattentemperaturer och minskad period med is.....	27
3.4.9	Hög havsnivå idag och i framtiden	28
3.5	Vad har gjorts?	29
3.5.1	Klimat- och sårbarhetsutredningen 2006.....	29
3.5.2	Tappningsstrategier 2008 och 2014	29
3.5.3	Göta älvutredningen 2012	30

3.5.4	Skrivelser till regeringen, 2014-2015	30
3.5.5	Klimatanpassningsutredningen, 2017	30
3.5.6	Delegation för Göta älv 2018	31
3.5.7	Ny slussled, beslut under 2018	31
3.6	Vad behöver göras?	32
3.6.1	Tappningskapacitet Göta älv	32
3.6.2	Samhällsekonomiska konsekvenser	32
3.6.3	Ansvarsfördelning och ny utredning	32
4	VÄTTERN.....	33
4.1	Intressen kring sjön	34
4.2	Historiska förändringar	38
4.2.1	Göta kanal	38
4.2.2	Vätterns reglering	39
4.2.3	Hög vattennivå 1999.....	41
4.2.4	Låg vattennivå 2016/2017	41
4.2.5	Vattentemperatur och is.....	42
4.3	Klimatförändringar i och kring Vättern.....	44
4.3.1	Förändrade vattennivåer.....	44
4.3.2	Förändrad tappning från Vättern	46
4.3.3	Varmare vatten och kortare period med is	47
4.3.4	Vanligare med skyfall.....	48
4.4	Problem idag och i ett framtida klimat	49
4.4.1	Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat.....	49
4.4.2	Förändrad tillrinning och ökning av skyfall.....	51
4.4.3	Låga vattennivåer idag och i ett framtida klimat	51
4.4.4	Låga tappningar i Motala Ström	51
4.4.5	Ökande vattentemperaturer och minskad period med is.....	52
4.4.6	Ökad lufttemperatur	53
4.5	Vad behöver göras?	54
4.5.1	Ytterligare beräkningar	54
4.5.2	Ökad övervakning	54
4.5.3	Samhällsekonomiska konsekvenser	54
4.5.4	Framtagande av ny vattendom	54
5	MÄLAREN.....	55
5.1	Intressen kring sjön	57
5.2	Historiska förändringar	60
5.2.1	Från havsvik till sötvattensjö.....	60
5.2.2	De första slussarna byggs	60
5.2.3	Mälarens vattennivå.....	60

5.2.4	Första vattendomen och 1930-talets sluss.....	62
5.2.5	Höga nivåer 2000	63
5.3	Projekt Slussen.....	64
5.3.1	Framtagande av ny regleringsstrategi och ny vattendom för Mälaren	64
5.3.2	Klimatanpassning	65
5.4	Klimatförändringar i och kring Mälaren	67
5.4.1	Stigande havsnivå	67
5.4.2	Förändrad tillrinning och vattennivåer	68
5.4.3	Mälarens vattennivå efter 2100.	69
5.4.4	Varmare vatten och kortare period med is	69
5.4.5	Vanligare med skyfall.....	71
5.5	Problem idag och i ett framtida klimat	72
5.5.1	Stigande havsnivå	72
5.5.2	Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat.....	73
5.5.3	Förändrad tillrinning och ökning av skyfall.....	74
5.5.4	Låga nivåer idag och i ett framtida klimat.....	75
5.5.5	Ökande vattentemperaturer och minskad period med is.....	75
5.6	Vad behöver göras?	78
5.6.1	Översvämningsproblematik på lång sikt.....	78
5.6.2	Användande av befintligt material kring höga vattennivåer.....	78
5.6.3	Ny form av underlag ställer krav på nytt förhållningssätt.....	78
5.6.4	Kunskapsbehov	79
6	HJÄLMAREN	80
6.1	Intressen kring sjön	81
6.2	Historiska förändringar.....	84
6.2.1	Hjälmare kanal.....	84
6.2.2	Sjösänkningen	84
6.2.3	Reglering av sjön	86
6.2.4	Låg vattennivå 2016/2017	88
6.3	Klimatförändringar i och kring Hjälmarén.....	89
6.3.1	Förändrade vattennivåer.....	89
6.3.2	Varmare vatten och kortare period med is	91
6.3.3	Vanligare med skyfall.....	92
6.4	Problem idag och i ett framtida klimat	93
6.4.1	Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat.....	93
6.4.2	Förändrad tillrinning och ökning av skyfall.....	94
6.4.3	Låga nivåer idag och i ett framtida klimat.....	95
6.4.4	Ökande vattentemperaturer och minskad period med is.....	95
6.5	Vad behöver göras?	97

6.5.1	Inventering och övervakning.....	97
6.5.2	Åtgärder kopplat till höga vattennivåer och kraftig nederbörd	97
6.5.3	Åtgärder kopplat till låga vattennivåer	97
6.5.4	Ändrade vattenhushållningsbestämmelser.....	98
7	BEHOV AV ÅTGÄRDER	99
7.1	Ansvarsfördelning.....	99
7.2	Nytt förhållningssätt.....	99
7.3	Kunskapsbehov	99
7.4	Större utredningar	101
8	TACKORD.....	102
9	REFERENSER	103
9.1	Skriftliga referenser.....	103
9.2	Personliga kommentarer	112
BILAGA A. ÅTERKOMSTTID, SANNOLIKHET OCH RISK		
BILAGA B. HÖJDSYSTEM		

1 Introduktion

1.1 Läsanvisning

Den här rapporten beskriver den klimatrelaterade problematiken kring Sveriges fyra största sjöar i dagens klimat och hur den kan förändras i framtiden samt vilka konsekvenser det får för olika intressen kring sjöarna. Grundläggande fakta och övergripande intressen kring sjöarna beskrivs översiktligt.

Rapporten är uppbyggd med en inledande del samt en allmän beskrivning av de fyra största sjöarna. Sedan behandlas respektive sjö separat indelat i kapitel:

- Allmänt om sjön
- Intressen
- Historiska förändringar
- Klimatförändringar kring sjön
- Dagens och framtida problem
- Vad behöver göras?

Rapporten avslutas med en diskussion kring generell problematik kring klimatanpassning för sjöarna. I den diskussionen beskrivs också svårigheter som återstår för att komma vidare med både klimatanpassning och de problem som finns i dagens klimat.

Följande intressen har beaktats i rapporten. Dessa beskrivs utan någon speciell rangordning.



Bebyggelse



Sjöfart



Dricksvatten



Friluftsliv och turism



Naturmiljö



Fiske



Jordbruk



Vattenkraft



Infrastruktur

1.2 Bakgrund och syfte

Sveriges stora sjöar används idag av många intressenter och för en bred verksamhet. Många människor bor längs med sjöarnas stränder och det finns rikligt med viktig infrastruktur och viktiga samhällsfunktioner vid sjöarna. Sjöarna fungerar som transportleder, dricksvattenresurser samt används för friluftsliv, turism och för elkraftproduktion. De är också viktiga miljöer för växt- och djurliv. Ett förändrat klimat innebär förändrad tillrinning, förändrade vattennivåer och högre vattentemperaturer. Detta påverkar sjöarnas framtida användning.

I denna rapport har den klimatrelaterade problematiken kring Sveriges största sjöar studerats med avseende på nuvarande och framtida klimat. Här beskrivs översiktligt de problem som påverkas av tillrinning, vattennivåer, tappningar, vattentemperatur och issituation. Syftet har varit att ta fram en kunskapssammanställning som kan tjäna som underlag för beslutsfattare samt för kommande utredningar som syftar till att föreslå lösningar på den identifierade problematiken.

Ett mål med rapporten har varit att sammanfatta den komplexa problembilden på ett övergripande sätt så att även den som inte har så stor kännedom om sjöarna snabbt ska kunna sätta sig in i frågan.

Det har också varit ett mål att samla alla intressens problematik i en rapport så att motsättningar eller synergier kan identifieras. Lösningar på problematiken behandlas inte djupare i denna rapport.

Rapporten har tagits fram i ett projekt som initierats och finansierats av SMHI.

1.3 Underlag till rapporten

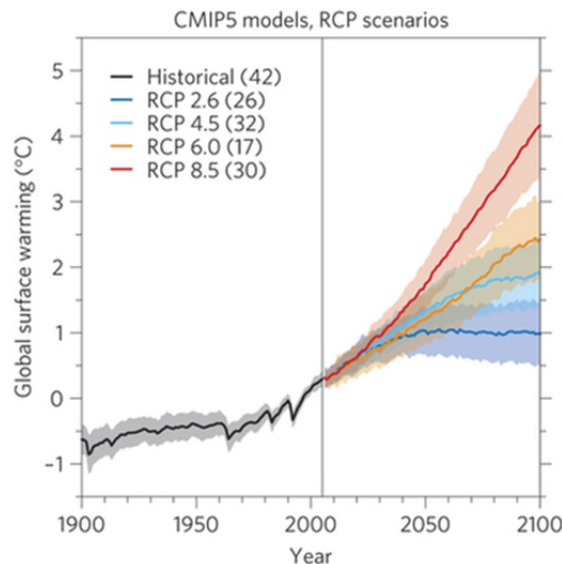
1.3.1 Nya beräkningar för vattennivåer, tappningar och vattentemperatur och is idag och i ett framtida klimat.

Den här rapporten är den sista och sammanfattande delen av ett större projekt som även inkluderat beräkningar av framtida nivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Väner, Vättern och Hjälmaren. För Mälaren har beräkningar av vattentemperatur och isförhållanden i framtiden tagits fram. Mälarens vattennivåer har utretts grundligt inom Slussenprojektet, det projekt som ansvarar för byggnationen av Nya slussen i Stockholm och framtagande av en ny reglering för Mälaren. Därför togs inga nya nivåer för Mälaren fram.

Resultatet från beräkningarna har samlats i fyra rapporter och använts som ett av underlagen till denna sammanställning (Eklund m. fl., 2017a; Eklund m. fl., 2017b; Eklund m. fl., 2017c och Stensen m. fl., 2017).

Grundläggande för dessa beräkningar är att 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. Till följande resultat har två RCP-scenarier använts, RCP4.5 som bygger på begränsade utsläpp, och RCP8.5 med höga utsläpp (IPCC, 2013a).



Figur 1 Global uppvärmning relativt år 2000 för de fyra olika RCP-scenarierna. Från IPCC (2013a).

1.3.2 Referensgrupper

För varje sjö har en referensgrupp med företrädare för olika intressen kring sjön bildats. Referensgrupperna har varit viktiga i arbetet och har bidragit med värdefull kunskap om vilka konsekvenser som uppstår vid klimatpåverkan. De har till exempel deltagit i diskussioner kring frågor som: Vad påverkas vid höga vattennivåer? Vad händer i sjön om den islagda perioden blir kortare? Hur kan vattenkvaliteten påverkas vid varmare vatten?

Referensgrupperna har bestått av berörda länsstyrelser och någon eller några kommuner, vattenvårdsförbunden, kraftproducenter, dricksvattenproducenter, LRF, Sjöfartsverket, Trafikverket, SGI, Vänersamarbetet, Göta-Kanalbolag och Slussenprojektet.

Möten har hållits med Väners referensgrupp 2016-10-07 och 2017-04-07.

Möten har hållits med Vättern referensgrupp 2016-11-09 och 2017-03-31.

Möten har hållits med Mälaren referensgrupp 2017-05-22.

Möten har hållits med Hjälmaren referensgrupp 2016-11-10 och 2017-04-04.

Minnesanteckningar har förts vid samtliga tillfällen.

Under projektet har vi även haft kontakt med MSB och HaV.

1.3.3 Litteraturstudie

Mycket finns redan skrivet om de fyra sjöarna, därför har en litteraturstudie genomförts för att samla ihop väsentlig information.

Det kan vara värt att notera att de fyra sjöarna har olika problembild och det finns olika mycket underlag kring hur de påverkas i ett framtida klimat. Variationen i underlag återspeglas i denna rapport. Mest litteratur finns om Mälaren och Väner, men även för Vättern finns en del undersökningar. För Hjälmaren finns inte lika mycket litteratur.

Det är också viktigt att poängtera att påverkan på akvatiska miljöer i framtiden är betydligt mer osäker än övriga förändringar. Det komplexa samband som finns mellan arter i sjön är svårbeskrivet och det är ännu svårare att beräkna hur sambandet förändras

när klimatet förändras. Det behövs mer forskning för att utreda detta (Adrian m. fl., 2009).

Till denna sammanställning har det sjöspecifika underlag som finns använts, men även allmän forskning och rapporter från liknande miljöer. SMHIs ambition har varit att beskriva förändringar i naturmiljön översiktligt.

1.4 Problembild utifrån olika tidsperspektiv.

Problembilden för olika intressen har beskrivs utifrån:

- Historiskt perspektiv
- För dagens klimat
- För ett framtida klimat.

Framtida problembild har beskrivits utifrån det klimatunderlag som finns och som främst gäller fram till slutet av århundradet. I de fall som det har varit aktuellt att lyfta vad som händer efter 2100 har vi gjort detta. Det gäller främst problematiken kring hur Mälaren påverkas av en höjning av havsnivån.

Klimatförändringarna kommer inte sluta år 2100 utan de kommer att pågå under lång tid framöver beroende av halten av växthusgaser i atmosfären. Frågeställningen hur varmt blir det till 2080 kanske inte är lika intressant som hur snabbt vi når en viss temperatur? En stor del av de effekter som visas i kraftigare utsläppsscenario kan bli aktuella även för scenarier med lägre utsläpp men då längre fram i tiden. En anpassning till ett varmare klimat kommer alltså att krävas, frågan är bara när och hur mycket.

1.5 Avgränsningar

Projektet behandlar de fyra största sjöarna i Sverige. Deras avrinningsområde eller tillrinnande vattendrag har inte studerats men inkluderas ibland i diskussioner och vidare resonemang. Väterns och Göta älvs problematik är kraftigt beroende av varandra och därför tas även Göta älv upp i denna rapport. Detta gäller även till viss del Eskilstunaån nedströms Hjälmaren och Motala ström nedströms Vättern.

Det är endast den klimatrelaterade problematiken kring sjöarna som tas upp i rapporten, det vill säga förändring i tillrinning, vattennivå, vattentemperatur och issituation. För Mälaren och Vätern tas även havsnivåhöjningen upp. Förändringen beskrivs för olika klimatscenarier medan konsekvenserna av klimatförändringarna beskrivs mer generellt och inte uppdelat för de olika klimatscenierna. Vattennivåer behandlas något utförligare än övriga faktorer.

Faktorer som inte beror av klimatet, såsom utsläpp av föroreningar, tas inte upp. Sekundära effekter som till exempel stora förändringar i befolkning kring sjöar på grund av klimatförändringar behandlas inte.

2 Sveriges stora sjöar

Sveriges fyra största sjöar ligger i den södra delen av landet. Sjöarna har varierande karaktär, men det finns också en del likheter. Vänern är en mycket stor sjö med havslika delar, Vättern är djup och Hjälmaren grund. Mälaren ligger i medeltal endast 0,7 m över havets nivå. Alla dessa sjöar är reglerade och har en vattendom kopplad till regleringen.



Figur 2. Sveriges fyra största sjöar.

Tabell 1. Sammanfattning av Sveriges fyra största sjöar.

	Vänern	Vättern	Mälaren	Hjälmaren
Areal (km ²) ¹	5 449	1 885	1 074	463
Avrinningsområdets storlek (km ²) ²	46 826	6 376	22 636	3 806
Medeldjup (m) ³	27	40	13	6
Ungefärligt maxdjup (m) ³	106	120	66	18
Vattenvolym (km ³) ³	153	73,5	14,3	3,0
Ungefärligt medelflöde vid utloppet (m ³ /s)	524 ⁴	39 ⁵	160 ⁶	Cirka 22 ^{*7}
Ungefärlig omsättningstid (år) ⁸	9	60	3	4
Antal län vid sjön	2	4	4	3
Antal kommuner vid sjön	13	8	23	5

Källor:

¹ Lantmäteriet (2018)

² Vattenwebb (2017a)

³ Vattenwebb (2017b)

⁴ SMHI (2017a)

⁵ SMHI (2017b)

⁶ SMHI (2017c)

⁷ SMHI (2017d)

⁸ Se ordlista

*Osäkert värde

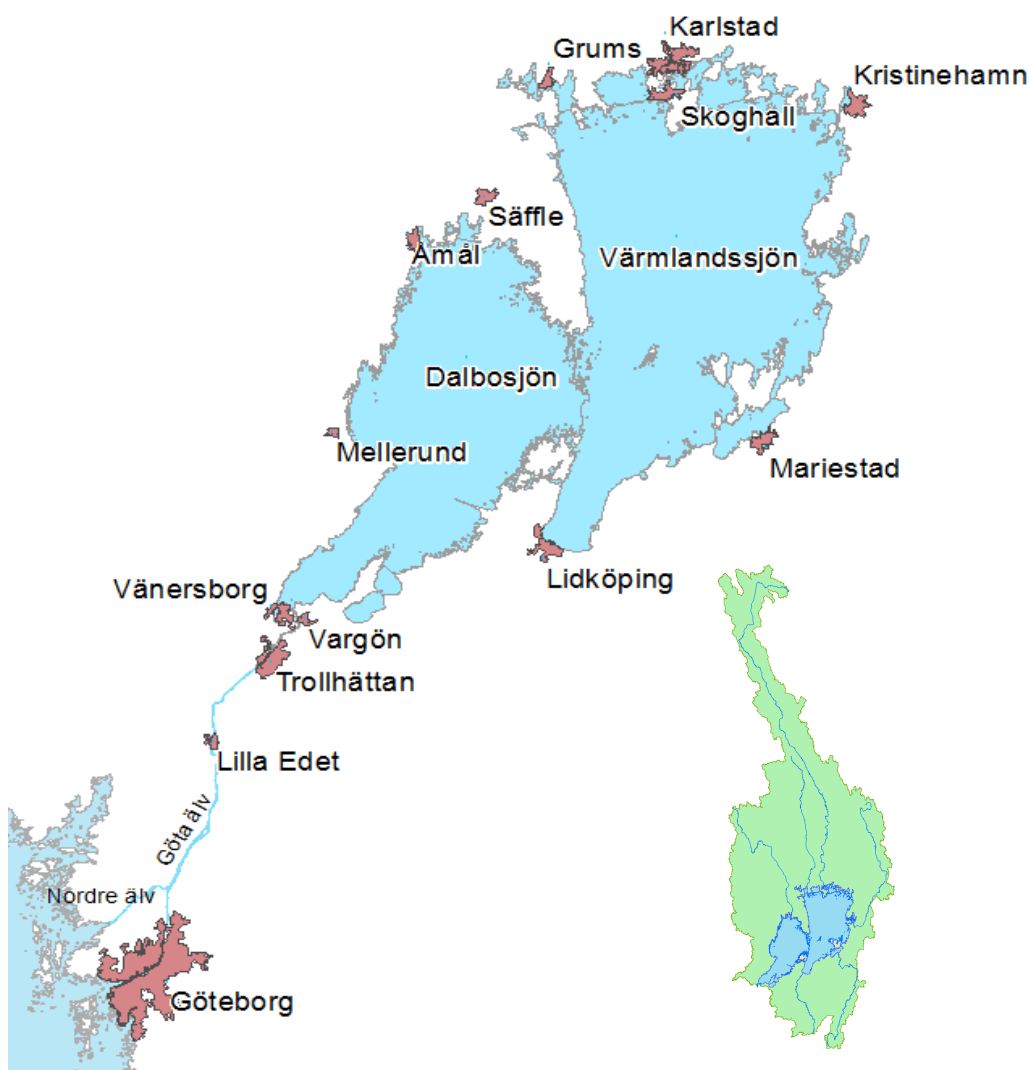
I denna rapport anges Vänerns, Vätterns och Hjälmarens vattennivåer i höjdsystemet RH00 och Mälarens i höjdsystemet RH2000. För mer information kring detta se Bilaga B.

3 Vänern och Göta älv

Vänern är Sveriges största sjö och Europas tredje största efter Ladoga och Onega i Ryssland. Delar av Vänerns stränder är havslika klippor och skär, men det finns också strandängar, sumpskogar och våtmarksområden.

Vänern har ett stort tillrinningsområde, som motsvarar cirka 10 % av Sveriges yta. Större vattendrag som rinner till Vänern är Klarälven, Gullspångsälven, Byälven, Norsälven, Upperudsälven, Lidan och Tidan. I de flesta vattendrag som rinner till Vänern finns vattenregleringar och det största vattenmagasinet är Höljes i Klarälven.

De norra delarna av avrinningsområdet ligger i fjälltrakterna och delvis i Norge och har stabila vintrar och en tydlig vårflod. De södra delarna av avrinningsområdet har oftast inte någon tydlig vårflod. Vattnet i Vänern tappas ut genom Göta älv, som är det vattendrag i landet som har störst medelflöde, cirka 550 m³/s. Vid Kungälv delar älven upp sig i och Göta älv, som rinner genom Göteborg och Nordre älv.



Figur 3. Vänern och Göta älv till vänster. Vänerns avrinningsområde till höger.

3.1 Intressen vid Vänern och Göta älv

Det finns många intressen som är beroende av Vänern och Göta älv på olika sätt. Många människor bor i området och det finns mycket jordbruksmark kring stränderna. Vänern är utpekad som riksintresse för friluftsliv, turism, fiske och naturvård. Vänern och Göta älv har också stor betydelse för dricksvattenproduktion, sjöfart och vattenkraft. I Vänern och Göta älv finns viktiga miljöer för många växter och djur.

Klimatfrågan kring Vänern är komplex, inte minst för att det finns så många intressen kring sjön. Eftersom Göta älv är så starkt beroende av Vänern går det inte att separera dessa utan även intressena kring Göta älv behandlas här (Figur 4).



Figur 4. Olika intressen med dess önskemål kring Vänern och Göta älv. Källa foto naturmiljö: Vänerns vattenvårdsförbund. Källa foto bebyggelse, jordbruk och vattenkraft: Sten Bergström.



Runt Vänern bor cirka 0,3 miljoner människor. Den största orten är Karlstad och andra stora orter är Lidköping och Vänersborg. Av de 18 utpekade områdena i Sverige med betydande översvämningsrisk finns Karlstad (MSB, 2018). Vid Göta älv är de största orterna Göteborg, Trollhättan, Lilla Edet och Vänersborg. Speciellt Göteborg växer snabbt och befolkningen i kommunen beräknas öka med nästan en tredjedel till år 2035 (Göteborgs stad, 2018).



Idag får cirka 800 000 personer sitt dricksvatten från Vänern och Göta älv (Vänerns vattenvårdsförbund, 2016). Dricksvattenkvaliteten i Vänern är god. Det är 11 kommuner som tar sitt dricksvatten från Vänern, varav vattenverket i Karlstad har störst produktion.

Flera kommuner tar också dricksvatten från Göta älv. Älven är till exempel huvudvattentäkt för Göteborg. Totalt kommer 82 % av Göteborgs dricksvatten från Göta älv (Göteborgsregionens kommunalförbund, 2014). Vattnet från Göta älv tas vid Lärjeholm, cirka 7 km uppströms centrala Göteborg och det sker en omfattande rening av vattnet (Göteborgs stad, 2017).

En del av vattentäkterna är skyddade med vattenskyddsområden, medan andra vattentäkter runt Vänern saknar skydd. Sedan några år driver Vänersborg, Trollhättan, Lilla Edet, Ale, Kungälv samt Göteborgs kommuner ett projekt tillsammans för att skapa ett vattenskyddsområde för Vänersborgsviken och Göta älv (Vänerns vattenvårdsförbund, 2016). Dricksvattenanläggningarna i Göteborg och Karlstad är av Havs- och vattenmyndigheten utpekade som riksintresse för dricksvattenförsörjningen (Havs- och vattenmyndigheten, 2017c).



Stora områden av Vänern och dess omgivningar är Natura 2000-områden (Naturvårdsverket 2017a), både med hänsyn till fågeldirektivet och art- och habitatdirektivet. Djurö skärgård är en av Sveriges 29 Nationalparker. Det finns också biosfärsområden, naturreservat och områden med riksintresse för naturvård.

Vid Vänern finns många fågelarter och en viktig miljö för dessa är de cirka 700 öppna fågelskären i sjön, som utgör häckningsmiljöer för kolonihäckande fågelarter, till exempel fisktärna och silvertärna. I Vänern finns också många olika fiskarter och de grunda vikarna är viktiga lek- och uppväxtområden. Till exempel är gädda en viktig art som påverkar hela ekosystemet (Sandström m.fl., 2017). Runt sjön finns också många viktiga miljöer för växter; hållmarkstallskog, betade strandängar, kala skär och lövsumpskogar (Vänerns vattenvårdsförbund, 2007).

Vänern har ett relativt kallt vatten och hyser därför så kallade kallvattenarter. I Sverige finns 7 stycken glacialrelikta kräftdjur, det vill säga kräftdjur som invandrade till Sverige under den senaste istiden och sedan blivit kvar i vissa sjöar med kallt vatten. Det är bara i Vänern och Vättern som samtliga av dessa kräftdjur finns. (Kinsten, 2017).

Basprogrammet för miljöövervakningen i Vänern ingår i det nationella sötvattenprogrammet. Detta delfinansieras av Havs- och vattenmyndigheten (Havs- och vattenmyndigheten, 2017a).



Det finns många vägar som går i närheten av Vänern, varav de största är E18, E20, riksväg 26, riksväg 44 och riksväg 45. Det finns också tre järnvägssträckor som går nära Vänern, Stockholm-Oslo, Karlstad-Göteborg samt Kinnekullebanan på Vänerns östra sida.



Runt Vänern finns stora arealer jordbruksmark, som används både för djurhållning och för växtodling. Stora delar av denna mark är invallad. Området är viktigt ur livsmedelssynpunkt då det står för en stor andel av sysselsättningen i regionen, både i basnäringen och i livsmedelsindustrin. Nyligen har regeringen antagit en livsmedelsstrategi som innebär att livsmedelsproduktionen ska öka i landet.



Handelssjöfarten på Göta älv och Vänern är mycket viktig för många företag runt Vänern. Leden upp till Vänern går till största delen på Göta älv, men vid de branta passagera finns separata slussleder. På vägen upp till Vänern passerar fartygen 6 slussar, en i Lilla Edet, fyra i Trollhättan och en i närheten av Vänersborg. Sammanlagd slushöjd är cirka 44 meter.

Dagens slussar invigdes 1916 och kommer att vara uttjänta cirka 2030. Trafikverket (2017a) har i utredningen "Vänersjöfart och slussar i Trollhätte kanal. Byggtekniska alternativ och samhällsekonomiska effekter" lagt fram två olika alternativ; antingen läggs handelstrafiken på Göta älv ner eller så byggs en helt ny slussled i en ny sträckning. Det senare alternativet finns med i "Förslag till nationell plan för transportsystemet 2018–2029" (Trafikverket, 2017b). Där föreslås att arbetet med att ersätta slussarna i Trollhätte kanal påbörjas under perioden 2018-2029.

På Vänern finns också småbåtstrafik och passagerartrafik.



Vänern är utpekad som riksintresse för turism och för det rörliga friluftslivet. Friluftslivet kring Vänern är stort med bland annat vandring, kajakpaddling, fritidsbåtstrafik och långfärdsskridskoåkning. Turismen kring Vänern är relativt stor och har ökat på senare år, något som återspeglas i ett ökat intresse för att starta turistföretag.



Vänern är utpekad som riksintresse för yrkesfisket. Det finns cirka 60 personer runt Vänern som livnär sig på fisket i sjön. De viktigaste arterna är sik, öring, gädda, gös, lax och siklöja (Sandström m.fl., 2016). Även sportfisket i Vänern är stort.



Vänern är Sveriges största vattenkraftmagasin med en reglervolym på 9 400 miljoner m³. I Göta älv finns fyra vattenkraftverk, Vargön vid Vänerns utlopp, Olidan och Hojum i Trollhättan samt Lilla Edets kraftverk. Den totala produktionen är cirka 2 TWh/år, vilket motsvarar cirka 3 % av Sveriges vattenkraftproduktion (Svensk energi 2013, 2014 och 2015).

3.2 Historiska förändringar

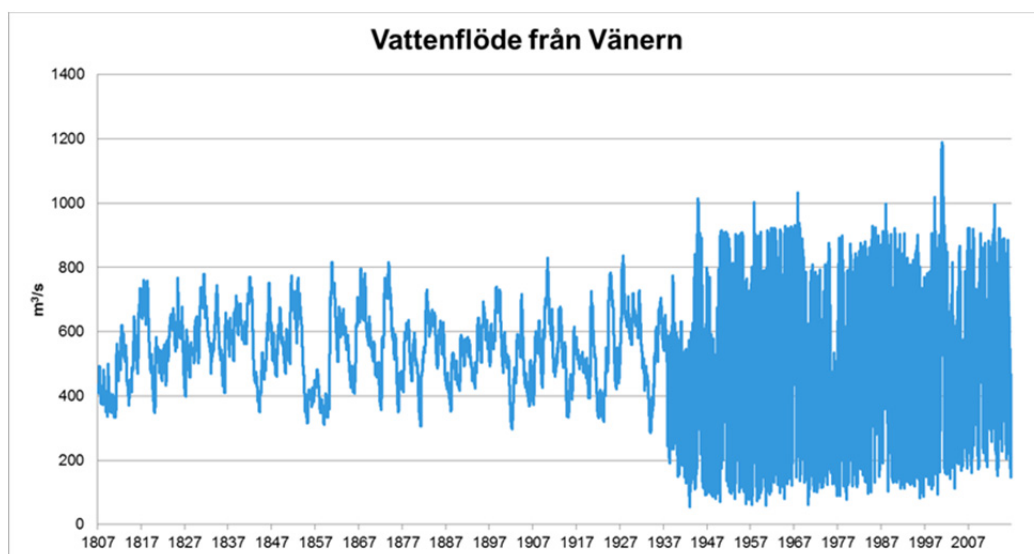
Vänern har påverkats mycket av regleringen, som startade 1937. Vattennivån varierar inte lika mycket som innan regleringen. Den nuvarande tappningsstrategin från 2008 minskar översvämningsrisken något, men gör att variationen i vattennivå minskar ytterligare.

Under 1700- och 1800-talen förekom svåra översvämningar vid Vänern vid ett flertal tillfällen. Konsekvenserna av dessa översvämningar blev stora för lantbruket och ledde i många fall till att det blev brist på mat. Bönderna krävde vid flera tillfällen att Vänern skulle sänkas, men någon sänkning gjordes aldrig (Möller, 2002). Istället blev det vattenkraftintresset som gjorde att sjön började regleras på 1930-talet.



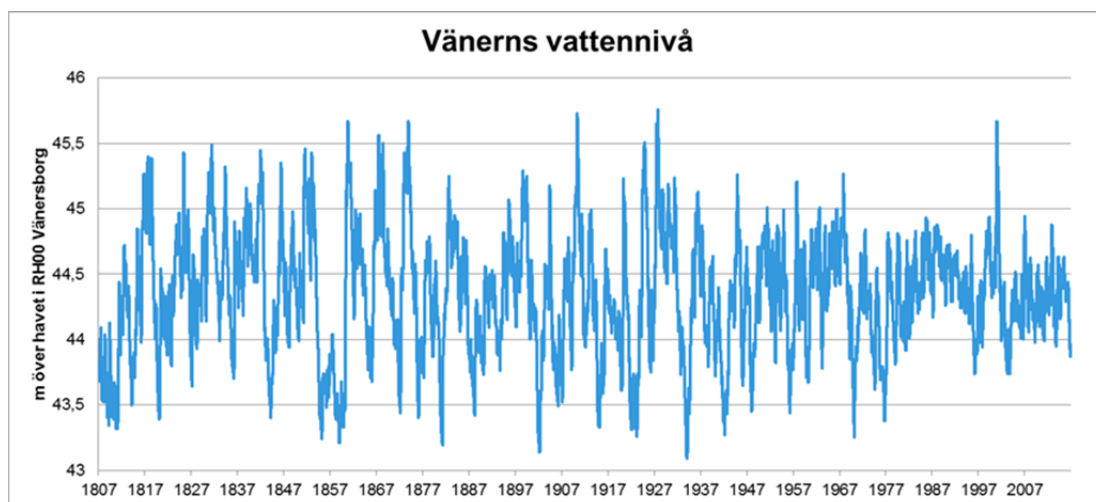
Figur 5. Gullöfallet Trollhättan 1912. Källa: Historiskt bildgalleri SMHI.

Regleringen fick stor påverkan på nivåer och flöden. Innan regleringen varierade inte vattenflödet ut från Vänern så mycket (Figur 6). Däremot varierade vattennivån i Vänern mycket och var ofta både högre och lägre än den varit efter regleringen (Figur 7). Eftersom vattenflödet ut från Vänern till Göta älv inte gick att styra tog det lång tid innan en hög eller låg vattennivå blev normal igen. Ibland kunde vattennivån vara hög eller låg under flera år i sträck. Observationer från Vänern finns från 1807. Den högsta uppmätta vattennivån är 45,76 m från hösten 1927.



Figur 6. Tappningen från Vänern 1807-2016.

Tappningskapaciteten från Vänern är dock fortfarande begränsad och vattennivån är till stor del påverkad av hur mycket vatten som rinner till sjön. Både höga och låga nivåer har förekommit efter regleringen; den lägsta i april 1970, då nivån var 43,25 m och den högsta i januari 2000, då nivån var 45,67 m.



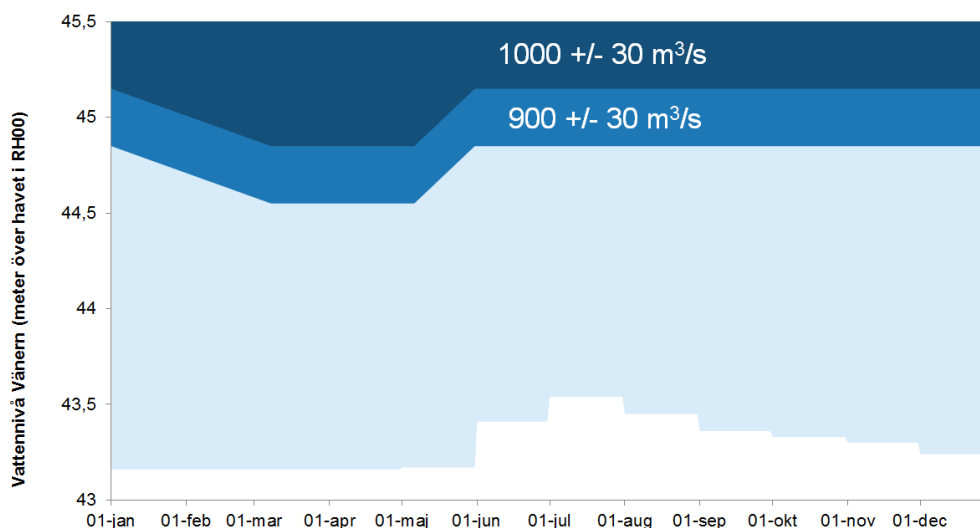
Figur 7. Vattennivån i Vänern 1807-2016 i meter över havet i höjdsystem RH00.

Samhället har till stor del anpassat sig till de ändrade förhållandena efter regleringen. Till exempel har bebyggelse etablerats nära Vänerns ständer där det inte hade varit möjligt före regleringen. Lantbruket har haft nytta av regleringen eftersom tillfällena med höga nivåer blivit färre, likaså sjöfarten eftersom det inte längre är så vanligt med låga nivåer. Regleringen har också påverkat naturmiljön runt Vänern.

3.2.1 Vänerns vattendom

Vattendomen för Vänern är ursprungligen från 1937 (Västerbygdens vattendomstol, 1937). Vissa mindre ändringar gjordes 1955 (Västerbygdens vattendomstol, 1955) och 2015 (Vänersborgs tingsrätts, mark- och miljödomstolen, 2015). Vattendomen 1937 föregicks av mycket stora utredningar kring bland annat konsekvenser för de olika intressena kring sjön.

I de flesta sjöar ökar tappningen med vattennivån, men i Vänern har istället en övre gräns satts för hur stor tappningen får vara. Detta beror på att Göta älv är känsligt för skred och översvämningar. Dämningsgränsen, som varierar mellan 44,55 m och 44,85 m vid olika tider på året, är central i vattendomen. Vid vattennivåer mellan dämningsgränsen och 30 cm över dämningsgränsen ska tappningen vara cirka 900 m³/s. Vid vattennivåer på mer än 30 cm över dämningsgränsen ska tappningen vara cirka 1000 m³/s. Denna gräns har nåtts vid 7 tillfällen sedan 1937.



Figur 8. En förenklad skiss över Vänerns vattenhushållningsbestämmelser. Vid dämningssgränsen ska cirka 900 m³/s tappas och 30 cm över dämningssgränsen ska cirka 1000 m³/s tappas. Sänkningsgränsen, som varierar mellan 43,16 och 43,54 m, har i praktiken ingen funktion längre.



Figur 9. Ormoskärmen 1939. Källa: Historiskt bildgalleri SMHI.

Vänern har också en sänkingsgräns, men den har i praktiken ingen funktion längre, då vattennivån sällan når dessa låga nivåer. Det beror på att mer hänsyn tagits till sjöfarten sedan 1970-talet när godstrafiken började trafikera Vänern även vintertid. Djupgåendet på fartyget har ökat från 4,7 meter till 5,4 meter och därför har marginalerna minskat framförallt i Vänerns hamnar. Någon ändring av vattendomen har dock inte gjorts, utan detta regleras i ett avtal mellan Vattenfall och staten (Svenska staten och Vattenfall AB, 1993).

I Vänerns vattendom finns en bestämmelse, som förenklat säger att Lilla Edets kraftverk ska tappas så att vattenföringen i Göteborgsgrenen inte understiger 125 m³/s under måndag-lördag och 110 m³/s under söndagar. I vattendomen anges också hur den så kallade Ormoskärmen i Nordre älv ska regleras. Skärmen kan till viss del styra hur mycket vatten som går i de båda älvgrenarna. Dessa bestämmelser har tillkommit för att skydda dricksvattnet i Göteborg. Det är viktigt att flödet i älven inte blir för lågt, eftersom det då finns risk att saltvatten tränger in till dricksvattenintaget.

Från havet och upp till Lilla Edet är höjdskillnaden inte så stor och ett högt vattenstånd i havet påverkar vattennivån ända upp till Lilla Edet. I vattendomen anges att tappningen

ska begränsas vid tillfällena med höga tappningar i älven i kombination med höga nivåer i havet eller direkt nedströms Ströms sluss i Lilla Edet.

3.2.2 Höga nivåer 2000/2001

Hösten 2000 var mycket nederbördsrik och mild. I en del områden runt Vänern föll under oktober och november ungefär dubbelt så mycket nederbörd som normalt. Tillflödena till Vänern var mycket höga under en lång period från mitten av oktober till mitten av januari. Eftersom vädret också var milt föll nederbörden som regn. Om den istället hade fallit som snö hade den lagrats på marken och inte bidragit till vattenståndsökningen 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). I mitten av november gick Länsstyrelsen i Västra Götalands län in och tog över ansvaret för tappningen från Vattenfall och beordrade en tappning högre än vattendomen tillåter (Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2000). Tappningen blev tidvis nästan 1200 m³/s vilket är betydligt mer än den maximala tappningen på 1030 m³/s enligt domen.

I januari 2001 blev vädret till slut kyligare, vilket medförde att nederbörden samlades som snö och tillrinningen till Vänern minskade. Nivån kulminerade 13 januari 2001 på 45,67 meter över havet och sjönk sedan långsamt. Det var inte förrän i slutet av juni som vattennivån åter nådde dämningssgränsen. Då hade Vänerns vattenstånd varit över dämningssgränsen i drygt 7 månader.

Om Vänern inte hade varit reglerad hade Vänern nått en nivå på cirka 46,08 meter, alltså cirka 40 cm högre än den gjorde. Det skulle ha varit den högsta nivån sedan mätningarna startade 1807.

3.2.3 Överenskommelse om en tappningsstrategi för Vänern 2008

I april 2008 träffades en frivillig överenskommelse om en ändrad tappningsstrategi för Vänern mellan Vattenfall och Länsstyrelsen i Västra Götalands län (Länsstyrelsen i Västra Götalands län och Vattenfall, 2008). Vid framtagandet av strategin deltog även Länsstyrelsen i Värmlands län, Sjöfartsverket och SMHI. Avsikten med den ändrade tappningen var att sänka de högsta vattennivåerna. Överenskommelsen trädde i kraft 1 oktober 2008 och var från början tillfällig och skulle tillämpas på prov fram till 31 december 2012. Tappningsstrategin har dock efter det förlängts med ett år i taget. Denna strategi benämns i fortsättningen *Nuvarande tappningsstrategi*.

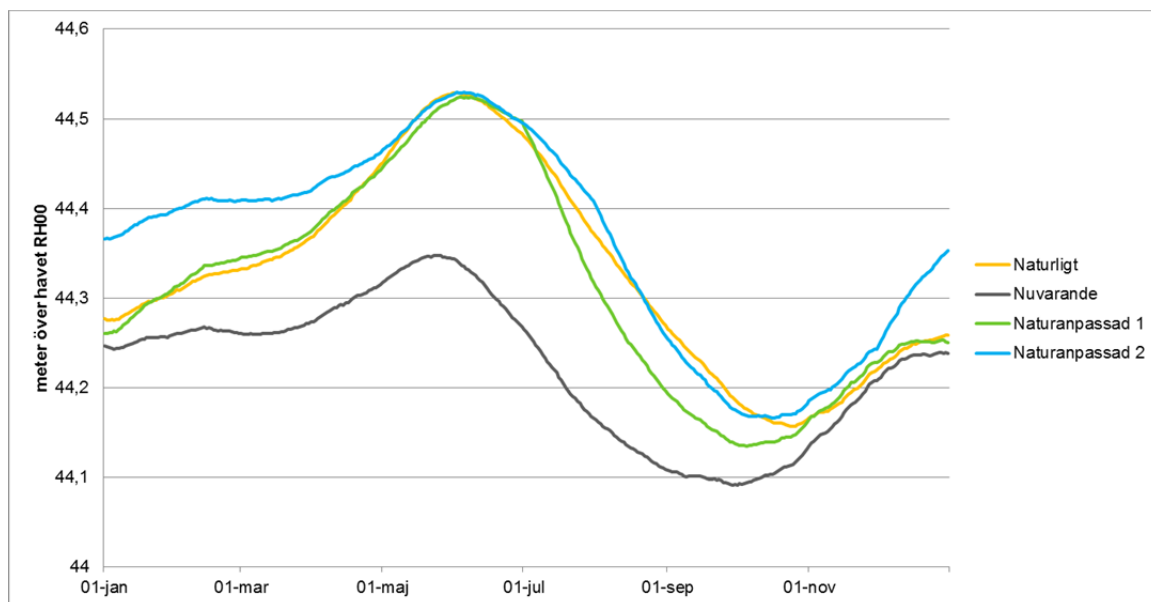
Enligt vattendomen finns en del frihet hur regleringen ska skötas vid nivåer upp till dämningssgräns. Den nuvarande strategin ligger inom vattendomen, men styr upp hur mycket som ska tappas vid nivåer under dämningssgränsen. Kortfattat går strategin ut på att tappa ut mycket vatten redan vid halvhöga vattennivåer för att minska risken att nå de höga nivåerna. Det betyder att Vänerns vattennivå nu permanent ligger på en lägre nivå än den skulle gjort utan den nuvarande strategin. Beräkningar visar att vattennivån i Vänern blivit cirka 20 cm lägre om den nuvarande tappningsstrategin hade tillämpats 2000-2001 (Eklund m.fl., 2017c).

3.2.4 Naturanpassad tappningsstrategi

Den nuvarande tappningsstrategin togs fram med målet att minska översvämningens risk. En snabb igenväxning av Vänerns stränder pågår (Finsberg, 2015) och en farhåga finns att den nuvarande tappningsstrategin ska leda till en ökad igenväxning i och med att vattenståndet varierar mindre (Koffman m.fl., 2014). Under senare år har omfattande diskussioner förts mellan länsstyrelserna, Vattenfall, Sjöfartsverket och andra intressenter för att göra ytterligare justeringar av tappningsstrategin, för att öka variationerna i vattennivå. Förslag till strategier som gynnar naturmiljö och friluftsliv kring Vänern har tagits fram (Koffman m.fl., 2014 samt Eklund och Bergström, 2014). Utgångspunkten har varit både att få en större variation, men även få en högre nivå under vår och sommar för att bland annat gynna den vårlekande fisken, som leker i grunda vikar.

Enligt det första förslaget ”Naturanpassad tappningsstrategi 1” justeras tappningen så att medelvattennivån följer den naturliga medelvattennivån med hög vattennivå under våren och försommaren och sjunkande till en låg nivå i slutet av hösten (Figur 10). Enligt det andra förslaget ”Naturanpassad tappningsstrategi 2” finns även en högre vattennivå under vintern för att isen ska lägga sig på en högre nivå och hjälpa till att skala bort vegetation. Om de naturanpassade strategierna hade tillämpats år 2000/2001 hade den högsta nivån blivit några cm högre än om den nuvarande tappningsstrategin hade tillämpats (Eklund, 2017c). Vid tillfällen då vårfloden har gett en hög vattennivå i Vänern skulle nivån ha blivit högre med de naturanpassade strategierna än med den nuvarande strategin. Det beror på att de naturanpassade strategierna innebär en höjning av vattennivån under vår och sommar. De högsta nivåerna blir något högre med förslagen på naturanpassad tappningsstrategi jämfört med nuvarande tappningsstrategi.

Förslagen till naturanpassade strategier har inte gått vidare till beslut beroende på att Vattenfall gjort bedömningen att de naturanpassade strategierna inte är förenliga med deras uppdrag att garantera dammsäkerheten vid Vargöns kraftverk i extrema situationer. Vattenfall anser dock att det är angeläget att fortsätta dialogen mellan intressenter och utreda strategier för anpassad reglering.



Figur 10. 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.

3.2.5 Skredrisk i Göta älv

Götaälvdalen är ett av de mest skredkänsliga områdena i Sverige. Det finns spår av många tidigare skred och flest skred har inträffat på sträckan mellan Lilla Edet och Trollhättan (SGI, 2012). På 1950-talet inträffade två stora skred, ett vid Surte 1950 och ett vid Göta 1957.

Anledningen att just Göta älv är så skredkänsligt är att det finns mäktiga lösa lerlager i marken och att vattenflödet i älven skapar erosion som kan öka skredrisken. Erosionen ökar när vattenflödet i älven ökar, något som till viss del avhjälpes genom anläggandet av erosionsskydd längs älven. Befintliga erosionsskydd anlades som skydd för Göta älvs stränder då vintersjöfart inleddes på 1970-talet. Sveriges Geologiska Institut (SGI) är utpekad kontrollant av befintliga erosionsskydd i Göta älv och utför årligen fältkontroller av status.



Figur 11. Surteskredet 1950. Foto:SGI.

Under 2009-2011 genomförde SGI en stor studie om stabilitetsförhållandena i Göta älv; (SGI, 2012). Syftet var att kartlägga skredrisken i älven, analysera hur risken för skred kan påverkas av en högre tappning i älven och reda ut vilka åtgärder som behövs för att förbättra stabiliteten.

En skredsäkring av Göta älv för att minska sannolikheten för skred i dagens situation skulle kosta mellan 4 och 5 miljarder kronor. Beräkningar har också gjorts för skredsäkring för att klara en maxtappning på $1500 \text{ m}^3/\text{s}$, vilket skulle kosta ytterligare cirka 1 miljard kronor. En ökad tappning skulle innebära en ökad skredrisk längs 25 % av älven, främst i de södra delarna av älven där erosionen är stor redan idag (SGI, 2012).

De åtgärder som föreslås för att minska skredrisken är att förbättra befintliga erosionsskydd och att anlägga nya skydd på platser där en förändrad tappning bedöms påverka dagens risknivå. På många platser längs älven behöver stabiliteten i älvens slänter förbättras genom att schakta av jord längst upp vid släntkrönet och fylla på med massor i den nedre delen av slänten.

3.3 Klimatförändringar i och kring Vänern

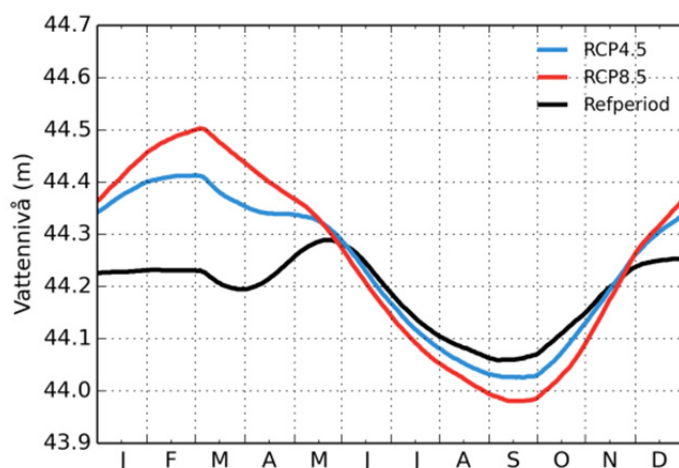
I framtiden beräknas det bli vanligare med både höga och låga nivåer i Vänern. I Göta älv beräknas det bli vanligare med höga och låga tappningar. Vattentemperaturen i Vänern ökar och förekomsten av is minskar.

Resultaten i detta avsnitt kommer från rapporten ”Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vänern Beräkningar för dagens och framtida klimatförhållanden” (Eklund m.fl., 2017c) som tagits fram inom samma projekt som denna rapport. För framtida klimat har två utsläppsscenarier använts, ett medelhögt utsläppsscenario med benämningen RCP4.5 samt ett högt utsläppsscenario, med benämningen RCP8.5. Se kapitel 1.3.1 ”Nya beräkningar för vattennivåer, tappningar och vattentemperatur och is idag och i ett framtida klimat.” för mer information kring dessa.

I beräkningarna som redovisas här har antagits att den nuvarande tappningsstrategin gäller även i framtiden. Om det blir aktuellt med ändrade vattenhushållningsbestämmelser bör nya beräkningar göras för dessa.

3.3.1 Förändrade vattennivåer

I framtiden beräknas temperaturen och nederbörden att öka, vilket i sin tur påverkar vattennivån i Vänern. Vattennivån beräknas öka under vinterhalvåret (Figur 12), som en följd av att nederbörden ökar och det blir mildare vintrar då nederbörden i större utsträckning faller som regn. Under sommaren och hösten, däremot, beräknas nivåerna minska. Detta beror på att växtligheten i avrinningsområdet kommer ta upp mer vatten när växtsäsongen blir längre och att tillrinningen till Vänern därför minskar. Det beror också på att avdunstningen direkt från sjöytan ökar i ett varmare klimat.



Figur 12. Vattennivåns variation i Vänern under året för den nuvarande tappningsstrategin. Svart linje visar klimatscenariernas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 och röd linje RCP8.5 för perioden 2069-2098. Nivåer i meter över havet i RH00 Vänersborg. (Eklund m.fl., 2017c)

I ett framtida klimat beräknas det bli vanligare med både höga och låga vattennivåer i Vänern (Tabell 2).

Tabell 2. Förändringen i antal dagar med vattennivåer lägre än 43,8 m samt högre än 45 m (meter över havet i RH00 Vänersborg) för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Beräkningarna har gjorts för den nuvarande tappningsstrategin och de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna. (Eklund m.fl., 2017c)

	Förändring i antal dagar med vattennivå lägre än 43,8 m	Förändring i antal dagar med vattennivå högre än 45 m
RCP 4.5	+2 (-5 till +12)	+4 (0 till +14)
RCP 8.5	+7 (-6 till +26)	+5 (0 till +14)

De extrema vattennivåerna, 100-årsnivå och beräknad högsta vattennivå, väntas bli högre i ett framtida klimat (Tabell 3). Även medelnivån i Vätern beräknas öka, men inte lika mycket.

Tabell 3. Förändring i medelnivå, 100-årsnivå och beräknad högsta vattennivå (cm) för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Beräkningarna har gjorts 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. Beräkningarna av beräknad högsta vattennivå är ursprungligen framtagna på uppdrag av Vattenfall Vattenkraft AB. (Eklund m.fl., 2017c)

	Förändring i medelnivå (cm)	Förändring i 100-års nivå (cm)	Förändring i beräknad högsta vattennivå (cm)
RCP 4.5	+5 (-3 till +16)	+41 (+14 till +110)	+34 (-8 till +82)
RCP 8.5	+6 (-5 till +15)	+49 (+12 till +76)	+33 (-15 till +76)

3.3.2 Förändrad tappning i Göta älv

Både de låga och höga tappningarna i Göta älv beräknas bli mer vanliga i framtida klimat (Tabell 4).

Tabell 4. Förändringen i dagar med lägre tappning än 170 m³/s och högre än 900 m³/s. för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Beräkningarna har gjorts för den nuvarande tappningsstrategin och de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max- och minvärden för de olika scenarierna. (Eklund m.fl., 2017c)

	Förändring i antal dagar med tappning lägre än 170 m³/s	Förändring i antal dagar med tappning högre än 900 m³/s
RCP 4.5	+19 (-14 till +58)	+16 (+2 till +43)
RCP 8.5	+34 (-1 till +78)	+29 (+8 till +50)

3.3.3 Varmare vatten och kortare period med is

Med ökande lufttemperatur kommer vattentemperaturerna att öka (Tabell 5, Tabell 6 och Figur 13). Förändringarna är relativt lika för Vänerns två bassänger Dalbosjön och Värmlandssjön. Ökningen blir störst i ytvattnet men även bottenvattnets temperatur ökar. Perioden med istäcke förkortas och antal år som är isfria ökar.

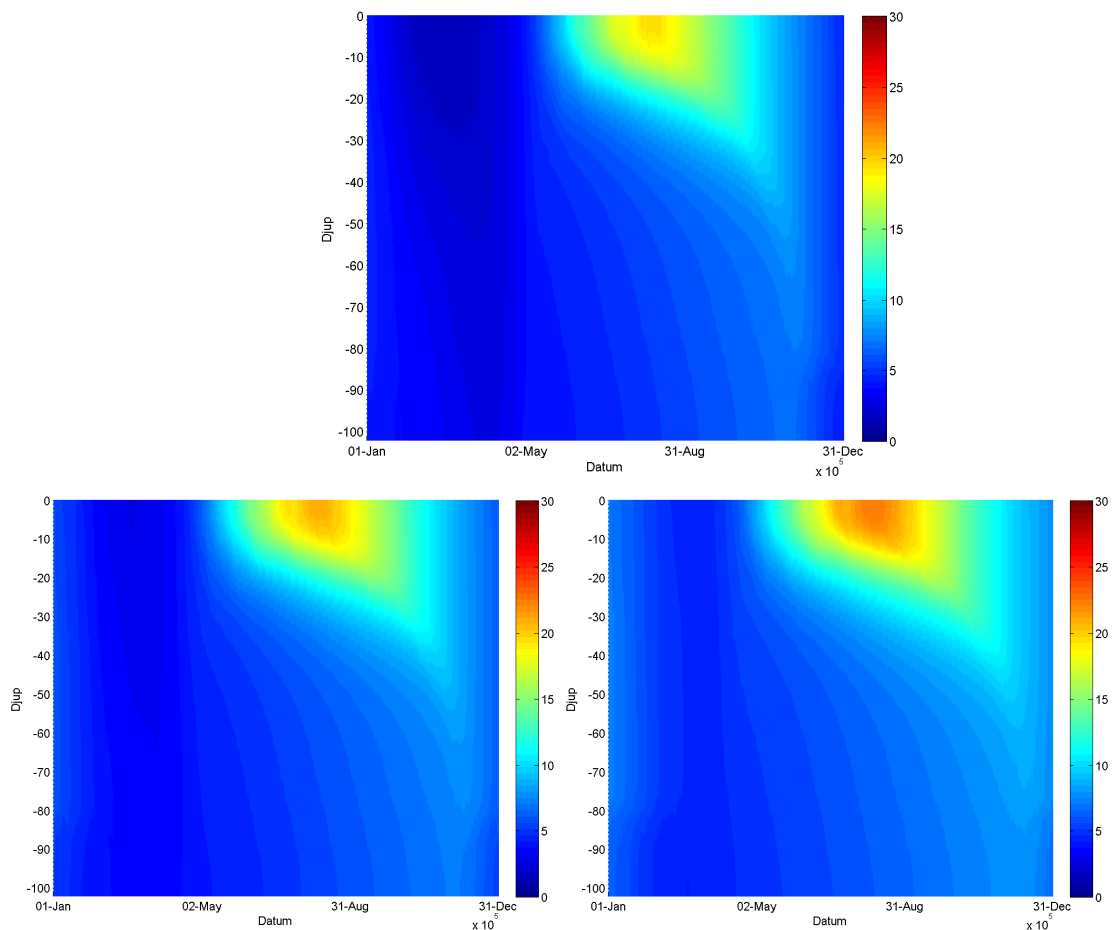
Tabell 5. Olika parametrar för simulerad vattentemperatur och is i Vänerns bassäng Dalbosjön, dels för referensperioden 1997-2015, dels förändringen till perioden 2080-2098. Beräkningar är gjorda för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. (Eklund m.fl., 2017c)

	Period 1997- 2015	Förändring till period 2080- 2098 RCP4.5	Förändring till period 2080- 2098 RCP8.5
Medeltemperatur ytvatten, grader C.	9,0	+1,5	+3,0
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	5,0	+0,5	+1,0
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >20 grader C	15	+17	+49
Antal dagar/år med is	36	-27	-34

Tabell 6. Olika parametrar för simulerad vattentemperatur och is i Vänerns bassäng Värmlandssjön, dels för referensperioden 1997-2015, dels förändringen till perioden 2080-2098. Beräkningar är gjorda för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. (Eklund m.fl., 2017c)

	Period 1997- 2015	Förändring till period 2080- 2098 RCP4.5	Förändring till period 2080- 2098 RCP8.5
Medeltemperatur ytvatten, grader C.	9,0	+1,5	+3,0
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	4,5	+0,5	+1,5
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >20 grader C	12	+15	+45
Antal dagar/år med is	25	-20	-25

På grund av att temperaturen förändras kommer sommarskiktningen att pågå under en längre period och finnas på ett större djup (Figur 13). Perioden med kallare vatten vintertid blir kortare.



Figur 13. Simulerad temperatur för alla djup i Vänerns bassäng Dalbosjön under ett normalår för perioden 1997-2015 (överst) och för RCP4.5 (nederst till vänster) och för RCP8.5 (nederst till höger) för perioden 2080-2098. Ytvattnet är vid djup 0. För bassängen Värmlandssjön är mönstret likartat och finns redovisat i Eklund m.fl. (2017c).

3.3.4 Vanligare med skyfall

Den globala uppvärmningen förväntas leda till mer intensiva skyfall som väntas inträffa oftare. Den framtida ökningen av volymerna beräknas ligga mellan 10% och 40% beroende på tidshorisont och koncentration av växthusgaser (Olsson m.fl., 2017).

3.4 Problem idag och i ett framtida klimat

Problemen på grund av Vänerns vattennivåer är stora redan i dagens klimat. Det finns en betydande översvämningsrisk och problem vid låga nivåer. Vänerns stränder växer igen och en orsak är troligen den minskade variationen i vattennivå. Skredrisken och översvämningsrisken längs Göta älv är stor och därför går det inte att tappa ut så stora mängder vatten. I framtiden beräknas det bli vanligare med både höga och låga nivåer. Det beräknas också bli vanligare med låga tappningar i Göta älv, vilket kan få betydelse för dricksvattenförsörjningen i Göteborg.

I detta avsnitt diskuteras den problembild som finns och väntas tillkomma eller förstärkas på grund av klimatförändringar. Stycket är framtaget i dialog med referensgrupperna samt är baserat på redan befintligt material om hur Vänern påverkas i ett framtida klimat. Syftet är att ge en översiktlig bild.

3.4.1 Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat



Området runt Vänern är känsligt för översvämnningar. Det märktes vid översvämnningen vintern 2000-2001, då skadorna runt Vänern blev stora. Många kommuner runt Vänern byggde vallar för att skydda vatten- och avloppssystem, vägar och bebyggelse. En fördel är att Vänerns vattennivå stiger i en långsam takt och att det därför finns möjlighet till tillfälliga åtgärder, såsom skyddsvallar (Blumenthal, 2010).

Karlstads universitet har tagit fram översvämningskartor för fyra olika extrema vattennivåer i Vänern; 100-årsnivå samt dimensionerande nivå med och utan vindpåverkan (Andersson m.fl., 2013a). Från dessa har sedan beräknats hur stor påverkan blir på t.ex. bebyggelse, infrastruktur och jordbruk. Runt Vänern finns flera städer som drabbas när nivån blir hög, främst Karlstad, Kristinehamn, Mariestad, Lidköping och Vänersborg. Sjukhus, reningsverk, räddningstjänststationer med mera riskerar att översvämmas men även mycket bostadsbebyggelse.

De direkta skadekostnaderna för en 100-årsnivå i Vänern har beräknats till 100-240 miljoner kr, där en möjlig vindeffekt kan ge ytterligare upp till 120 miljoner kr i skadekostnader (Andersson m.fl., 2013a). De största kostnaderna kan kopplas till översvämmade byggnader.

MSB har i sitt arbete med översvämningsdirektivets första cykel identifierat Karlstad och Lidköping som områden med betydande översvämningsrisk (MSB, 2011). För båda orterna innebär översvämningsrisken inte bara påverkan från Vänern, utan även från Klarälven respektive Lidan. För dessa orter har hotkartor och riskkartor tagit fram av MSB och riskhanteringsplaner utarbetats av respektive länsstyrelse. Under 2017 har en ny cykel startat och en uppdatering av de översvämningshotade områdena har tagits fram (MSB, 2018). I översvämningsdirektivets andra (och innevarande) cykel är Karlstad identifierade som ett område med betydande översvämningsrisk.

Utöver arbetet med översvämningsdirektivet har kommunerna runt Vänern arbetat mycket med översvämningsrisken. Till exempel har Vänersborgs och Karlstads kommuner tagit fram egna översvämningsprogram (Vänersborgs kommun 2014 och Karlstads kommun 2010).

En undersökning har gjorts av klimatets påverkan på kulturmiljöer i Hallands och Västra Götalands län (Länsstyrelsen i Halland m.fl., 2016). Runt Vänern finns det viktiga stadsmiljöer i översvämningskänsligt läge främst i Lidköping, men även i Åmål, Vänersborg och Mariestad. Det finns också fiskelägen som riskerar att översvämmas. Stående vatten och/eller ökad fuktbelastning kan orsaka stora skador på byggnader och kulturmiljöer. Någon motsvarande studie har inte gjorts för Värmlands län.

I framtida klimat beräknas det bli vanligare med höga nivåer i Vänern, vilket kan betyda ökade problem.



Runt Vänern finns stora arealer invallad jordbruksmark. Det är främst vid nivåer över 45,5 m som risken är stor att invallningarna brister (SOU 2006:94). Det kan leda till att stora arealer åkermark läggs under vatten, med skördebortfall som följd. Även jordbruksmark som inte blir översvämmad, men som får förhöjda grundvattennivåer på grund av Vänerns höga nivå påverkas. Det finns också risk att betesmark översvämmas.

Under översvämningen 2000/2001 drabbades många lantbrukare då cirka 2000 hektar jordbruksmark översvämmades. Enligt Andersson m.fl. (2013a) skulle kostnaden för jordbruket vid en 100-årsnivå i Vänern bli cirka 40 miljoner kr.

För lantbruket är det speciellt känsligt med översvämningar under våren, vilket försenar både vårbruket och betessläpp (Blumenthal, 2010). En hög vattennivå i Vänern kan också påverka jordbruket kring vattendrag som Tidan, Byälven och Borgvikeälven. Det kan leda till stora ekonomiska förluster och att lantbrukarna väljer att inte låta djuren beta på strandängarna. Ett förändrat eller uteblivet strandbete skulle få konsekvenser för igenväxningen och den biologiska mångfalden vid Vänerns stränder. Om en naturanpassad tappningsstrategi eller en ny vattendom för Vänern skulle bli aktuell bör konsekvenserna för jordbruket utredas.

Lantbrukets invallningar skyddar inte bara jordbruksmark utan även vägar, järnvägar, bostäder med mera. Det finns ett stort underhållsbehov av invallningarna (Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2008). Många vallar har också sjunkit ihop och behöver därför förbättras. I ett förändrat klimat kan en del invallningar behöva höjas.



Många vägar och järnvägar vid Vänern riskerar att översvämmas, varav de största är E18, Riksväg 45, Riksväg 44 och Riksväg 26. Även järnvägsträckan Göteborg-Karlstad-Stockholm samt Kinnekullebanan är känsliga för en översvämning (Andersson m.fl., 2013a).

Vid översvämningen 2000/2001 fick åtgärder vidtas vid några vägar och järnvägar för att trafiken inte skulle drabbas så hårt. Enligt Andersson m.fl. (2013a) skulle en 100-årsnivå i Vänern medföra kostnader för infrastruktur på cirka 15 miljoner.



Höga nivåer kring Vänern ökar risken för att föroreningar når sjön vilket kan påverka vattenkvaliteten.



Även yrkesfisket kan drabbas vid en hög vattennivå i Vänern om hamnar blir översvämmade. Enligt Blumenthal (2010) blev kostnaderna för yrkesfisket på grund av översvämningarna 2000/2001 24 miljoner kronor.

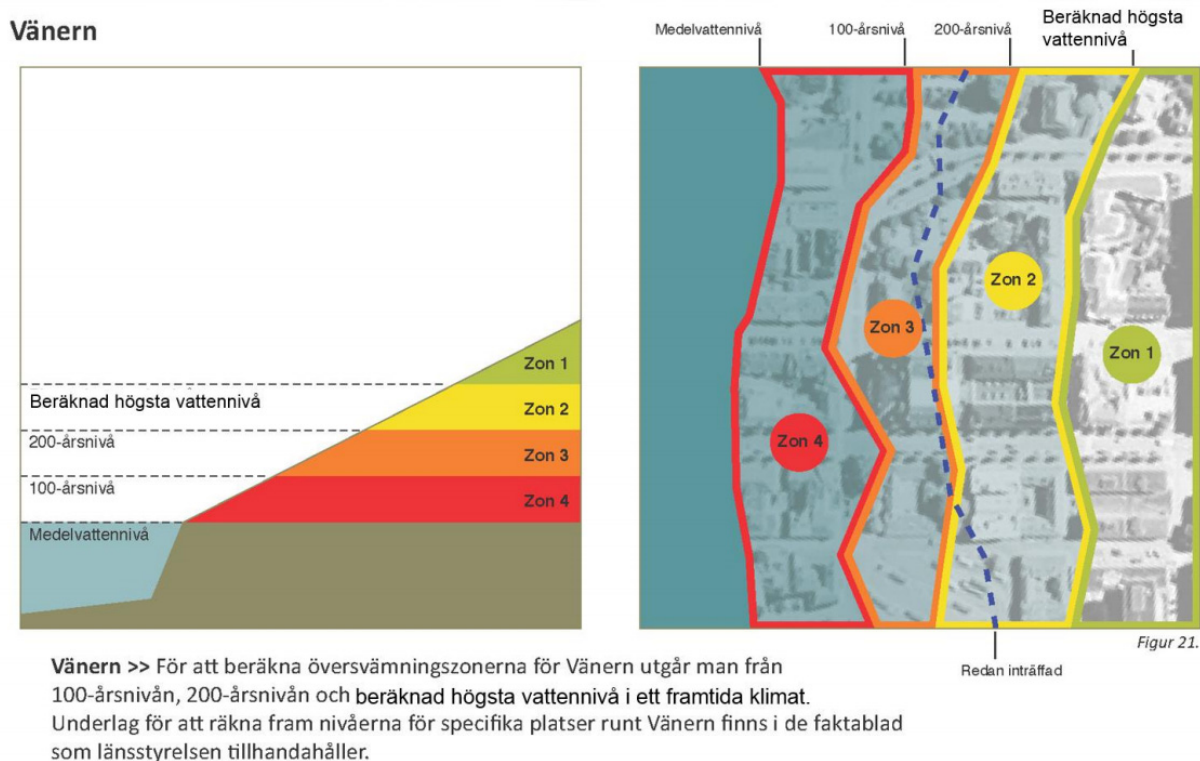


Länsstyrelserna runt Vänern tog 2011 fram rekommendationer för bebyggelse i översvämningsskänsliga områden (Länsstyrelsen Västra Götalands och Värmlands län, 2011a). Rekommendationerna beskriver vilken typ av markanvändning som är lämplig i olika zoner mellan medelvattennivån, 100-årsnivån, 200-årsnivån och beräknad högsta nivå. Handboken utgår från att de mest sårbara och värdefulla funktionerna i samhället ska placeras så att ingen eller så liten översvämningssrisk som möjligt föreligger. Exempelvis rekommenderas att ny bebyggelse för sjukvård, större bostadsområden, riksvägar och järnvägar placeras i zonen över den

beräknade högsta nivån. Om bostäder ska placeras i en lägre zon behöver anpassning av byggnaderna göras.

I handboken finns nivåerna inte angivna med siffror, eftersom dessa justeras när nya underlag kommer. Därför finns istället tre faktablad knutna till handboken och i ett av dessa finns rekommenderade nivåer för Vänern (Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län, 2011b). Planeringsnivåerna justerades 2017 utifrån de nya beräkningar för framtida vattennivåer som tagits fram för Vänern (Länsstyrelsen Västra Götalands och Värmlands län, 2017; Eklund m.fl., 2017c). Hänsyn har även tagits till klimatförändringar, vindpåverkan och landhöjning. Eftersom Vänerns stränder i olika grad är olika utsatta för vindpåverkan och landhöjning skiljer sig nivåerna mellan olika delar av sjön.

För en stor sjö som Vänern har landhöjningen betydelse för vattennivån, eftersom landhöjningen är större i sjöns norra del än i den södra. Detta gör att vattenytan sakta tippar, vilket gör att medelvattennivån långsamt stiger i de södra delarna och sjunker i de norra. Landhöjningen är i Karlstad 5,25 mm/år och i Vänersborg 3,89 mm/år (Engberg, 2017).



Figur 14. Olika zoner i riktlinjerna för vilken höjd bebyggelse kring Vänern bör läggas på ur översvämningsperspektiv. Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2017).

Boverket utvecklar en tillsynsvägledning avseende risken för översvämnningar. ”Syftet med uppdraget är att tillsynsvägledningen ska skapa förutsättningarna för att ny bebyggelse blir långsiktigt hållbar och att länsstyrelsernas tillsyn är samordnad och förutsebar” (Regeringen, 2017c). Projektet beräknas vara klart 28 februari 2018 vilket betyder att det då kommer att finnas en nationell vägledning motsvarande den som beskrivs ovan.



Om det sker ett dammbrott i en kraftverksdamm kan det få mycket allvarliga konsekvenser nedströms. Ett stort arbete med att höja säkerheten vid Sveriges dammar pågår och det är den som äger en vattenkraftsdamm som är ansvarig för säkerheten (Svensk Energi m.fl., 2015). För dammen i Vargön vid Vänerns utlopp är det Vattenfall Vattenkraft AB som är ansvarig.

Konsekvenserna av ett dammbrott beror på hur stort magasinet är och vad som kan skadas nedströms och därför är Sveriges kraftmagasin klassade efter olika konsekvensklasser för dammsäkerhet. Dammen i Vargön har den högsta klassen, konsekvensklass 1A. Det betyder att ett dammhaveri där kan få så allvarliga konsekvenser att det leder till en nationell kris. De övriga dammarna i Göta älv har konsekvensklass 1B, vilket betyder att ett dammhaveri få stora lokala och regionala konsekvenser.

Dammen i Vargön är dimensionerad för att klara av en mycket extrem vattennivå i Väner, den beräknade högsta vattennivån plus vindpåverkan från en ihållande vind med styrkan 20 m/s. Den beräknade högsta nivån beräknas bli högre i ett framtida klimat (Eklund m.fl., 2017c).

Vid flera av kraftverken i Göta älv planerar Vattenfall åtgärder för att höja säkerheten. Eftersom det har varit osäkert hur stor tappningen i älven kommer att bli i framtiden har de haft svårt att veta vilket flöde de ska anpassa åtgärderna efter.

3.4.2 Förändrad tillrinning och ökning av skyfall



I framtiden beräknas det bli vanligare med kraftig nederbörd. Det kan leda till att mer föroreningar och näringsämnen spolas ut i Väner och Göta älv och försämrar vattenkvaliteten. Dricksvattenutredningen (SOU 2016:32) tar upp detta som ett tilltagande problem för Göteborgs dricksvattenförsörjning. I en riskanalys som gjorts för Väner som dricksvattentäkt (Vänerns vattenvårdsförbund, 2016) bedöms bräddning av avloppsvatten vara en av de största riskerna. Denna risk kan komma att öka i framtiden med en ökad risk för kraftig nederbörd.

Vattenfärgen i Väner har ökat men vattenfärgen bedöms inte beräknas bli ett stort problem för Vänerns vattenkvalitet i framtiden (Christensen, 2016).

3.4.3 Låga vattennivåer idag och i ett framtida klimat



Vid nivåer under 44,0 meter (RH00) i Väner får sjöfarten problem. De kan bland annat inte gå med full last eftersom det då blir risk för grundstötning. Vid låga nivåer för Vattenfall en dialog med Sjöfartsverket och en avvägning ska i dessa fall göras mellan elproduktionsintresset och sjöfartsintresset. I framtiden beräknas problemen förvärras, eftersom de låga nivåerna väntas förekomma oftare.



En låg vattennivå kan utgöra problem för friluftslivet runt Väner. Efter sommaren 2009, då Väner hade relativt låga nivåer, intervjuade Persson (2010) småbåtsägare och boende vid Väner. Det var många som upplevde problem bland annat med att lägga till båten vid bryggor, stränder blev svåråtkomliga och möjligheten att bada minskade. I framtiden kan dessa problem bli vanligare.

3.4.4 Liten variation i vattennivå idag och i ett framtida klimat



Längs Vänerns stränder pågår en snabb igenväxning, vilket bedöms vara den största påverkan på Vänerns hotade arter (Vänerns vattenvårdsförbund, 2018).

Den ekologiska statusen enligt vattendirektivet är i de centrala delarna av Vänern klassad som måttlig, med hänsyn till regleringen och igenväxningen runt Vänerns stränder (VISS, 2018).

Efter översvämningen 2000-2001 försvann mycket växtlighet längs stränderna, troligtvis en kombination av den höga vattennivån och isprocesser som skalar bort vegetationen. Under 2000 påbörjades ett uppföljningsprogram för att speciellt följa igenväxningen. Sedan dess har det skett en signifikant ökning av ris, buskar, små träd och mellanstora träd (Finsberg, 2015). Detta påverkar många miljöer, bland annat fågelskär, strandmiljöer samt lek- och uppväxtmiljöer för fisk.



Brommö, oktober 2000



Brommö, augusti 2012

Figur 15. Exempel på igenväxningen i Vänern mellan 2000 och 2012. Exponerad vik mot norr som inte tidigare har betats. Foto: Vänerns vattenvårdsförbund.

En farhåga finns att den nuvarande tappningsstrategin ytterligare ska öka igenväxningen av Vänern i och med att vattennivån varierar mindre. Ett varierande vattenstånd ger positiva störningar i det strandnära ekosystemet (Koffman m.fl., 2014). Ett istäcke vintertid kan också skala bort vegetationen. Den stråkvisa inventeringen av Vänerns stränder visar att år med högre vintervattenstånd både med och utan is hämmar igenväxningen av Vänerns stränder (Finsberg, 2014 och Larsson, 2016).

En naturanpassad tappningsstrategi kan göra att igenväxningen minskar. Andra parallella åtgärder är att restaurera igenväxta stränder och skär samt återuppta bete och slåtter.

Vänerns vattenvårdsförbund har påpekat att det är brådskande att ta fram en lösning eftersom igenväxningen går fort (Vänerns vattenvårdsförbund, 2015).

I framtiden beräknas variationen i vattennivå bli större, vilket kan vara positivt för naturmiljön. Däremot kan andra faktorer, som minskning av isförekomst, påskynda igenväxningen.



Igenväxningen av Vänerns stränder är ett av de största problemen för friluftslivet runt sjön. Den påverkar tillgängligheten till Vänerns stränder och påverkar bland annat möjligheten till bad.

3.4.5 Högt vattenflöde i Göta älv idag och i framtiden



Ett högt vattenflöde i Göta älv kan leda till översvämningar för bebyggelse längs älven. I framtiden beräknas det bli vanligare med höga flöden i Göta älv, men det är osäkert hur höga de högsta flödena blir, eftersom det är beroende av framtida vattenhushållningsbestämmelser. En utredning behöver göras för att bedöma hur mycket vatten som går att tappa i älven med avseende på översvämningens risk.



Sjöfarten är till viss del beroende av vattenflödet i Göta älv. Det kan bli problem att navigera på älven när vattnet blir för strömt. Fartygen klarar av ett vattenflöde upp till 900 m³/s men när flödet blir högre kan vissa fartyg få problem.



Det är osäkert hur vattenkraftproduktionen i Göta älv kommer att påverkas av klimatförändringarna med förändrad vattentillgång.

I framtiden bedöms vattenkraften bli viktig för att balansera vind- och solkraft eftersom den går att reglera effektivt (Svensk energi, 2018).

3.4.6 Lågt vattenflöde i Göta älv, idag och i framtiden



Göteborgs dricksvattenförsörjning är beroende av ett relativt högt vattenflöde i Göta älv för att salt havsvatten inte ska tränga in till dricksvattenintaget. I Vänerns vattendom finns bestämmelser om att vattenflödet i Göta älv genom Göteborg inte får bli för lågt för att minska risken för saltvatteninträngning (Västerbygdens vattendomstol, 1937 och 1955).

Vattenintaget i Lärjeholm behöver dock ofta stängas. 2007 var vattenintaget stängt cirka en tredjedel av tiden. Cirka 20% av den tiden berodde avstängningen på att saltvatten trängt in till vattenintaget (Lidén och Saglamoglu, 2010). Resten av tiden berodde stängningen på att halten av bakterier var för stor eller att vattnet var för grumligt. Vid kortare avstängningar tas vatten från Delsjöarna och vid längre avstängningar kan vatten tas från de båda reservvattentäkterna Rådasjön och Lärjeån. Delsjöarna klarar av att försörja Göteborg med dricksvatten i cirka tre veckor (SOU 2016:32).

I framtiden beräknas det bli vanligare med låga flöden i Göta älv, något som kommer påverka dricksvattenförsörjningen i Göteborg.



Vid en låg tappning i Göta älv kan det uppstå problem för sjöfarten. En ogynnsam vindriktning och ett högt tryck kan då snabbt förändra vattenståndet.



Figur 16. Passagerarbåt i Väneren.

3.4.7 Skredrisk i Göta älv idag och i framtiden



Göta älv är ett av de mest skredkänsliga områdena i landet. Ett stort skred kan få stora konsekvenser genom att bebyggelse, infrastruktur

och fornlämningar förstörs, dricksvattenförsörjningen i Göta älv kan slås ut på grund av grumlighet, fartygstrafiken kan påverkas och miljöfarliga ämnen kan föras ut i naturen (SGI, 2012).

I ett framtida klimat med en ökad nederbörd och eventuellt en ökad avtappning genom Göta älv ökar skredrisken (SGI, 2012).

3.4.8 Ökande vattentemperaturer och minskad period med is



Den biologiska balansen i sjön är en förutsättning för att ha god råvattenkvalitet och bra dricksvatten. Generellt är vattenkvaliteten god i de centrala delarna av Vänern (Vänerns vattenvårdsförbund, 2016) men den kan påverkas i ett varmare klimat. Vänerns vattenvårdsförbund bedömer att giftiga algbloomningar beräknas bli vanligare på grund av temperaturökningen (Christensen, 2016). Även bakterier och parasiter beräknas bli vanligare i ett varmare klimat.



Vänerns ekosystem kommer att påverkas av ett varmare vatten och kortare period med is. Det är dock osäkert på vilket sätt. Klimatförändringar kan gynna vissa arter och missgynna andra. Några arter som kan komma att missgynnas är de glacialrelikta kräftdjuren.

Utöver den direkta påverkan kan klimatförändringarna leda till effekter på ekosystemnivå och vidare på arter som inte direkt påverkas av klimatförändringar (Blenckner m. fl., 2010). Klimatförändringar ger varmare vattentemperatur och mindre period med istäckning. Detta har visats påverka olika algsamhällen (Weyhenmeyer, 2005).

Ett hot mot Vänerns ekosystem är att nya arter introduceras. I ett varmare klimat kan risken för spridning av nya arter öka (Vänerns vattenvårdsförbund, 2016).

Högre vattentemperaturer leder också till att sjöns skiktning förändras. Med en förlängd eller skarpare skiktning av varmvatten som finns under sommaren förhindras omblandning av syrerikt vatten till bottenarna.



Fiskars respons på klimatförändringar är svår att förutse. Enligt FNs klimatpanel påverkar klimatet sjöars ekosystem och fiskar redan idag. Sötvattenssystem som är påverkade av människan, till exempel i form av övergödning eller reglering, är känsligare och påverkas mer (IPCC, 2014). Kallvattenarter missgynnas i varmare temperaturer. Algsamhällen påverkas och kan medföra ökad biomassa och påverkade fisksamhällen. Varmvattenarter kan gynnas.

Den årliga rytmen hos många arter styrs direkt eller indirekt av temperaturen. I ett förändrat klimat kan detta komma i otakt vilket påverkar arternas förmåga att fortplanta sig och flödet i näringskedjan störs (IPCC, 2014). Tidigare islossning och varmare vattentemperaturer kan göra att kläckning av fiskyngel och algtoppar inträffar vid olika tillfällen vilket missgynnar fisket (Jonsson och Setzer, 2014).



Isen i Vänern kan hjälpa till att skala bort vegetationen och på så sätt minska igenväxningen av stränderna (Koffman m.fl., 2014). I framtiden, då det inte blir

lika vanligt med is, beräknas denna effekt minska.



Varmare temperaturer vid Medelhavet kan leda till ökad turism i Skandinavien (Klimatanpassningsportalen, 2018). Det är inte orimligt att Vänern liksom många andra sjöar i Sverige kommer vara av större intresse för turism i ett framtida klimat.

Varmare vatten och minskad period med is förändrar förutsättningarna för bland annat bad och vintersport.



Figur 17. Cykeltur vid Vänern.

3.4.9 Hög havsnivå idag och i framtiden



Även om Vänern ligger långt från havet kan vattennivån påverkas av havets nivå. Vid höga nivåer i havet kan tappningen behöva begränsas för att undvika översvämningar i Göta älv (Västerbygdens vattendomstol, 1937 och Vänersborgs tingsrätts, mark- och miljödomstolen, 2015). I ett framtida klimat med stigande havsnivåer beräknas dessa tillfällen bli fler. En högre havsnivå får stora konsekvenser för Göteborg och det finns planer på att upprätta yttre barriärer mot havet som storskaliga skydd för Göteborgs stad (Göteborgs stad, 2016). Dessa skydd kan också komma att påverka vattenflödet i Göta älv.



Göteborgs dricksvattenförsörjning påverkas redan i dagens klimat av att saltvatten tränger in till vattenintaget vid höga havsnivåer. Dessa problem beräknas bli större i ett framtida klimat med högre havsnivåer (SOU 2016:32).

3.5 Vad har gjorts?

Problemen runt Vänern kopplade till vattennivån är stora. En del utredningar kring åtgärder har gjorts, men mycket återstår. Ett av de största hindren för att komma vidare med frågan är att det är oklart vem som ska bära kostnader och ta ansvar för det arbetet.

Tidigare kapitel har beskrivit den komplexa problembild som finns runt Vänern redan i dagens klimat och som riskerar att förvärras i framtiden som en följd av den globala uppvärmningen.

Att åtgärder behövs för att lösa dessa problem har tagits upp vid många tillfällen tidigare, bland annat i Klimat- och sårbarhetsutredningens delbetänkande (SOU 2006:94) och Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat (Andersson m. fl., 2015). I de regionala handlingsplanerna för klimatanpassning för Västra Götalands län och för Värmlands län lyfts frågan om Vänerns reglering som en av de viktigaste frågorna för klimatanpassningen i länet (Länsstyrelsen i Värmlands län 2014 och Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2014).

3.5.1 Klimat- och sårbarhetsutredningen 2006

Slutsatsen från klimat- och sårbarhetsutredningens delbetänkande (SOU 2006:94) var att tappningskapaciteten från Vänern på sikt behöver öka. Två förslag som kom fram var att öka avtappningen genom Göta älv och att bygga en tunnel från Vänern till havet som vattnet kan transporteras i vid de tillfällen när tappningskapaciteten i älven är för liten. De föreslog följande fortsatta utredningar kring avtappningsmöjligheterna från Vänern:

- Utredning av vilka erosions- och skredförebyggande åtgärder som krävs för en ökad avtappning genom Göta älv.
- Utredning av vilken möjlighet som finns till en ökad avtappning avseende översvämningsrisken längs älven.
- Utredning av de geologiska förutsättningarna för en tunnel.
- Utredning av hur en tunnel påverkar det marina livet i havet.

Utredningen konstaterade att det inte går att lösa översvämningsproblematiken genom att samla vatten i magasinen uppströms Vänern och på så sätt minska tillrinningen till Vänern. Utredningen ansåg att kostnaderna för att lösa översvämningsproblem med hjälp av invallningar runt Vänerns stränder är för stora.

Klimat- och sårbarhetsutredningen föreslog även en kortsiktig lösning på översvämningsproblematiken; att reglera Vänern på ett annat sätt inom ramen för vattendomens regelverk.

3.5.2 Tappningsstrategier 2008 och 2014

Den föreslagna modifierade regleringen inom vattendomens regelverk tillämpas sedan 2008 genom ett frivilligt avtal mellan Vattenfall och Länsstyrelsen i Västra Götaland (Länsstyrelsen i Västra Götalands län och Vattenfall, 2008). Beräkningar har visat att den modifierade tappningsstrategin skulle ha sänkt de högsta nivåerna 2001 med cirka 2 dm (Eklund m.fl., 2017c). Tappningsstrategin skulle tillämpas på prov samtidigt som konsekvenser för naturmiljön på grund av minskad vattenamplitud undersöktes.

Konsekvenser för naturmiljön har beskrivits i en rapport (Koffman m.fl., 2014) och ett förslag på en naturanpassad tappningsstrategi tagits fram. Denna strategi har dock inte tillämpats utan avtalet om tappningsstrategi från 2008 har förlängts med ett år i taget.

3.5.3 Göta älvutredningen 2012

Efter Klimat- och sårbarhetsutredningen har alternativet med en tunnel eller kanal till havet inte utretts vidare. Däremot har Göta älvutredningen (SGI, 2012) studerat skredrisken i Göta älv och vilka åtgärder som krävs för att minska skredrisken vid en ökad tappning. De kom fram till att en skredsäkring av Göta älv för att minska sannolikheten för skred i dagens klimat skulle kosta mellan 4 och 5 miljarder kronor. En skredsäkring för att klara en maxtappning på 1500 m³/s skulle kosta ytterligare cirka 1 miljard kronor.

Göta älvutredningen (SGI, 2012) föreslog att regeringen ska tillsätta en delegation, som ansvarar för att samordna insatser och genomföra åtgärder som minskar skredrisken för befintlig bebyggelse och förebygger sådana risker för ny bebyggelse och infrastruktur, för dagens och framtida klimat. Delegationen föreslås bestå av myndigheter, kommuner och organisationer med särskilt ansvar för Göta älv dalen.

3.5.4 Skrivelser till regeringen, 2014-2015

År 2007 inleddes ett samarbete mellan kommunerna runt Vänern ”Kommuner i samverkan om Vänerns vattenreglering”. Detta samarbete leds sedan 2016 istället av Vänersamarbetet, en ekonomisk förening med kommunerna kring Vänern som medlemmar. 2014 skrev kommunerna runt Vänern till regeringen och bad dem lyfta frågan om översvåmningsriskerna runt Vänern till nationell nivå. Kommunerna föreslår att arbetet för den delegationen som SGI föreslår även ska omfatta Vänern och dess problematik, alternativt att en separat delegation tillsätts för att ansvara för åtgärder kring Vänerns översvåmningsproblem (Kommuner i samverkan om Vänerns reglering, 2014).

År 2015 skrev Länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län till regeringen med en förfrågan att lyfta frågan om regleringen av Vänern till nationell nivå (Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län 2015a och 2015b). Ett antal konkreta frågor ställdes till regeringen, exempelvis:

- Avser regeringen fatta beslut i frågan om framtida avbördning från Vänern?
- Kommer regeringen tillsätta en delegation för klimatanpassningen av skredrisken i Göta älv?
- Hur avser regeringen stödja aktörerna i den viktiga avvägningen mellan de olika intressena?
- Hur ser regeringen på länsstyrelsernas förslag att ompröva vattendomen för Vänern?
- Hur ser regeringen på att staten genom sin ägarroll agerar gentemot Vattenfall AB för att låta naturmiljöintresset få en större roll i tappningen?
- Hur ser regeringen på ansvarsfördelningen mellan den lokala, regionala och nationella nivån?

Naturskyddsföreningen förespråkar en naturanpassad tappningsstrategi och har inkommit med flera framställanden till regeringen i frågan om Vänerns reglering (Naturskyddsföreningen, 2015).

3.5.5 Klimatanpassningsutredningen, 2017

Miljö- och energidepartementet överlämnade i slutet av 2015 de skrivelser som nämns ovan till Klimatanpassningsutredningen, (Miljö- och energidepartementet, 2015). Utredningens uppdrag var att ”analysera hur ansvaret fördelas mellan staten, landstingen,

kommunerna och enskilda i fråga om att vidta åtgärder för att anpassa pågående och planerad markanvändning och bebyggd miljö till ett gradvis förändrat klimat”. Den sista av länsstyrelsernas frågor ovan föll alltså inom utredningens ramar. Referensgruppen för Vänern inom projektet som tagit fram denna rapport skrev i november 2016 till utredningen och påpekade att det är ”*mycket angeläget att Klimatanpassningsutredningen lämnar förslag på hur ansvar och kostnader för åtgärder i Vänern/Göta älv ska fördelas*” (Länsstyrelsen i Värmlands län, 2016). Utredningen lämnade i maj 2017 sitt slutbetänkande (SOU 2017:42). Ansvarsfördelningen för frågor som rör Vänern behandlades inte. Det betyder att länsstyrelserna och kommunerna ännu inte fått svar på sina frågeställningar.

3.5.6 Delegation för Göta älv 2018

I budgetpropositionen för 2018 (Regeringen, 2017b) finns en satsning på skredsäkring i Göta älvdalen: ”*Regeringen gör en särskild satsning på klimatanpassningsanslaget för statlig delfinansiering av åtgärder för skredsäkring längs Göta älv och bildar en delegation för Göta älv vid Statens geotekniska institut. Älven är ett av de områden i Sverige som är mest utsatta för ett förändrat klimat.*”

Delegationens arbete omfattar att samordna, prioritera och stödja insatser som minskar ras- och skredrisker längs Göta älv. I arbetet ingår också besiktning och kontroll av Göta älv och geotekniska utredningar (Regeringen, 2017d).

3.5.7 Ny slussled, beslut under 2018

Enligt den transportpolitiska planen (Trafikverket, 2017b) föreslås att byggandet av en ny slussled till Vänern startar under perioden 2018-2029. Regeringen kommer att fatta beslut i frågan under våren 2018. Byggandet av den nya slussleden i Göta älv kan samordnas med skredsäkringen av älven. Om de nya slusslederna byggs kommer det att generera stora mängder bergkross som eventuellt kan användas vid skredsäkringen av Göta älv.

3.6 Vad behöver göras?

En större utredning behövs för att ta fram lämpliga åtgärder för att lösa problematiken kring Vänern. En viktig del i det arbetet blir att utreda hur mycket vatten som går att tappa genom Göta älv, både vad gäller översvänningsrisk, stigande havsnivåer och tekniska begränsningar.

3.6.1 Tappningskapacitet Göta älv

Det finns behov av ytterligare beräkningar av hur mycket vatten som kan tappas genom Göta älv. Göta älvutredningen beräknade hur mycket som kan tappas ur skredsypunkt, men beräkningar behövs av hur mycket som kan tappas med hänsyn till översvänningsrisk, stigande havsnivå och tekniska begränsningar vid kraftverken.

En ökad tappning skulle få konsekvenser för bebyggelse och infrastruktur längs älven. Det är därför tveksamt att en stor ökning av tappningen är möjlig. Översvänningsriskerna längs Göta älv nedströms Lilla Edet beräknas bli större i ett framtida klimat då havets nivå stiger. Den framtida tappningen kan också påverkas av de barriärer mot havet som det finns planer på att bygga i Göta älv vid Göteborg och i Nordre älv.

Det är också osäkert hur mycket vatten som det är tekniskt möjligt att tappa vid Vargöns kraftverk. Hur mycket som kan tappas styrs av nivån i Vänern och en tappning på 1500 m³/s skulle troligtvis bara kunna göras vid en mycket hög nivå i Vänern. Även vid Lilla Edet finns begränsningar i hur mycket vatten som kan tappas vid tillfällena med hög vattennivå nedströms kraftverket.

3.6.2 Samhällsekonomiska konsekvenser

I denna rapport har problemen kring Vänern i dagens och framtida klimat beskrivits. Behov finns av en översiktlig samhällsekonomisk analys för de olika intressena kring sjön men detta ingår inte i den här rapporten.

3.6.3 Ansvarsfördelning och ny utredning

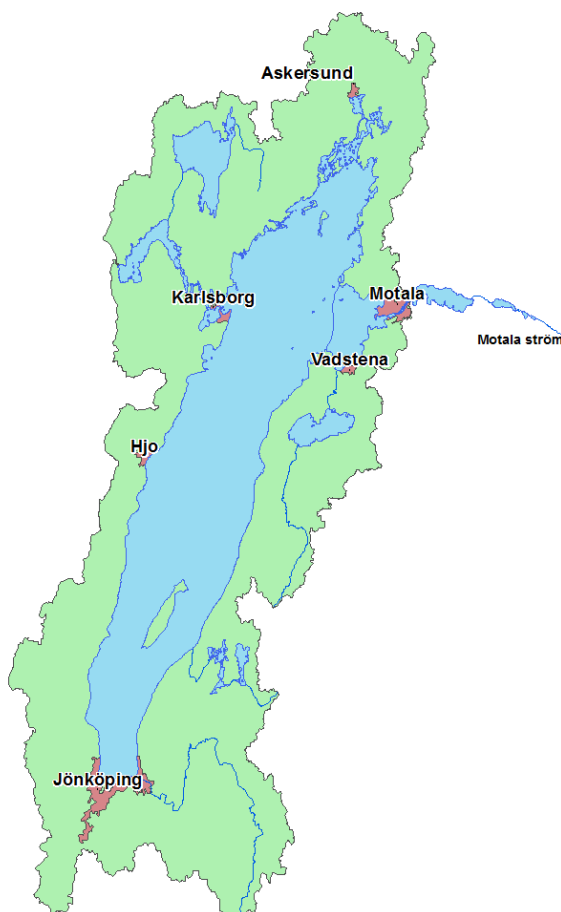
Vänersamarbetet har inlett en förstudie kring arbetet med förslag till åtgärder för Vänerns problem. De ska, tillsammans med andra intressenter, föreslå att en större utredning påbörjas och att någon får ansvar för att leda arbetet. Frågorna om vem som har ansvaret för att driva arbetet och hur kostnader ska fördelas är mycket viktiga för att komma vidare. En kommande utredning bör ta ett helhetsgrepp kring Vänernfrågan och samarbeta med Delegationen för Göta älv samt det föreslagna framtida arbetet med nya slussar i Göta älv. Resultatet från en kommande utredningen bör vara åtgärdsförslag för att lösa problemen, där de olika samhällsintressena vägts in.

4 Vättern

Vättern ligger i en förkastningssänka i jordskorpan och är därför långsträckt med branta strandlinjer och stort djup. Det stora djupet gör att vattnet är kallt.

Vättern har ett litet avrinningsområde i förhållande till sin stora volym vilket gör att sjön har en mycket lång omsättningstid, vattnet stannar i genomsnitt kvar länge i sjön.

Sjön är känd för sin fina vattenkvalitet med ett siktdjup på cirka 15 meter (Vätternvårdsförbundet, 2017a). Det stora siktdjupet är delvis en följd av den långa omsättningstiden.



Figur 18 Vättern och dess avrinningsområde.

De största tillflödena till Vättern är Huskvarnaån samt det vattendrag som mynnar i Vättern vid Karlsborg. Vattnet från Vättern rinner sedan vidare i Motala Ström genom sjöarna Boren, Roxen och Glan för att sedan mynna i Bråviken i Östersjön.

4.1 Intressen kring sjön

Eftersom Vättern är så djup har den också kallt vatten. Därför hyser sjön ett kallvattenekosystem med arter som har krav på kallt vatten för att överleva. Jönköping, som är ett av de 18 utpekade områdena med betydande översvämningsrisk, ligger vid Vättern. Sjön är också viktig för dricksvattenförsörjning, fiske och friluftsliv.



Figur 19. Olika intressen med dess önskemål kring Vättern. Källa foto naturmiljö: Arild Hagen, Källa foto fiske: Klas Balkhed. Länsstyrelsen i Jönköpings län. Källa foto vattenkraft: SMHI:s Historiska bildgalleri (2017).



Det bor cirka 200 000 personer i kommunerna runt Vättern, de största orterna är Jönköping och Motala. Förutom Jönköping och Huskvarna finns inte mycket bebyggelse som ligger i låglänta områden och som drabbas av översvämnningar vid höga vattennivåer i Vättern.



Råvattenkvaliteten i Vättern är mycket bra och vattnet behöver inte så mycket rening innan det blir drickbart. Samtliga kommuner runt sjön använder den som dricksvattentäkt. Dricksvatten leveraras också till Skövde, Falköping och Skara kommuner (Skara Energi, 2018). Även vattnet i sjöar längs Motala ström används för dricksvattenproduktion, bland annat i Linköping och Norrköping. Jönköpings, Linköpings, Norrköpings och Skaraborgsvattens dricksvattenanläggningar är utpekade som riskintresse för dricksvattenförsörjningen (Havs- och vattenmyndigheten, 2017c).

Totalt får cirka 280 000 personer sitt dricksvatten från Vättern och det totala uttaget motsvarar cirka $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Av detta vatten förs cirka $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ till Skövde, Falköping och Skara kommuner genom en 30 km lång kulvert. Det vattnet förs inte tillbaka till Vättern utan släpps efter rening ut i Göta älvs avrinningsområde.

I vissa kommuner finns det möjlighet att anlägga vattenintaget på ett stort djup, medan andra kommuner ligger vid de mer grunda delarna av Vättern. Jönköpings vattenintag är det djupaste medan de grundaste vattenintagen finns i Vadstena och Motala. De flesta kommuner runt Vättern har inget reservvatten utan är beroende enbart av vattnet i Vättern (Länsstyrelsen i Östergötlands län, 2013 och Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2015).



Figur 20. Lokalisering av bergstunnel för dricksvatten från Vättern till Örebro län. De fem vitmarkerade kommunerna ingår i bolaget Vätternvatten AB. Källa: Länsstyrelsen Örebro län.

Planer finns på att fem kommuner i Örebro län ska hämta dricksvatten från Vättern (Norconsult, 2011). I flera av dessa kommuner finns problem med kvaliteten i dagens dricksvattentäkter. Planeringen har kommit långt och omfattande underlag har tagits fram. Det krävs dock ytterligare utredningar och domstolsbeslut innan byggandet kan komma igång. Enligt planerna kan vatten börja levereras till konsumenterna 2027.

Tanken är att i första steget ska ytterligare cirka 200 000 personer i Örebro län få sitt dricksvatten från Vättern, det vill säga ungefär lika många som idag. Vattnet ska ledas i en bergstunnel från Askersund till Hallsberg och därifrån distribueras i ledningar till de olika kommunerna. Vattnet kommer inte att föras tillbaks till Vättern utan släpps efter rening ut i Mälarens avrinningsområde. Mängden vatten som transporteras bort motsvarar en sänkning av Vätterns vattennivå med cirka 1,4 cm/år. I själva verket kommer dock inte nivån att sänkas utan den minskade vattenmängden kompenseras av en minskad tappning till Motala Ström.

Det finns också andra kommuner som har visat intresse för att ta dricksvatten från Vättern. Länsstyrelserna runt Mälaren har gjort en utredning om framtida

dricksvattenförsörjning och där nämns Vättern som en tänkbar framtida vattentäkt (Länsstyrelsen i Stockholm m. fl., 2013). Tanken är att tunneln till Hallsberg ska vara dimensionerad för att även klara en ökad efterfrågan på vatten från Vättern (Norconsult, 2011).

Sedan 2014 är hela Vättern samt den nedersta delen av tillrinnande vattendrag utpekad som vattenskyddsområde (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2014) och är därmed landets största vattenskyddsområde. Syftet med skyddsområdet är att på lång sikt säkerställa en god vattenkvalitet och området omfattas av föreskrifter bland annat gällande bekämpningsmedel, avloppsvatten och skogsbruk. Kommuner och länsstyrelser runt sjön har tillsammans tagit fram föreskrifter och avgränsningar för området.



Hela Vättern är utpekad som riksintresse för naturvård (Naturvårdsverket, 2017a). Det finns stora Natura2000-områden, med hänsyn till både fågeldirektivet och art- och habitatdirektivet. I Vättern finns ett unikt kallvattenekosystem med arter som kräver kallt vatten för att överleva. Ett exempel på en sådan art är storrödingen och ett annat är de glacialrelikta kräftdjuren. (Vätternvårdsförbundet, 2015).

Basprogrammet för miljöövervakningen i Vättern ingår i det nationella sötvattenprogrammet. Detta delfinansieras av Havs- och vattenmyndigheten (Havs- och vattenmyndigheten, 2017a).



Figur 21. Rödinglek i Vättern. Foto: Klas Balkhed. Länsstyrelsen i Jönköping



Runt Vättern finns inte lika mycket jordbruksmark som runt de andra stora sjöarna. Vättern har relativt branta stränder och några stora problem för lantbruket uppkommer inte vid höga vattennivåer.



Sjöfarten på Vättern består främst av fritidsbåtar, men det går också en bilfärja från Gränna till Visingsö och en del passagerarbåtar. På båda sidor om Vättern finns Göta kanal, som trafikeras av både fritidsbåtar och passagerarbåtar under perioden 1 maj till 30 september.



E4:an går intill Vättern på en sträcka av cirka 25 km. Riksväg 50 passerar Vättern över broar vid Motala och Hammar. Vid Jönköping går järnvägen mycket nära Vätterns strand och många mindre vägar är lokaliserade i närheten av sjön.



Vättern är utpekad som riksintresse för det rörliga friluftslivet (Naturvårdsverket, 2017a). Det finns badstränder, campingplatser, hotell, vandrarhem och restauranger runt sjön. På Vättern förekommer också småbåtstrafik och långfärsskridskoåkning. För områdena kring Motala och Karlsborg är Göta kanal mycket viktig för turismen.



Både yrkesfisket och fritidsfisket är relativt stort i Vättern. Vättern är utpekad som riksintresse för yrkesfisket. Den viktigaste arten för de 20-talet yrkesfiskare som finns vid sjön är signalkräftan, men även lax samt de för Vättern typiska kallvattenarterna sik, röding och öring är betydelsefulla (Vätternvårdsförbundet, 2017b).



Kraftverket i Motala är beläget nära Vätterns utlopp vid Motala Ström och Tekniska verken i Linköping AB ansvarar för tappningen i Motala. Nedströms finns sedan ytterligare 8 kraftverk, vilka också använder det vatten som tappas från Vättern. Tekniska verken ansvarar för 6 av dessa och Holmen AB för de två längs nedströms. Den totala produktionen i de 7 övre kraftverken i Motala Ström är cirka 0,2 TWh per år (Tekniska Verken i Linköping AB, 2017).

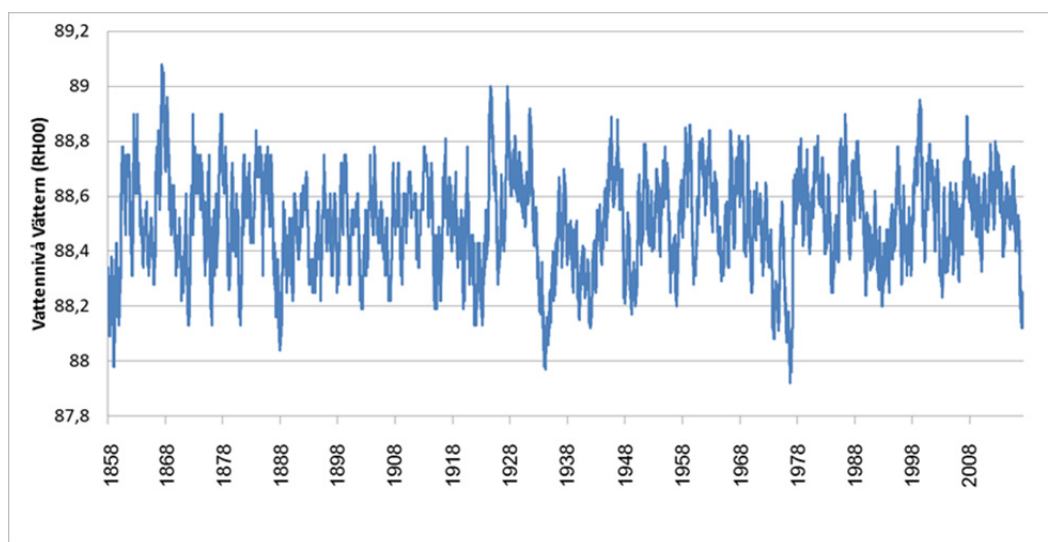


Vätterns kalla vatten utnyttjas till fjärrkyla både i Jönköpings Energis nät i centrala Jönköping och för nedkylning av Elmias lokaler i Jönköping. Vatten tas från 60-70 meters djup några km ut i Vättern.

4.2 Historiska förändringar

Vätterns vattenstånd har uppmätts varje dag i Motala sedan 1858. Vattennivån i Vättern har historiskt varierat mellan cirka 88 och 89 meter (Figur 22). Eftersom tillrinningsområdet är litet och sjön stor, ändras vattennivån långsamt.

Den högsta nivån som uppmätts sedan mätningarna startade 1858 inträffade 1867. Nivåerna var också höga 1924, 1927 och 1999. Den lägsta nivån som uppmätts i Vättern är 87,92 m från oktober 1976.



Figur 22. Vattennivå i Vättern sedan 1858 i meter över havet vid Motala i höjdsystem RH00. Serien finns att ladda ned på smhi.se (Vattenwebb, 2017c).

4.2.1 Göta kanal

Göta kanal, som passerar Vättern på sin väg från Östersjön till Vänern, öppnades för trafik 1832. De slussar som gränsar till Vättern är på den östra sidan Motala och på den västra Forsvik i närheten av Karlsborg. Godstrafiken på kanalen hade stor betydelse fram till 1950-talet men minskade sedan successivt för att dö ut vid 1970-talets slut. Idag går i stort sett bara turisttrafik (AB Göta kanalbolag, 2018).

Göta kanal har ett stort kulturvärde och en stor betydelse för turismen. Den mängd vatten som rinner in eller ut vid slussningen är förhållandesvis liten och påverkar inte Vätterns vattennivå.



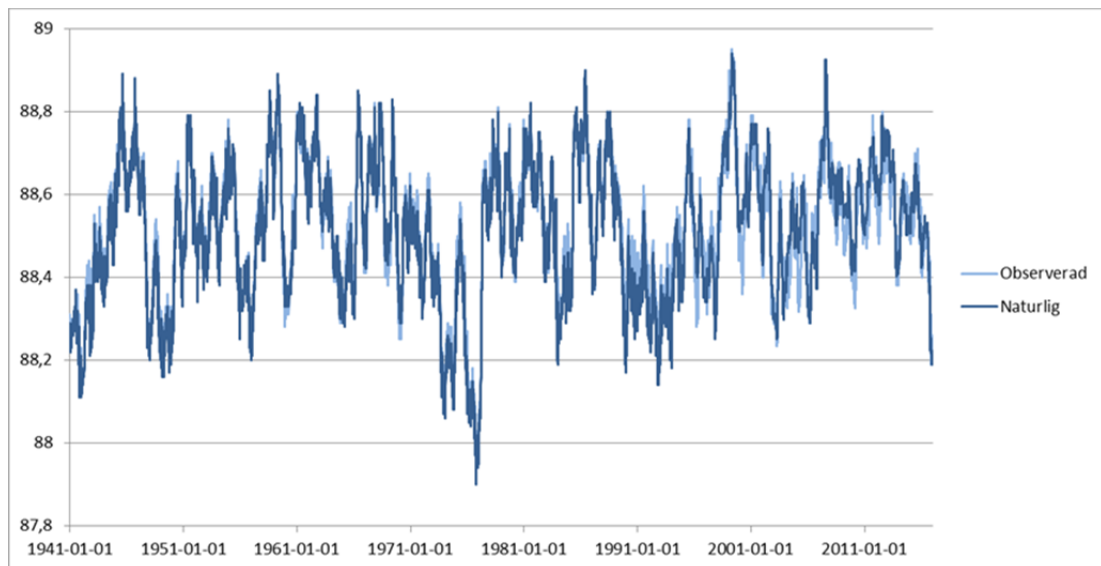
Figur 23. Slussen i Forsvik.

4.2.2 Vätterns reglering

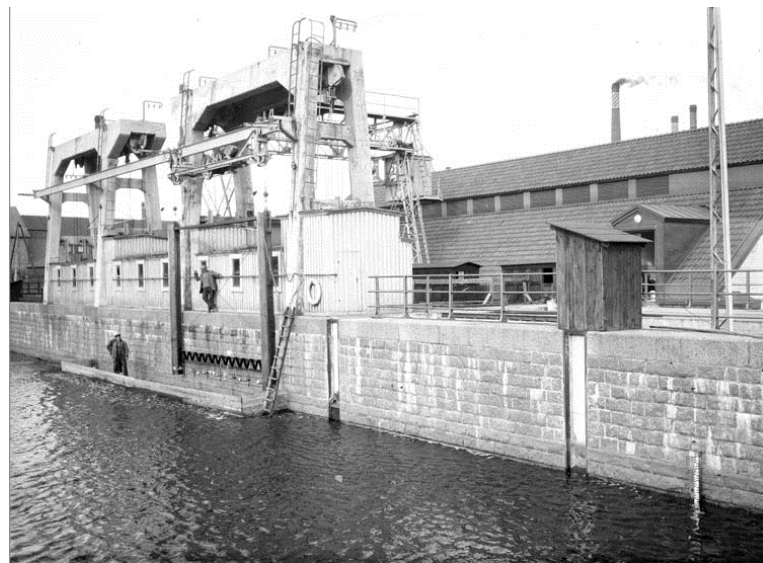
1928 började vattennivån i Vättern att regleras. Fram till 1958, då dagens vattendom kom var friheten i regleringen liten. Vattendomen från 1958 (Söderbyggdens vattendomstol, 1958) stävar efter att regleringen ska efterlikna hur den naturliga vattennivån skulle ha varit och vattennivån följer i princip den naturliga (Figur 24).

Vattenhushållningsbestämmelserna är kopplade till den naturliga nivån i Vättern och de viktigaste bestämmelserna är:

- När den naturliga vattennivån är lägre än 88,30 m får vattennivån inte överskrida den naturliga med mer än 9 cm.
- När den naturliga vattennivån är högre än 88,70 m får vattennivån inte överskrida den naturliga.
- Vid nivåer mellan 88,30 m och 88,70 m får vattennivån inte överskrida den naturliga med mer än det värde som får vid linjär interpolation mellan 9 och 0 cm.

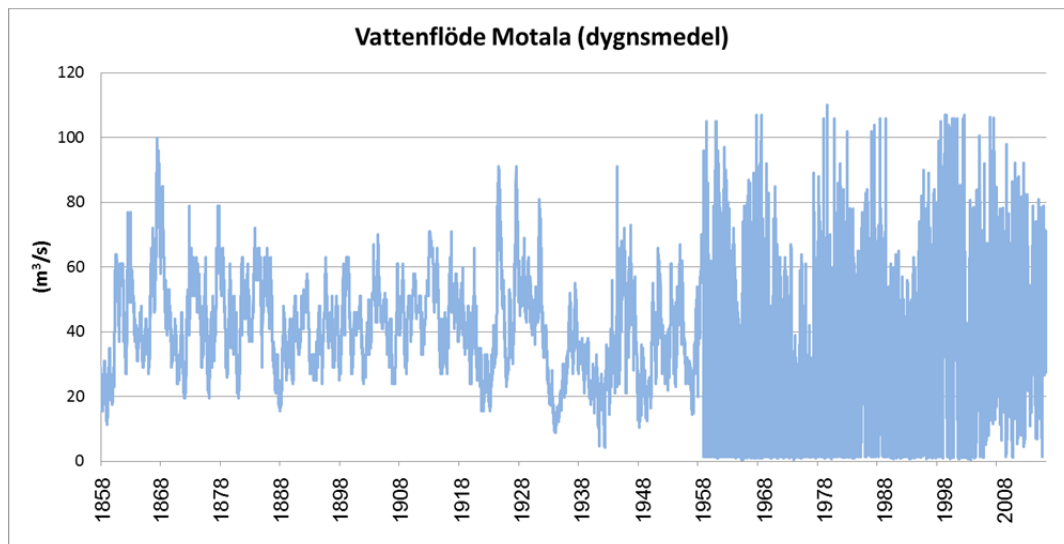


Figur 24. Observerad vattennivå och rekonstruerad naturlig vattennivå i Vättern sedan regleringen infördes. Nivån anges i meter över havet i RH00.



Figur 25. Motala kraftverk 1927. Källa: SMHI:s Historiska bildgalleri (2017).

Flödet i Motala ström har påverkats mycket av regleringen eftersom vattendomen tillåter ganska stora variationer i vattenflödet och nolltappning har förekommit (Figur 26). Däremot är flödet i medeltal för en vecka eller månad likt det naturliga flödet.



Figur 26. Vattenflödet från Vättern sedan 1858.

4.2.3 Hög vattennivå 1999

Under 1999 var vattennivån i Vättern hög. Det berodde på att det fallit mycket nederbörd i Vätterns avrinningsområde under en längre tid. I november 1997 var vattennivån nära sänkningsgränsen för att sedan stiga nästan oavbrutet fram till 29 april 1999. Vattennivån var över dämningssgränsen i drygt 9 månader, från december 1998 till september 1999.

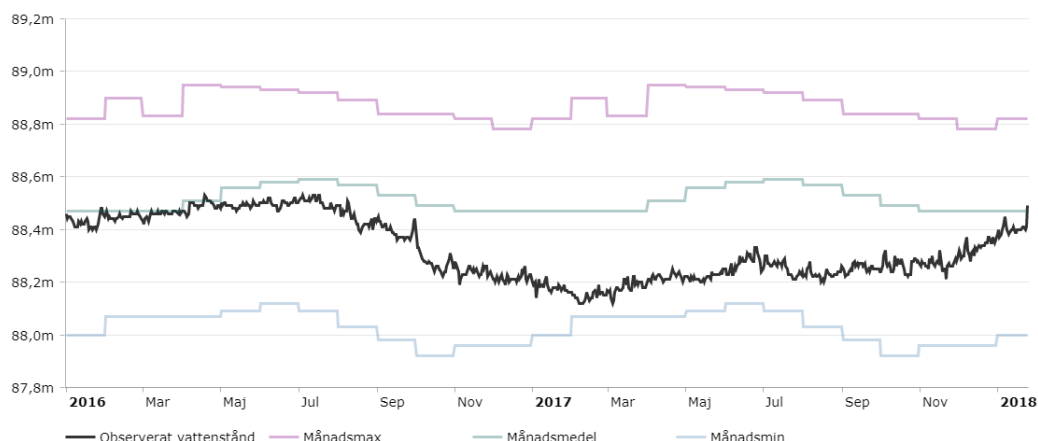
4.2.4 Låg vattennivå 2016/2017

Vattennivån i Vättern var låg under slutet av 2016 och under större delen av 2017, på grund av att lite nederbörd föll i avrinningsområdet. Som lägst var nivån 88,12 m (Figur 28), vilket är cirka 30 cm under medelvattennivån, men 20 cm högre än den lägsta 1976. Det är relativt ovanligt att nivån är så pass låg. Sedan mätningarna startade 1858 har en lägre nivå än 2017 endast uppmätts vid fem tillfällen.

Hösten 2017 var förhållandevis nederbördsrik, vilket medförde att vattennivån steg i slutet av 2017.



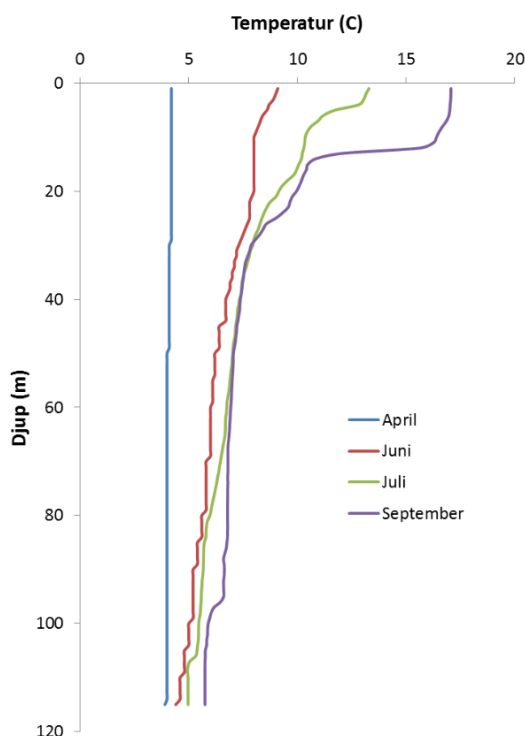
Figur 27. Låg nivå i Vättern vintern 2017. Foto: Rickard Hultberg.



Figur 28. Vattennivån i Vättern januari 2016 till januari 2018 jämfört med statistik 1958-2016.

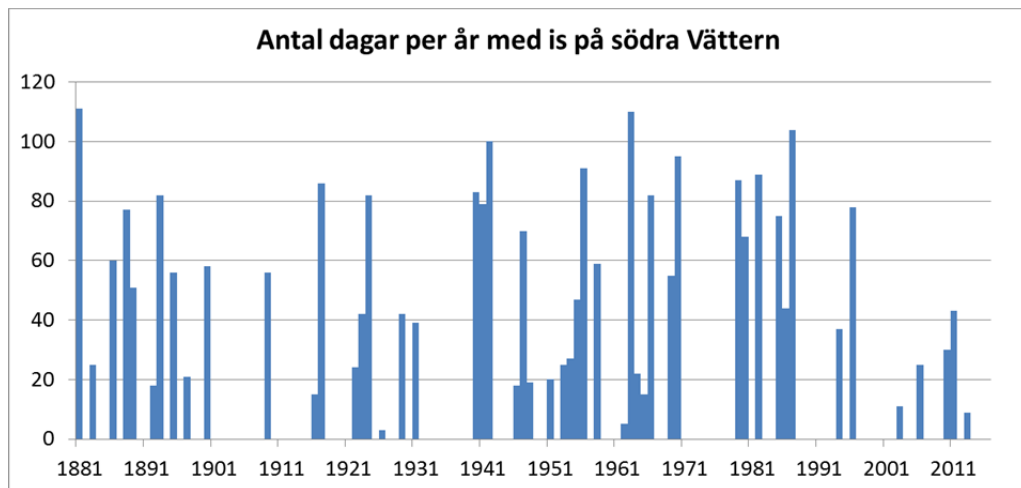
4.2.5 Vattentemperatur och is

Sommartid är ytvattnet oftast mellan 10 och 20 grader och det finns ett mer eller mindre tydligt språngskikt (Figur 29). Bottenvattnet är relativt kallt även under sommaren. Under vintern varierar vattentemperaturen inte lika mycket med djupet.



Figur 29. Observerad vattentemperatur för olika djup i södra Vättern vid fyra tillfällen under 2015. Källa: Vätternvårdsförbundet (2015).

Det är sällan som hela Vättern är istäckt, men i många av vikarna finns ofta is vintertid. Vätternvårdsförbundet har samlat observationer för isläggningen i södra Vättern från 1881 och framåt. Mätningarna visar att det i området har funnits is 51 av de 135 studerade åren, alltså i genomsnitt cirka vart tredje år. De senaste 20 åren har södra Vättern varit isfri många vintrar, men någon tydlig trend kan inte märkas (Figur 30).



Figur 30. Antal dagar med is på södra Vättern. Data från Vätternvårdsförbundet.

4.3 Klimatförändringar i och kring Vättern

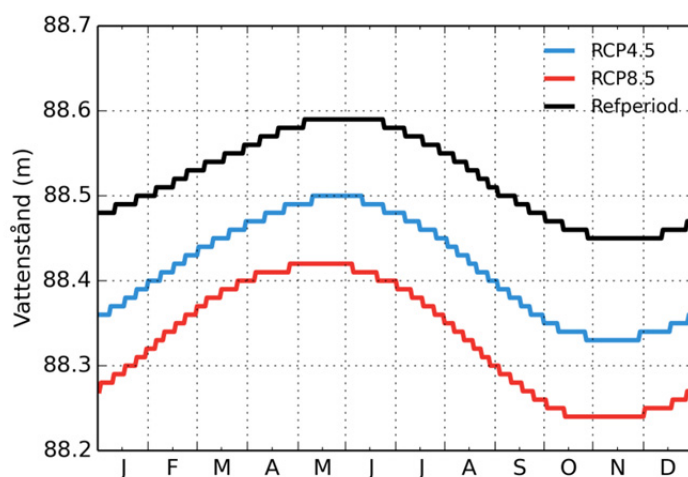
I framtiden kommer Vätterns vatten bli varmare och isförekomsten kommer att minska. Det beräknas också bli vanligare med låga nivåer i Vättern. Trots det väntas de högsta vattennivåerna bli oförändrade.

Resultaten i detta avsnitt kommer från rapporten ”Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern Beräkningar för dagens och framtida klimatförhållanden” (Eklund m.fl., 2017a) som tagits fram inom samma projekt som denna rapport. För framtida klimat har två utsläppsscenarier använts, ett medelhögt utsläppsscenario med benämningen RCP4.5 samt ett högt utsläppsscenario, med benämningen RCP8.5. Se kapitel 1.3.1 ”Nya beräkningar för vattennivåer, tappningar och vattentemperatur och is idag och i ett framtida klimat.” för mer information kring dessa.

Beräkningarna som redovisas här har gjorts för oreglerade förhållanden, vilket speglar dagens reglering väl. För mer detaljer hänvisas till ovanstående rapport.

4.3.1 Förändrade vattennivåer

I framtida klimat beräknas temperaturen och nederbörden att öka, vilket i sin tur påverkar vattennivån i Vättern. Vattennivån beräknas minska under hela året (Figur 31). Det beror på att växtligheten i avrinningsområdet beräknas ta upp mer vatten i ett varmare klimat och att tillrinningen till Vättern därför minskar. Det beror också på att avdunstningen direkt från sjön ökar i ett varmare klimat.



Figur 31. Vattennivåns årsvariation i Vättern. Svart linje visar klimatsceneriernas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 och röd linje RCP8.5 för perioden 2069-2098. Nivåer i meter över havet i RH00. (Eklund m. fl., 2017a).

Antal dagar med höga nivåer beräknas minska och antal dagar med låga nivåer beräknas öka i framtiden (Tabell 7).

Tabell 7. Antal dagar per år över 88,7 m och under 88,3 m i dagens klimat samt förändringen till ett framtida klimat. Resultatet redovisas för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5, för perioden 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna. (Eklund m. fl., 2017a).

[meter över havet i RH00]	Observerat 1961-1990 [dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>88,7	60	- 15 (-38 till +10)	- 21 (-41 till +17)
<88,3	48	+76 (-30 till +166)	+130 (+10 till +255)

De extrema vattennivåerna, 100-årsnivå och beräknad högsta nivå, beräknas dock bli oförändrade i ett framtida klimat medan medelnivån väntas bli lägre (Tabell 8).

Tabell 8. Förändring i medelnivå, 100-årsnivå och beräknad högsta vattennivå (cm) för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max-och minvärden för de olika scenarierna. (Eklund m. fl., 2017a).

	RCP 4.5 2069-2098 (Förändring cm)	RCP 8.5 2069-2098 (Förändring cm)
Medelnivå	- 11 (-22 till +4)	- 19 (-40 till 0)
100-års nivå	- 1 (-8 till +13)	0 (-14 till +10)
Beräknad högsta vattennivå	+2 (-19 till +28)	0 (-20 till +25)

4.3.2 Förändrad tappning från Vättern

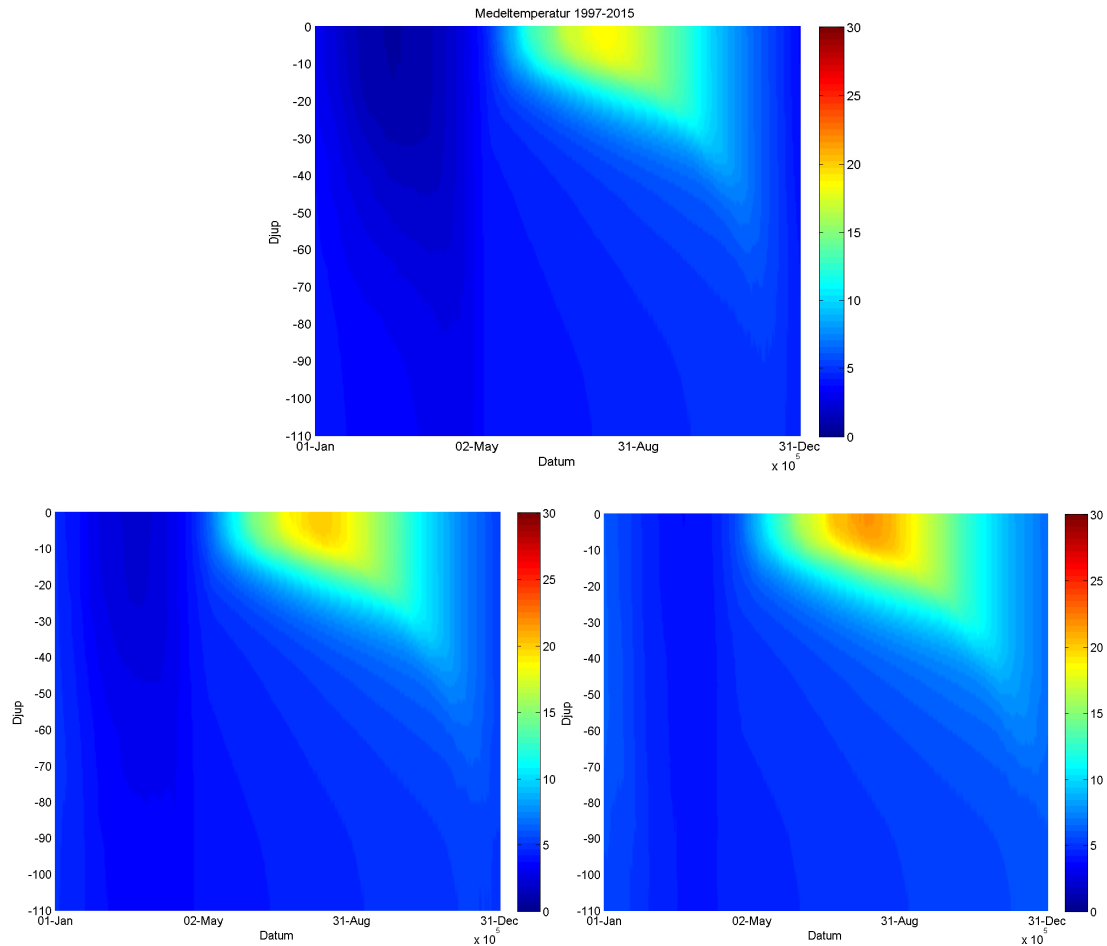
I framtiden beräknas det bli vanligare med låga tappningar och mindre vanligt med höga tappningar från Vättern (Tabell 9).

Tabell 9. Antal dagar per år över eller under olika vattenföringar i dagens klimat samt förändringen till ett framtida klimat. Resultatet redovisas för utsläppsscenario RCP4.5 och utsläppsscenario RCP8.5 för perioden 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna. (Eklund m. fl., 2017a).

[m ³ /s]	Observerat 1961-1990 [dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>60	28	- 9 (-19 till +11)	- 12 (-29 till +18)
<10	4	+3 (0 till +11)	+32 (0 till +100)

4.3.3 Varmare vatten och kortare period med is

Temperaturen beräknas öka i hela Vätterns vattenmassa, med en större ökning i ytvattnet. Perioden med skiktning blir längre och språngskiktet väntas bli djupare. Perioden med kallt vatten på vintern blir kortare (Figur 32). Antal dagar med is beräknas minska (Tabell 10).



Figur 32. Simulerad temperatur för alla djup i Vättern under ett normalår för perioden 1997-2015 (överst) och för RCP4.5 (nederst till vänster) och för RCP8.5 (nederst till höger) för perioden 2080-2098. Ytvattnet är vid djup 0. (Eklund m. fl., 2017a).

Tabell 10. Olika parametrar för vattentemperatur och is i Vättern, dels medelvärde för referensperioden 1997-2015, dels genomsnittlig förändring till perioden 2080-2098 samt de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. (Eklund m. fl., 2017a).

	Period 1997-2015	Period 2080-2098 RCP4.5	Period 2080-2098 RCP8,5
Medeltemperatur ytvatten, grader C.	8,5	+1,5	+3,0
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	4,0	+0,5	+1,0
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >5 grader C	219	+31	+78
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >20 grader C	6	+11	+38
Antal dagar/år med is	24	-20	-24

4.3.4 Vanligare med skyfall

Den globala uppvärmningen förväntas leda till mer intensiva skyfall som väntas inträffa oftare. Den framtida ökningen av volymerna beräknas ligga mellan 10% och 40% beroende på tidshorisont och koncentration av växthusgaser (Olsson m.fl., 2017).

4.4 Problem idag och i ett framtida klimat

Ett varmare vatten kan leda till en sämre vattenkvalitet samt att ekosystemet i Vättern förändras, det är dock svårt att säga på vilket sätt. Översvämningsrisken i Jönköping beräknas vara fortsatt stor i framtiden. De låga nivåerna kan skapa problem för båttrafiken.

I detta avsnitt diskuteras de problem som finns och väntas tillkomma eller förstärkas på grund av klimatförändringar. Avsnittet bygger på dialog med referensgruppen samt redan befintligt material om hur Vättern påverkas i ett framtida klimat. Syftet är att ge en översiktlig bild av klimatförändringarnas konsekvenser.

4.4.1 Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat



Av orterna som ligger runt Vättern är det främst Jönköping som drabbas av översvämningar. Översvämningen 1999 ledde trots räddningsinsatser till skador i Jönköping. Skadorna omfattade VA-system och pumpstationer samt översvämmade källare. En väg och några gång- och cykelbanor översvämmades också. (Hirsmark m.fl., 2004). Under perioden med hög vattennivå förekom inte någon kraftig nordlig vind, vilket hade förvärrat situationen.

MSB har i sitt arbete med översvämningsdirektivets första cykel identifierat Jönköping som ett område med betydande översvämningsrisk (MSB, 2011). Det är inte bara vattennivån i Vättern som orsakar översvämningar, utan även vattenflödet i Tabergsån och vattennivån i Munksjön och Rocksjön. Inom arbetet med översvämningsdirektivet har hotkartor och riskkartor tagit fram av MSB och riskhanteringsplaner utarbetats av länsstyrelsen. Även i översvämningsdirektivets andra cykel är Jönköping identifierat som ett område med betydande översvämningsrisk (MSB, 2018).

Jönköpings kommun har tagit fram noggranna utredningar kring olika faktorer som påverkar översvämningar. Med dessa som grund har en planeringsnivå för ny bebyggelse fastställts (Jönköpings kommun, 2016).



Figur 33. Huskvarna och Vättern. Jönköping i bakgrunden.

Vätterns utlopp som ligger vid Motala har en större landhöjning än Jönköping vid Vätterns sydspets. Det gör att sjön långsamt tippar så att vattennivån sakta höjs i de södra

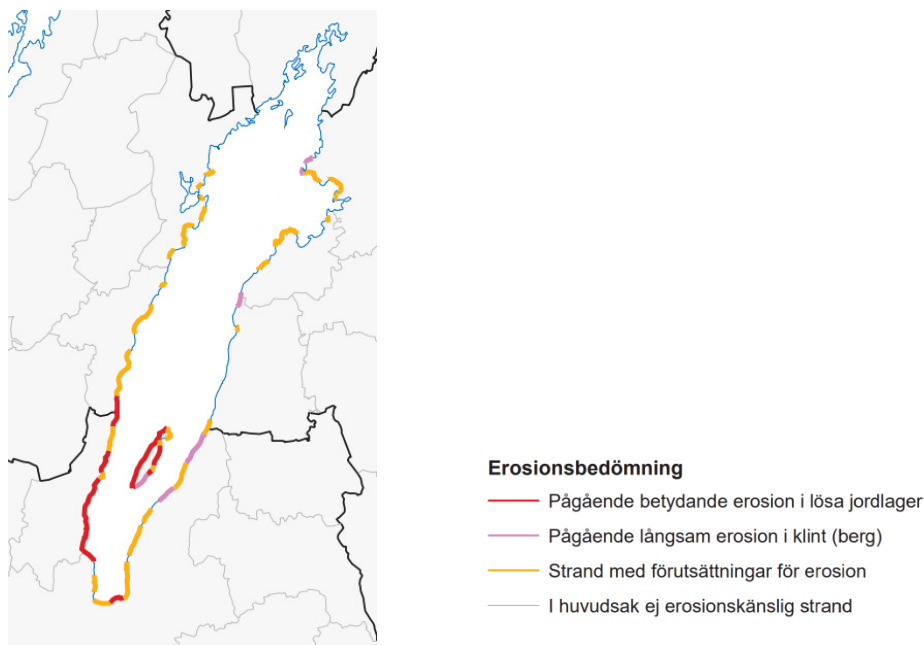
delarna och sjunker i de norra delarna. Landhöjningsskillnaden mellan Motala och Jönköping är i storleksordningen 1,1 till 1,7 mm/år. Det betyder att vattennivån i Jönköping var cirka 8 cm högre 2006 än vid regleringen 1958 (German, 2008) och cirka 17 cm högre än i början av 1900-talet.

För att minska översvämningsproblemen vid Jönköping har en ändring av vattendomen föreslagits. Efter de stora översvämningarna 1999 skrev Jönköpings kommun till Kammarkollegiet och bad dem ta upp frågan (Jönköpings kommun, 1999). Kammarkollegiet har gett SMHI i uppdrag att ta fram en alternativ tappningsstrategi för att minska de högsta nivåerna (German m.fl., 2010). En ökning av tappningen vid höga nivåer i Vättern skulle innebära en viss sänkning av de högsta nivåerna. I dagsläget driver dock varken Jönköpings kommun eller Kammarkollegiet frågan om ny vattendom. I framtida klimat beräknas de extrema vattennivåerna (100-årsnivå och beräknad högsta nivå) bli oförändrade. Alltså kvarstår översvämningsrisken i Jönköping i framtiden.



Längs Vätterns stränder har en betydande stranderosion förekommit, exempelvis efter de höga vattennivåerna 1999. En studie har gjorts av hur den påverkats av regleringen (Bergh, 2001). Slutsatsen från studien är att stranderosionen inte har varit större efter att regleringen infördes än vad den varit under naturliga förhållanden.

SGU har under 2017 gjort en kartläggning över stranderosionen i Sverige (SGU, 2017). Stora delar av Vätterns stränder bedöms ha ”Pågående betydande erosion i lösa jordlager” eller ”Strand med förutsättning för erosion”. Denna typ av erosion bedöms som relativt långsam och förekommer främst vid stormar i kombination med högvatten. SGU:s bedömning är att klimatförändringarna inte kommer att leda till någon påtaglig ökning av stranderosionen vid Vätterns stränder. Däremot kan landhöjningen göra att stranderosionen ökar i Vätterns södra delar.



Figur 34. Kartan visar kuststräckor som nu utsätts för erosion samt sträckor som potentiellt är erosionskänsliga, men som för närvarande inte utsätts för erosion. Kartan baseras på jordarternas erosionskänslighet, terrängens höjdförhållanden samt information som insamlats i fält i samband med SGUs jordartsgeologiska kartläggning. Kartan ger en översiktlig bild av erosionsförhållanden, men kan inte användas för detaljerad bedömning av erosionsrisk. Källa: SGU.

4.4.2 Förändrad tillrinning och ökning av skyfall



I framtiden beräknas det bli vanligare med kraftig nederbörd. Det kan leda till att mer föroreningar och näringsämnen spolats ut i Vättern och försämrar vattenkvaliteten.

Vattenfärgen i många sjöar har ökat under senare år. Det märks ännu inte i Vättern, men på sikt kan vattenfärgen påverkas.

4.4.3 Låga vattennivåer idag och i ett framtida klimat



En låg nivå i Vättern kan leda till problem för båttrafiken. Under sommaren 2017 var nivån i Vättern låg, vilket skapade problem för både småbåtstrafik och passagerartrafik.

De största kanalbåtarna kunde inte trafikera Göta kanal, på grund av låga vattennivåer i Vättern, Roxen och Asplången. Det gjorde att båtarna inte kunde ta sig över vissa slusströsklar. Även ångbåten Trafik, fick ställa in sina passagerarturer från Hjo under hela sommaren på grund av den låga vattennivån i Vättern. I en del småbåtshamnar var det problem för båtarna att ta sig in och ut. Länsstyrelserna runt Vättern har under 2016 och 2017 märkt ett ökat antal anmälningar om verksamheter i vatten som antingen varit nödvändiga på grund av lågt vattenstånd, till exempel muddring, eller återgärder som lämpligen utförs vid lågt vatten (Personlig kommentar Måns Lindell, 2017, Vätternvårdsförbundet).

I framtiden beräknas det bli vanligare med låga nivåer. Det kan leda till ökade problem för båttrafiken på Vättern, främst genom en ökad risk för grundstötning. Problemen kan bli större i de norra delarna av Vättern, eftersom de redan idag är relativt grunda och eftersom landhöjningen gör att de långsamt blir grundare. Det kan också bli problem att lägga till vid kajer och bryggor. De stora kanalbåtarna kan komma att oftare få problem att ta sig över slusströsklarna i Forsvik och Motala. Mer muddring av farlederna kommer troligvis att behövas i framtiden.



Låga nivåer i Vättern kan göra det svårare för arter som öringen, harr och nejronöga att vandra upp i vattendragen för att leka. Rödingens lek kan också påverkas, eftersom den sker i grunda områden.

4.4.4 Låga tappningar i Motala Ström



Låga tappningar i Motala Ström kan påverka naturmiljö, båttrafik och friluftsliv i Motala Ström och i sjöarna nedströms Vättern.



I framtiden beräknas tappningen från Vättern bli lägre. Det kan medföra minskad kraftproduktion i kraftverken nedströms Vättern.

4.4.5 Ökande vattentemperaturer och minskad period med is



Ett varmare vatten kan medföra en sämre vattenkvalitet genom exempelvis tillväxt av bakterier och alger. Det ger ökade krav på rening och behandling, men kan också medföra att vattenintag måste flyttas till större djup med kallare vatten. Problemen väntas dock bli större i andra vattentäkter, som redan idag har sämre kvalitet. Det kan i sin tur leda till en större efterfrågan på Vätterns vatten.



Vätternvårdsförbundet (2015) har listat de största miljöproblemen för Vätterns ekosystem, vilka bedöms vara miljögifter, nya arter och klimatförändringar.

Klimatförändringar med varmare vatten och kortare perioder med is kan medföra problem för Vätterns karakteristiska kallvattenekosystem. Det är troligt att vissa arter kommer att minska i framtiden medan andra kommer att öka.

Redan idag märks en ökning av vattentemperaturen i Vättern, och en viss påverkan på Vätterns ekosystem har observerats. I Vättern finns Sveriges största bestånd av storöding, men detta bestånd har minskat kraftigt sedan 1950-talet (Jonsson och Setzer, 2014). De främsta orsakerna är överfiske och inplantering av den konkurrerande laxen. En annan orsak är att rödingen är känslig för höga temperaturer. Rommens kläckning är temperaturstyrd och kläcks tidigare efter en mild vinter, men eftersom tillgången på föda styrs av ljuset finns det då inte tillräckligt med föda.

Det finns ett samband mellan en mild vinter och en minskad rödingfångst några år senare. I framtiden kan en ökad temperatur drabba rödingen hårt och den är därför en viktig indikatorart för klimatförändringar. Till viss del kan påverkan på rödingen minskas genom att restriktioner för rödingfisket införs. I Vättern finns också bestånd av öring och harr, men dessa fiskar är inte lika känsliga för ökade temperaturer.

I Sverige finns 7 arter av glacialrelikta kräftdjur, det vill säga kräftdjur som invandrade till Sverige under den senaste istiden och sedan blivit kvar. Det är bara i Vätern och Vättern som samtliga av dessa kräftdjur finns. Kräftdjuren behöver kallt vatten för att överleva och kan på sikt användas som en indikator på klimatförändringar med varmare vatten. Omfattande inventering av dessa kräftdjur har bara gjorts de senaste åren, så än är det svårt att utläsa några trender i förekomsten (Vätternvårdsförbundet, 2015).



Figur 35.

*Ett av de glacialrelikta kräftdjuren, Mysis relicta eller punggräka.
Foto: Arild Hagen*



Under senare år har fångsterna minskat främst för röding och sik (Vätternvårdsförbundet, 2017b). Det är svårt att förutse vilka effekter klimatförändringarna får för ekosystemet, men det är troligt att fisket av röding och andra kallvattenarter kommer att minska, medan fisket av så kallade varmvattenarter kommer öka. Signalkräftan i Vättern kan gynnas av en högre vattentemperatur.



Varmare temperaturer vid Medelhavet kan leda till ökad turism i Skandinavien (Klimatanpassningsportalen, 2018). Det är inte orimligt att Vättern liksom många andra sjöar i Sverige kommer vara av större intresse för turism i ett framtida klimat.

I framtiden väntas badvattentemperaturen i Vättern bli högre och badsäsongen längre. I ett varmare vatten finns dock en större risk för bakterier och algbloomningar. Vintersport, såsom långfärdsskridsko, isfiske och isjakt kommer begränsas eftersom tillgången på is minskar.

4.4.6 Ökad lufttemperatur



Det beräknas bli vanligare med värmeböljor i framtiden (Ohlsson m.fl., 2015). Efterfrågan på att använda Vätterns kalla bottenvatten till kylsystem under varma perioder kan komma att öka i framtiden.

4.5 Vad behöver göras?

För Vättern har det i diskussioner med referensgruppen framkommit några tydliga områden där det behövs kunskap och fortsatt arbete.

4.5.1 Ytterligare beräkningar

- Modeller behöver utvecklas för att förutse vad som händer med Vätterns ekosystem när vattnet blir varmare. Temperaturförändringarna som beräknats inom detta projekt (Eklund m.fl., 2017a) kan användas som indata till ekologiska modeller. Speciellt viktigt är att beräkna hur storrödingen påverkas, eftersom det är en indikatorart som i sin tur påverkar hela ekosystemet i stor utsträckning.
- Det behövs också beräkningar av hur råvattenkvaliteten förändras i ett varmare klimat.
- Det behövs även ökad kunskap om hur mycket vatten som kan avledas från Vättern för dricksvattenproduktion utan att det påverkar andra intressen.
- Som underlag för placering av intag av dricksvatten och fjärrkyla behövs beräkningar med en strömningsmodell för Vättern. I Vättern förekommer olika strömmar som kan föra med sig kallt och varmt vatten till olika delar av sjön.

4.5.2 Ökad övervakning

Det är mycket viktigt att övervaka klimatförändringens effekter, framförallt behövs observationer av vattentemperatur. Det finns en mätserie för Motala kraftverk mellan åren 1976 och 1997 och för att kunna analysera förändringar bör en ny mätstation etableras på samma plats. Det finns behov av fler temperaturopbservationer i hela vattenpelaren från ytan till botten.

2015 pågick ett projekt om användandet av satellitdata för miljöövervakning i de stora sjöarna (Vänerns vattenvårdsförbund m.fl., 2015). Det visade att satellitdata kan användas vid miljöövervakning av växtplankton, siktdjup och fisk för Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren. Satellitdata bör implementeras i den löpande miljöövervakningen för de stora sjöarna.

4.5.3 Samhällsekonomiska konsekvenser

I denna rapport har klimatförändringars påverkan på olika intressen belysts. En samhällsekonomisk analys av dessa konsekvenser kan också behöva göras.

4.5.4 Framtagande av ny vattendom

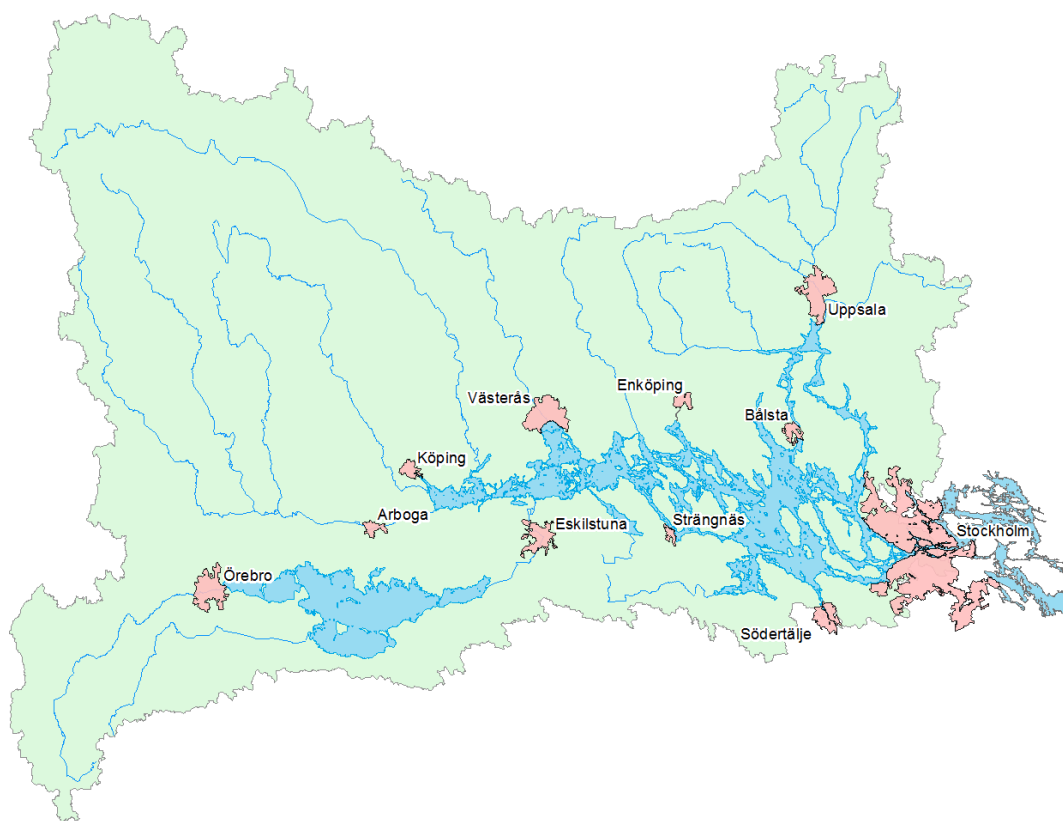
På sikt kan en ny vattendom för Vättern bli aktuell. Ett förslag till en förändrad tappning för att minska översvämningsrisken finns redan framtaget. En förändrad tappning kan också bli aktuell för att minska risken för låga nivåer i Vättern eller sjöarna nedströms.

5 Mälaren

Mälaren är en typisk slättlandssjö med flacka stränder och stora grunda områden. Sjön är flikig och består av flera bassänger. Det finns över 8000 öar. Sjön skiljer sig från Vänern och Vättern då dess flikighet, långa strandlinje och variationer i avrinningsområde ger en varierande karaktär på ekosystem och vattenmiljö (Calluna, 2010).

Mälaren får sitt vatten från ett avrinningsområde som utgör cirka 5 % av Sveriges yta. Vattnet samlas upp i större vattendrag som ger Mälaren merparten av sitt vatten.

I avrinningsområdet ligger sex län och 65 kommuner. Vissa kommuner har endast delar av ytan i Mälarens avrinningsområde. I Mälarens avrinningsområde ingår även Hjälmaren som är Sveriges fjärde största sjö (Figur 36).



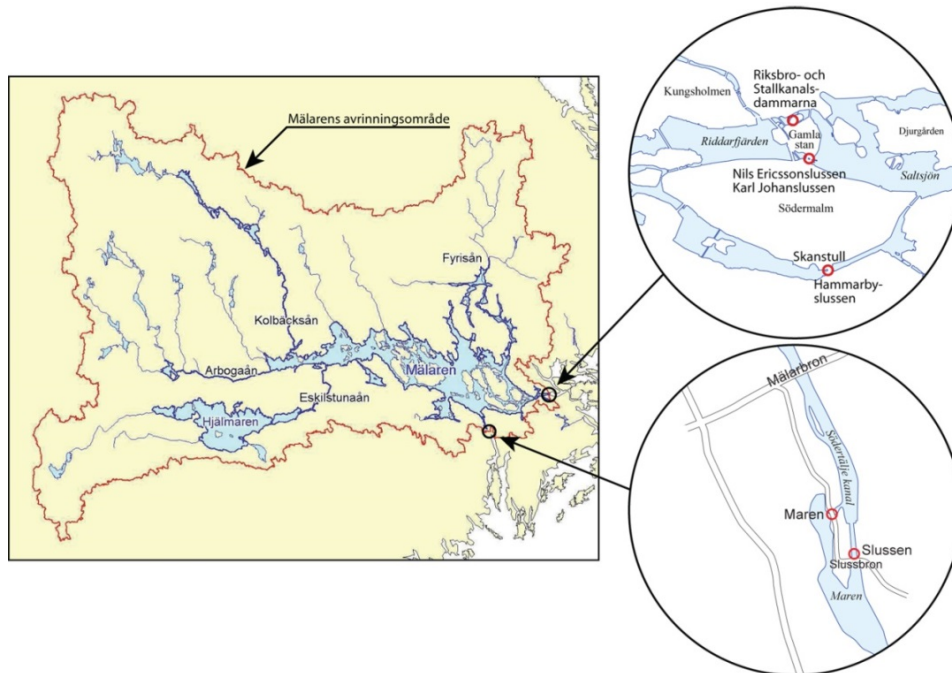
Figur 36. Mälarens avrinningsområde.

Mälaren ligger i medeltal endast 0,7 m över havets nivå. Skillnaden mellan havsnivån (Saltsjöns nivå) och Mälarens vattennivå begränsar hur mycket vatten som kan tappas ur sjön. Om nivåskillnaden är liten, minskar mängden vatten som kan tappas ur sjön.

Allt vatten inom Mälarens avrinningsområde rinner via Mälaren och ut vid följande platser: Norrström (Riksbro- och Stallkanalerna), Söderström (Nils Ericssonsslussen och Karl Johanslussen), Hammarby slussen och slussen i Södertälje. Dessa visas i Figur 37 nedan. Det finns även kulvertar i Hammarby (Skanstull) och Södertälje (Maren) som vattnet rinner genom.

Slussarna vid Söderström och Slussenområdet är vid framtagandet av denna rapport under ombyggnad och kommer framöver kallas *nya Slussen* i denna rapport (Stockholms Stad,

2017). I samband med detta har ett stort projekt genomförts där mycket information tagits fram. Detta projekt benämns framöver i rapporten för *slussenprojektet*.



Figur 37. Mälarens avrinningsområde och utloppspunkter. Källa: Stockholms stad (2017).

5.1 Intressen kring sjön

Mälaren är en sjö med många användare och cirka 3 miljoner människor bor vid sjön och dess omgivningar. Det är Sveriges största dricksvattentäkt. Vid dess utlopp ligger Stockholm med viktig infrastruktur, knutpunkt för väg och järnväg. Sjön har höga naturvärden.



Figur 38. Olika intressen med dess önskemål kring Mälaren.



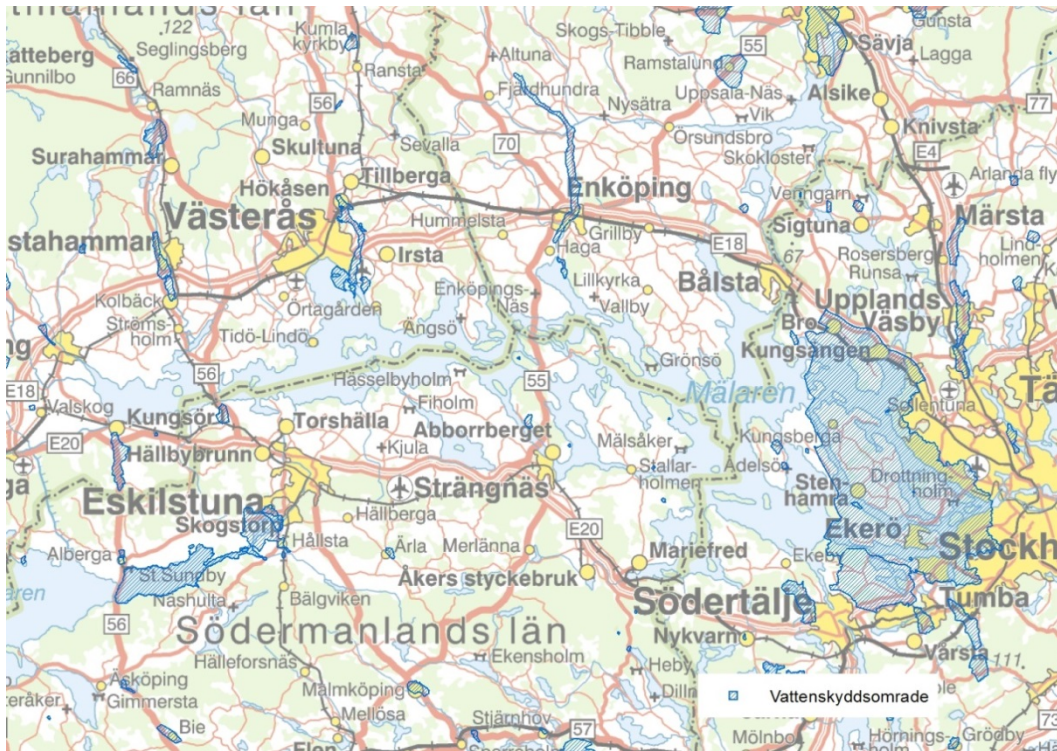
Kring sjön bor idag 3 miljoner människor. Det är en kraftigt växande region och 2050 beräknas det bo 5 miljoner människor kring Mälaren (Mälardalsrådet, 2016).

Fram till nya Slussen är i bruk ligger delar av bebyggelsen runt Mälaren i översvämningskänsligt läge. Stockholm är ett av de 18 områden som MSB utpekat med hög översvämningsrisk (MSB, 2018).



Mälaren försörjer cirka två miljoner människor med dricksvatten. Dricksvattnet produceras vid flera olika platser vid sjön. Vattenkvaliteten är god (Norrsvatten, 2017 och Stockholm Vatten och Avfall, 2018).

Det finns ett flertal vattenskyddsområden i Mälaren varav östra Mälarens vattenskyddsområde är det största (Figur 39). Det fastställdes 2008 (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2017b). Djupdalsverket i Södertälje, Görvälnverket i Järfälla, Lovöverket i Ekerö, Norsborgsverket i Botkyrka och Västerås stads dricksvattenanläggningar är utpekade som riksintresse för dricksvattenförsörjning (Havs- och vattenmyndigheten, 2017c).



Figur 39. Vattenskyddsområden i och kring Mälaren. Källa: Naturvårdsverket (2017a)
 Bakgrundskarta från Lantmäteriet.



Landskapet kring Mälaren är av en varierande karaktär med insjöskärgård och bassänger av olika struktur och vattenkvalitet vilket skapar förutsättningar för olika biotoper. Mälaren har en mycket lång strandlinje och har under lång tid präglats av människan. Sjön har stora naturvärden (Calluna, 2010).

Kring Mälaren finns över 40 Natura2000 områden (Mälarens vattenvårdsförbund, 2017a) och ett 80-tal naturreservat med hänvisning till habitat- eller fågeldirektivet. Många är knutna till strandmiljöerna kring Mälaren. (Calluna, 2010). Mälaren och dess öar och strandområden är utpekade som riksintresse bland annat med anledning av de höga natur- och kulturvärdena (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2017a).

Basprogrammet för miljöövervakningen i Mälaren ingår i det nationella sötavattenprogrammet. Detta delfinansieras av Havs- och vattenmyndigheten (Havs- och vattenmyndigheten, 2017a).



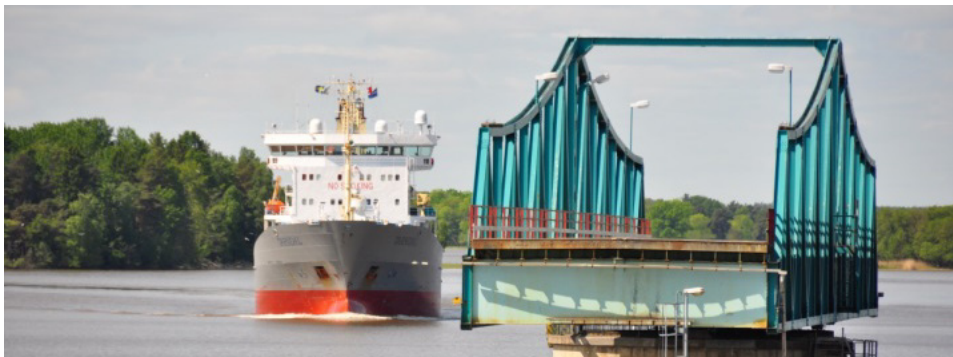
Runt Mälaren finns stora områden med både åkermark och betesmark. Markerna är bördiga och består till stor del av lera (Mälarens vattenvårdsförbund, 2017b). En stor del av markerna är beroende av en fungerande avvattning och är invallade eller utdikade. Det finns många invallningsföretag kring sjön.



Vid Mälarens utlopp ligger Stockholm, en nationell knutpunkt för biltrafik och järnväg. Över sjön passerar riksväg 55 och 56. Vid riksväg 56 går även järnväg över sjön. Ett antal bilfärjor trafikerar Mälaren.



Mälarden är en viktig transportled som sträcker sig från Södertälje till hamnarna i Västerås och Köping. Årligen passerar cirka 2000 fartyg Södertäljekanal. Merparten är ingående gods, bland annat olja och kemikalier (Sjöfartsverket, 2014).



Figur 40. Fartyget Tärndal passerar den öppna Hjulstabron i Mälaren.



I Mälaren finns mycket friluftsliv och turism med bland annat ett högt antal fritidsbåtar och iordningställda badplatser. Mälarens badplatser bedömdes 2009 till ett värde av nästan 3 miljarder kronor per år (VAS-rådet, 2009). Sjön är välbesökt vintertid med friluftsliv vinterturism såsom vandring, skridskoåkning och fiske. Det finns många besöksanläggningar, campinganläggningar, hotell, konferensanläggningar och golfbanor i anslutning till sjön (SOU 2006:94).



I Mälaren bedrivs yrkes- och sportfiske (Länsstyrelsen i Västmanlands län, 2017). Hela sjön är avsatt som riksintressant fångstområde för yrkesfisket. Galten, en av Mälarens fjärdar är ett riksintressant uppväxtområde för gös, den ekonomiskt viktigaste fiskarten i Mälaren. Även ål är en ekonomiskt viktig art och fiskas på dispens från det generella ålfiskeförbudet (Havs- och vattenmyndigheten, 2017b). Gädda, gös och abborre är uppskattade arter hos sportfiskare.

5.2 Historiska förändringar

Mälaren var efter istiden en havsvik i Östersjön och blev först för cirka 1000 år sedan en insjö.

Sjön är sedan länge helt reglerad, men kapaciteten att få ut vatten ur Mälaren har varit begränsad med den sluss som byggdes vid Söderström i Stockholm 1930. År 2000 var nivåerna mycket höga och nära att göra stor skada. En ny sluss är under byggnation vilket kommer att minska översvänningsrisken.

5.2.1 Från havsvik till sötvattensjö

Mälaren står i direkt kontakt med Östersjön. I och med att Östersjön sedan istiden varierat i utbredning och salthalt har Mälaren både varit del av det betydligt saltare Littorinahavet för 8000 – 3000 år sedan (Figur 41) och sedan en havsvik i dagens Östersjön med samma vattenståndsvariationer som havet. Mälaren avsnördes från havet och blev gradvis en insjö under 1100 och 1200-talen (Wallin m. fl., 2000).



Figur 41. Littorinahavet för cirka 6 500 år sedan. Källa: Grön idé/Andrén m. fl. (2011).

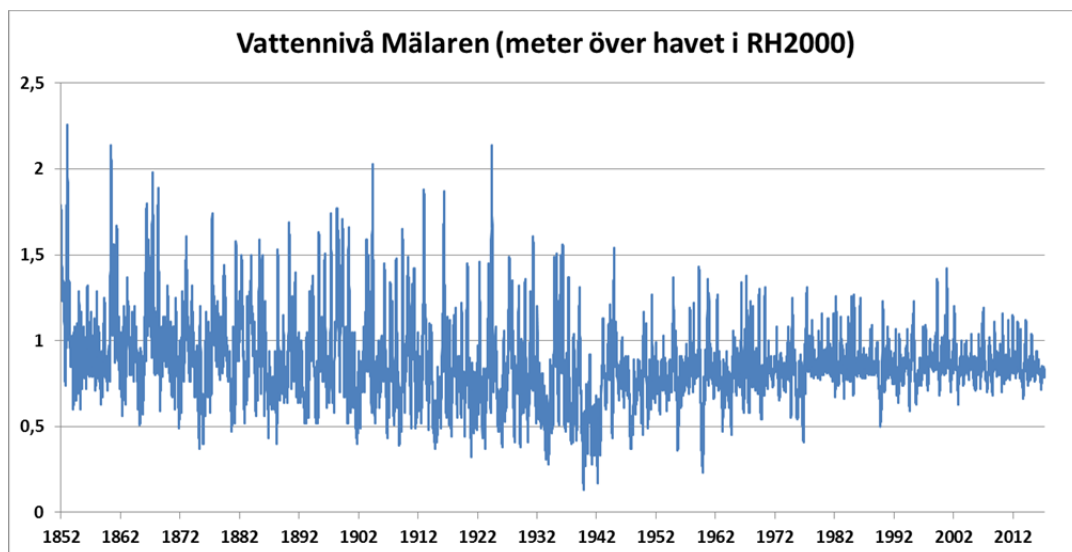
5.2.2 De första slussarna byggs

Nivåskillnaden mellan Saltsjön och Mälaren ställde till problem för sjöfarten. För att lösa detta byggdes 1642 den första slussen vid Söderström av drottning Kristina. Kristinaslussen ersattes år 1755 av Polhemsslussen. I mitten av 1800-talet invigdes en ny sluss, Nils Ericsons sluss.

5.2.3 Mälarens vattennivå

Det finns långa tidsserier över både Mälarens vattennivå och över Saltsjön (Östersjöns) vattennivå. Mätningarna av vattennivå har skett på olika sätt över tid. Längre mättes Mälarens vattennivå från pegeln vid övre Stockholm. Idag är Mälarens vattennivå ett medelvärde av vattennivån vid mätpunkterna Västerås, Kungsör, Sundbyholm,

Sandviken, Bålsta och Kungsholmen (SMHI, 2017c). Mätserien för Mälarens vattennivå visas i Figur 42.



Figur 42. Mälarens vattennivå sedan mitten av 1800-talet. Serien finns att ladda ned på smhi.se (Vattenwebb, 2017c).

År 1943 reglerades Mälaren, innan dess varierade vattennivån i Mälaren mer än den gjorde efter regleringen. Riktigt höga och låga vattenstånd har förekommit vid ett flertal tillfällen i historisk tid. År 1780 ska vattenståndet ha varit så högt som cirka 3,33 meter i RH2000 (Granström, 2003). Höga vattennivåer i Mälaren inträffade ofta under artonhundratalet samt i början av 1900-talet. En av de värsta översvämningarna ägde rum 1924 då delar av Gamla Stan ställdes under vatten (Figur 43). Det är värt att nämnas att på den tiden saknades mycket av den känsliga infrastruktur och de tunnelsystem som finns idag.



Figur 43. Mälartorget våren 1924. Källa: SMHI:s Historiska bildgalleri (2017)

5.2.4 Första vattendomen och 1930-talets sluss

Mälaren började regleras 1943 med en vattendom som kom 1941. Syftet med vattendomen från 1941 var delvis att hålla vattennivån mellan nivåerna 0,69 och 1,39 meter i RH2000.

Regleringen skedde via Karl Johanslussen som invigdes 8 år tidigare, 1935 (Figur 44).

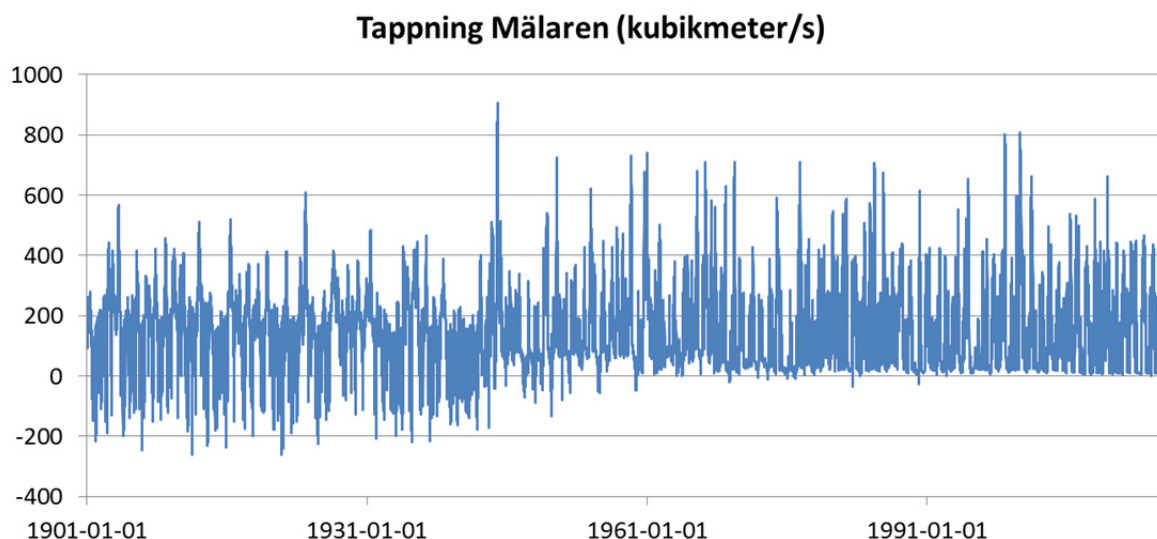


Figur 44. Invigningen av Slussen 15 oktober 1935. Källa: Stockholmskällan.
Fotograf: Cronquist, Gustaf W:son (1878-1967).

Syftet med den första regleringen var framförallt att skydda jordbruksmarker från översvämning och även att förbättra förutsättningarna för sjöfarten och undvika saltvatteninträngning (Adrup m.fl., 2011). Domen resulterade i att översvämningarna minskades men vattennivåerna blev tidvis för låga. Därför arbetades domen om 1960 (Österbygdens Vattendomstol, 1960). Då började även Stallkanalen regleras. Den dåvarande vattendomen justerades 1967 och 1989 och har gällt fram till 2015.

Fram till 1943 kunde vatten strömma både från Mälaren ut i Saltsjön och från Saltsjön in i Mälaren, detta begränsades med regleringen. Fram till idag gäller att alla luckor ska stängas när Saltsjöns nivå står över Mälarens. Detta för att undvika saltvatteninträngning (Personlig kommentar, Torbjörn Granquist, Stockholms hamnar, 2017).

I Figur 45 visas hur stor tappningen varit ur Mälaren sedan 1900.



Figur 45. Tappning från Mälaren i kubikmeter per sekund. När Saltsjöns vatten rinner in i Mälaren syns detta som negativa värden. Serien finns att ladda ned på smhi.se (Vattenwebb, 2017c).

5.2.5 Höga nivåer 2000

De högsta vattennivåerna sedan 1950-talet inträffade hösten 2000. En mild och nederbördsrik höst ledde till stigande vattennivå i Mälaren. I december 2000 uppmättes det högsta vattenståndet under reglerad tid i Mälaren, 56 cm över medelvattenståndet.

Bostäder, areella näringar, skogsbruk, jordbruk, transportsystem, kommunal teknisk försörjning påverkades av översvämningen. Vatten läckte in under järnvägsspåren nära Gamla Stans tunnelbanestation och det var nära att vatten hade läckt in i tunnelbanans biljetthall och spårssystem (MSB, 2012; Pettersson m. fl., 2011).

Situationen år 2000 i Mälaren visade tydligt att avtappningskapaciteten för Mälaren var för liten för att kunna garantera säkerheten mot översvämningar i såväl Stockholm som övriga Mälardalen (SOU 2006:94). Mer detaljer om historiska översvämningar kring Mälaren finns i ”Översvämningar i Norra Östersjöns vattendistrikt” (Pettersson m. fl., 2011) och ”Konsekvenser av en översvämning i Mälaren” (MSB, 2012).

5.3 Projekt Slussen

När denna rapport författas är Slussen under ombyggnad och hela projektet planeras vara klart år 2025. Anledningen till ombyggnationen är både att Slussen är i så dåligt skick att ombyggnad och förstärkning av konstruktionen är helt nödvändig samt att en ny sluss ger möjlighet att öka tappningskapaciteten, det vill säga hur mycket vatten som kan släppas ut från Mälaren. Med en ny sluss minskar riskerna för översvämning därför betydligt (Stockholms Stad, 2017).

I samband med ombyggnationen av Slussenområdet och den nya Slussen behövde vattendomen från 1941 omprövas. Den nya vattendomen togs i bruk 2015, men fram tills att de nya vattenanläggningarna i nya Slussen är klara gäller en tillfällig regleringsstrategi som liknar den gamla vattendomen från 1941 (Svea Hovrätt Mark- och miljööverdomstolen, 2015). Den nya permanenta regleringen tas i drift runt 2022.

5.3.1 Framtagande av ny regleringsstrategi och ny vattendom för Mälaren

En ny strategi för reglering av Mälaren togs fram år 2011 (Andréasson m. fl., 2011). Arbetet genomfördes under flera år i nära dialog med olika intressenter runt sjön.

Den nya regleringen har tre syften:

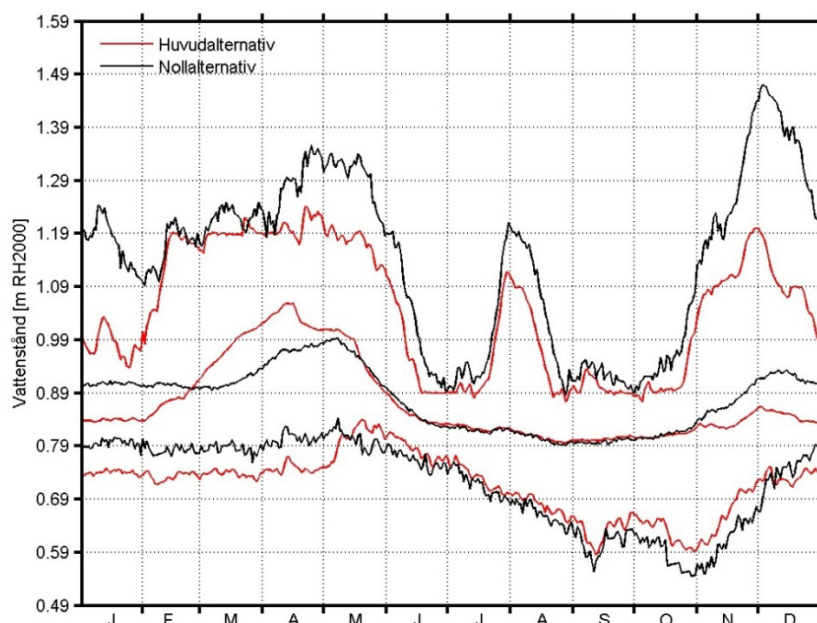
- Minska risken för översvämning runt Mälaren. Samhällsintressen: Dricksvattenförsörjning, bebyggelse och infrastruktur, sjöfart, jordbruk
- Minska risken för låga vattennivåer i Mälaren. Samhällsintressen: Dricksvattenförsörjning och sjöfart.
- Förhindra saltvatteninträngning. Samhällsintressen: Dricksvattenförsörjning.

Den nya strategin för reglering tar hänsyn till både krav på vattenståndsvariationer och flöden i olika tappningskanaler och är en avvägning mellan olika intressenters önskemål och krav. Som exempel hålls något högre vattenstånd under våren. Detta främjar naturmiljön (Calluna, 2010) men orsakar till exempel sämre dränering på oinvallad jordbruksmark under våren. Totalt ger detta en produktionsminskning för jordbruket men det ger också förändrade förutsättningar för miljöersättning till jordbrukarna (Rangsjö, 2011).

Den nya strategin sammanfattas i följande punkter (Andréasson m. fl., 2011):

- Vattennivåerna varierar mer med tillrinningsmönstret, det vill säga hur vattnet rinner till Mälaren. Jämfört med tidigare reglering av Mälaren tillåts därför vattenstånd under våren att stiga mer än vad som är möjligt idag.
- De högsta vattennivåerna sänks jämfört med tidigare reglering och varaktigheterna för höga vattenståndsnivåer sänks. Den högsta nivån under ett normalår inträffar med ny reglering på våren till skillnad från tidigare reglering då den inträffade på hösten.
- Högsta nivån med den tidigare regleringen skedde i december 2000 och var 1,47 m. Om den nya Slussen hade funnits då och nya strategin för reglering använts, hade det resulterat i cirka 27 cm lägre nivå.
- Vattennivåerna under sommarmånaderna ligger mycket nära de vattenstånd som gavs av tidigare reglering.
- Mälarens medelvattenstånd sänks marginellt i ny reglering (1 cm).
- De lägsta nivåerna har höjts något.

I Figur 46 visas överskådligt skillnaderna mellan tidigare reglering och ny reglering utifrån modellerade värden. Tidigare reglering gällde 1967-2015 och visas i svart. Framtida reglering av Mälaren visas i rött.



Figur 46. Mälarens beräknade medel-, min- och maxvattenstånd under förutsättning av regleringsstrategi enligt tidigare reglering (Svarta kurvor) respektive ny reglering (Röda kurvor). Den analyserade perioden är åren 1976-2005 och innehåller såväl det extremt torra året 1976 som det extremt blöta året 2000. Figur från Andréasson m. fl. (2011).

5.3.2 Klimatanpassning

I arbetet med större avtappningskapacitet för Mälaren togs hänsyn till dagens klimatförhållanden och de klimatförändringar med förändrad tillrinning och havsnivåhöjningar som bedöms kunna ske i Mälardalen fram till slutet av seklet. Beräknade framtida havsvattenståndsökningar studerades tillsammans med förändrade tillrinningsmönster. Dessa förändringar beskrivs i kapitel 5.4.1 ”Stigande havsnivå” och 5.4.2 ”Förändrad tillrinning”.

Den utökade kapaciteten ger goda möjligheter att hantera såväl dagens som framtidens tillrinningar. Den nya Slussen har tagit hänsyn till en nettohöjning av Saltsjön på 50 cm. Hänsyn har tagits till landhöjningen. Höjningen är räknad på ett antagande om global havsnivåökning på en meter till seklets slut. Det är ett högt antagande och täcker in det intervall som IPCC presenterat (IPCC, 2013b).

Den nya permanenta regleringen är utformad för dagens klimatförhållanden och kan behöva ses över i mitten av seklet för att vattenståndet i Mälaren inte ska bli för låga. Regleringen av Mälaren har historiskt justerats ungefär vart 20:e år.

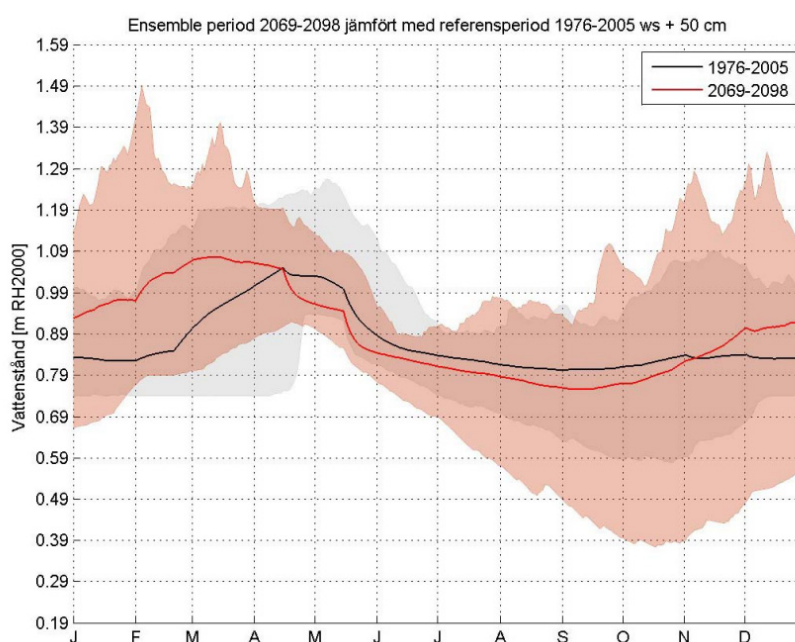
Beräkningarna av regleringens känslighet för klimatförändringar leder till följande huvudsakliga slutsatser (Andréasson m. fl., 2011):

- Regleringen kommer att fungera väl för de beräknade förändringarna i tillrinningsmönster fram till mitten av seklet, om havets nivå i Stockholm är oförändrad eller fortsätter att sjunka på grund av landhöjningen. Detta gäller både Mälarens höga vattenstånd och medelnivåer.
- Klimatförändringar kan leda till ökad risk för låga vattennivåer i Mälaren under sommar och höst.
- På grund av risken för successivt allt lägre nivåer under sommar och höst har den nya regleringen en kortare livslängd än den planerade tappningskapaciteten.

Regleringen kan därför behöva ses över vid mitten på seklet för att klara att hålla uppe de lägsta vattenstånden i Mälaren.

- I slutet av innevarande sekel klarar den nya regleringen att hantera den beräknade tillrinningen under perioden 2069-2098 i kombination med ett förhöjt nettohavsvattenstånd på + 30 cm (cirka 0,8 meter globalt).
- Om havsvattenståndet i Stockholm stiger till + 50 cm netto (cirka 1 meter globalt) klarar inte den föreslagna regleringsstrategin att hålla Mälarens vattenstånd under målnivån 1,39 m.
- Om havsnivån stiger mer än cirka 30 cm netto (cirka 0,8 meter globalt) kan regleringen behöva ses över för att undvika att de högsta vattenstånden överstiger målnivån 1,39 m. En justerad reglering för framtida förhöjda havsvattenstånd behöver då fokusera mer på att hålla nere de högsta nivåerna och kommer inte längre kunna tillåta ett lika varierat vattenstånd i Mälaren.

Figur 47 nedan visar beräknad medelvattennivå för ny reglering i dagens och i ett framtida klimat.



Figur 47. Beräknat vattenstånd för den nya regleringen från en ensemble om 12 klimatscenarier för perioden 1976-2005 (svart linje) och för den framtida perioden 2069-2098 (röd linje). För den senare perioden har Saltsjöns nivå höjts med 50 cm netto. Förutom medelvärden så visas 25:e percentilen av varje dags minsta vattenstånd respektive 75:e percentilen av varje dags största vattenstånd för de 12 klimatscenarierna (grått respektive rosa fält). Figur från Andréasson m. fl. (2011).

5.4 Klimatförändringar i och kring Mälaren

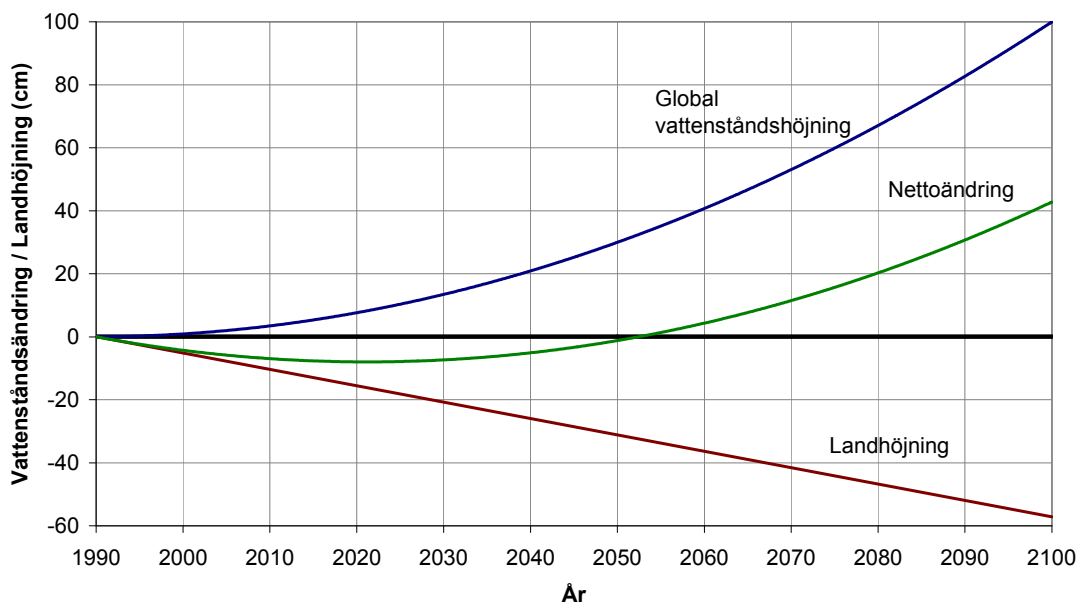
I framtiden beräknas det rinna mer vatten till Mälaren vintertid och mindre sommartid. Möjligheterna att tappa ut vattnet minskar med stigande hav. Ombyggnaden av Slussen i Stockholm med en ökad tappningskapacitet och ny reglering minskar översvämningsriskerna. Men på mycket lång sikt, någon gång bortom 2100, kommer havsnivåhöjningen påverka nivåerna i sjön. Sommartid beräknas det bli vanligare med låga nivåer. I Mälaren beräknas vattentemperaturen öka och perioden med is att minska.

Till skillnad från övriga sjöar i detta projekt har det inte gjorts nya beräkningar kring förändrad vattennivå eller vattenflöde från Mälaren. Här hänvisas till tidigare genomförda projekt. Det gäller kapitlen 5.4.1 "Stigande havsnivå", 5.4.2 "Förändrad tillrinning" och 5.4.3 "Mälarens vattennivå efter 2100."

Resultaten om vattentemperatur och is kommer från rapporten "Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Mälaren - Beräkningar för dagens och framtida klimatförhållanden" (Stensen m.fl., 2017) som tagits fram inom samma projekt som denna rapport. För framtida klimat har två utsläppsscenarioer använts, ett medelhögt utsläppsscenario med benämningen RCP4.5 samt ett högt utsläppsscenario, med benämningen RCP8.5. Se kapitel 1.3.1 "Nya beräkningar för vattennivåer, tappningar och vattentemperatur och is idag och i ett framtida klimat." för mer information kring dessa.

5.4.1 Stigande havsnivå

Klimatförändringarna medför att havet stiger globalt (IPCC, 2013b). I dagsläget är landhöjningen i Stockholmstrakten större än havsnivåökningen och den stigande havsnivån märks alltså inte (Figur 48). Kring år 2050 väntas havets höjning bli märkbar. Med ett antagande om att havsnivån stiger globalt med en meter från 1990 fram till 2100 skulle havsnivån bli enligt figur nedan. Detta antagande är ett högt antagande och täcker in det intervall som IPCC presenterat (IPCC, 2013b).



Figur 48. Den globala vattenståndshöjningen, landhöjningen och nettohöjning av Saltsjöns nivå. En landhöjning med 5,2 mm/år har antagits och en höjning av det globala medelvattenståndet med 30 cm år 2050 och 100 cm år 2100. Under dessa antaganden är nettoeffekten 0 cm år 2050 och drygt +40 cm år 2100. Figur hämtad från Andréasson m. fl. (2011).

Följande rapporter beskriver mer om hur havet stiger och hur detta påverkar Mälaren och/eller Stockholm:

- ”Förslag till ny reglering av Mälaren” (Andréasson m. fl., 2011). Innehåller beräkningar på extrema vattenstånd i Mälaren där hänsyn är tagen till förhöjda havsvattenstånd.
- ”Mälarens nivå vid olika höjning av havets medelnivå i tidsperspektivet fram till år 2200” (Andréasson m. fl., 2014) På uppdrag av Länsstyrelserna tog SMHI fram hur Mälarens vattennivå påverkas vid olika nivå på havet från 2100 till 2200.
- ”Havsnivåer i Stockholm 2011-2110: En sammanställning” (Nerheim, 2011). Ger en sammanställning av resultat från de uppdrag SMHI gjort kring framtida havsvattenstånd i Stockholm och vid Stockholms läns kust fram till 2111.

Under 2015-2017 har SMHI drivit ett projekt som utrett frågan kring havsvattenstånd idag och i ett framtida klimat. Projektet har bland annat levererat beräkningar av framtida medelvattenstånd för Sveriges kuststräcka. Resultatet finns tillgängligt i en digital karttjänst som tagits fram i samarbete med SGI. Projektet har även utarbetat en metod för att beräkna teoretiskt högsta stormflod samt analyserat vattenståndsdynamiken längs kusten inklusive lokala effekter (Nerheim m. fl., 2017).

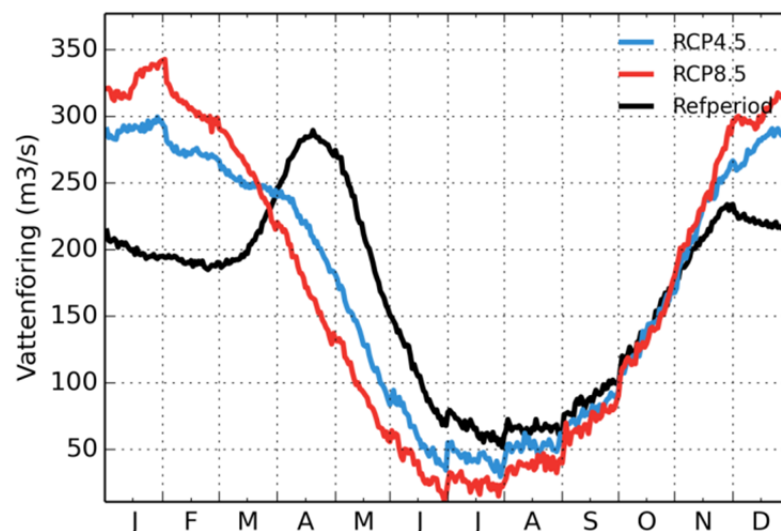


Figur 49. Mareografen på Skeppsholmen där mätning av havsnivån vid Stockholm utförs.

5.4.2 Förändrad tillrinning och vattennivåer

I ett varmare klimat beräknas tillrinningen, det vill säga hur vattnet rinner till Mälaren att förändras. Det beräknas rinna mer vatten till sjön vintertid och mindre sommartid (Figur 50).

Hur den förändrade tillrinningen påverkar vattennivåerna beskrivs i 5.3.2.



Figur 50. Tillrinningens årsskift för Mälaren. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de två övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098. Blå linje avser medelvärden av beräkningar enligt RCP4.5 och röd linje representerar motsvarande för RCP8.5. Källa: Framtidsklimat i Stockholms län – enligt RCP scenarier (Asp m. fl., 2015).

5.4.3 Mälarens vattennivå efter 2100.

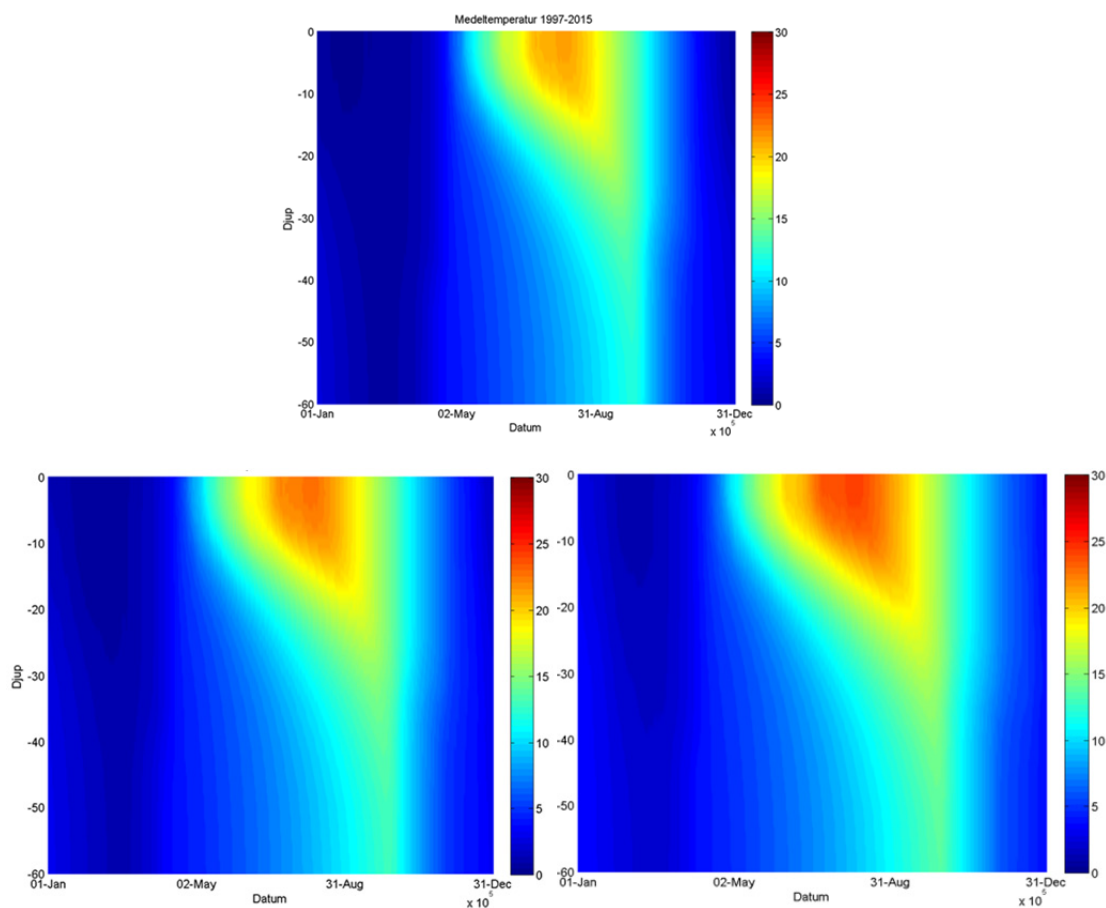
På uppdrag av Länsstyrelserna runt Mälaren har SMHI utrett hur Mälarens högsta vattennivå påverkas vid olika nivåer i Saltsjön efter 2100 fram till 2200 (Andréasson m. fl., 2014). Det är viktigt att notera att det efter 2100 är mycket stora osäkerheter kring havsnivån, beroende både på osäkerheter i modellerna men även för att förändringen beror på hur vi agerar och minskar våra utsläpp idag och i framtiden. Nivåerna togs fram i samarbete med Länsstyrelserna och på uppdrag av dem för att ge bättre långsiktigt underlag.

Resultaten visar att en havsnivåhöjning i tidsperspektivet år 2200 kan ge stor påverkan på Mälarens vattenstånd, vilket i sin tur leder till stora konsekvenser för hela Mälardalen (Andréasson m. fl., 2014). Osäkerheterna är som nämnt dock mycket stora.

5.4.4 Varmare vatten och kortare period med is

Resultaten i detta kapitel är framtagna med en sjömodell där Mälaren är uppdelad i två bassänger. De kallas västra Mälaren och östra Mälaren (Stensen m. fl., 2017). Detta är en förenkling eftersom Mälaren består av flera bassänger av varierande storlek och resultaten ska tolkas översiktligt.

Med ökande lufttemperatur kommer även vattentemperaturerna i Mälaren att öka (Figur 51). Sommartid kan en temperaturgradient i djupled ses, vilket tyder på att sjön är skiktad. För framtida klimat ökar den tidsperiod som sjön är skiktad. Simuleringarna visar också att det övre temperaturskiktet, det varmare, blir djupare. Vintertid blir perioden med riktigt kallt vatten betydligt kortare.



Figur 51. Simulerad temperatur för alla djup i östra Mälaren under ett normalår för perioden 1997-2015 (överst) och för RCP4.5 (nederst till vänster) och för RCP8.5 (nederst till höger) för perioden 2080-2098. Ytvattnet är vid djup 0. För bassängen västra Mälaren är mönstret likartat och finns redovisat i Stensen m. fl. (2017).

I Tabell 11 och Tabell 12 visar ett antal parametrar för förändringar av vattentemperatur och is i Mälaren. Ökningen blir störst i ytvattnet men även bottenvattnets temperatur ökar. Perioden med istäcke förkortas och antal år som är isfria ökar.

Tabell 11. Olika parametrar för modellerad vattentemperatur och is i västra Mälaren, dels medelvärde för referensperioden 1997-2015, dels genomsnittlig förändring till perioden 2080-2098 samt de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I detta fall har det av beräkningstekniska skäl inte varit möjligt att beräkna osäkerheten i värdena. Värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. (Stensen m. fl., 2017).

	1997-2015	2080-2098 RCP4.5	2080-2098 RCP8,5
Medeltemperatur ytvatten, grader C	9,0	+1,5	+2,5
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	6,5	+1,0	+2,0
Antal dagar/år med en medeltemp i ytan >20°C	41	+26	+46
Antal dagar/år med is	82	-39	-61

Tabell 12. Olika parametrar för modellerad vattentemperatur och is i östra Mälaren, dels medelvärde för referensperioden 1997-2015, dels genomsnittlig förändring till perioden 2080-2098 samt de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I detta fall har det av beräkningstekniska skäl inte varit möjligt att beräkna osäkerheten i värdena. Värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. (Stensen m. fl., 2017).

	Period 1997-2015	Period 2080-2098 RCP4.5	Period 2080-2098 RCP8,5
Medeltemperatur ytvatten, grader C.	9,0	+1,5	+2,5
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	5,5	+0,5	+1,5
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >20 grader C	37	+27	+49
Antal dagar/år med is	77	-38	-61

5.4.5 Vanligare med skyfall

Den globala uppvärmningen förväntas leda till mer intensiva skyfall som väntas inträffa oftare. Den framtida ökningen av volymerna beräknas ligga mellan 10% och 40% beroende på tidshorisont och koncentration av växthusgaser (Olsson m.fl., 2017).

5.5 Problem idag och i ett framtida klimat

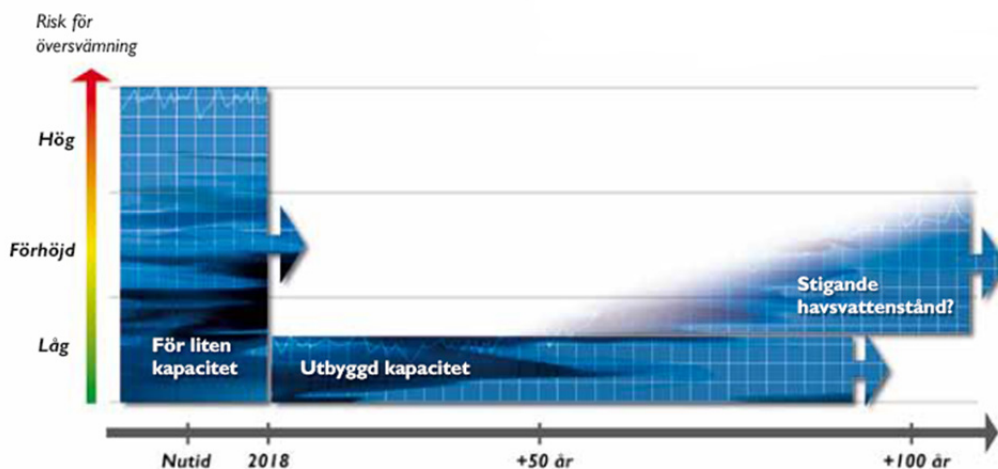
Ökad utbyggnad av bebyggelse och infrastruktur kring Mälaren har medfört att det är en hög risk för stor skada vid översvämningar. Ombyggnaden av Slussen minskar risken betydligt, men med en högre havsnivå kommer problematiken åter på mycket lång sikt. Varmare vatten och minskad period med is påverkar vattenkvaliteten med konsekvenser för bland annat naturmiljö, dricksvattenproduktion, friluftsliv och turism.

I detta avsnitt diskuteras den problembild som finns och väntas tillkomma eller förstärkas på grund av klimatförändringar. Stycket är framtaget i dialog med referensgrupperna samt redan befintligt material om hur Mälaren påverkas i ett framtida klimat. Syftet är att ge en översiktlig bild.

5.5.1 Stigande havsnivå



Problematiken kring Mälarens vattennivå och hur den påverkas av havsnivåhöjningen kan sammanfattas i figuren nedan. När den nya Slussen tas i bruk ökar tappningskapaciteten och risken för översvämningar minskar, men på lång sikt, bortom detta sekel, kommer havsnivåhöjningen ge stor påverkan på Mälarens vattennivå. Detta ger stora konsekvenser för lågt liggande bebyggelse, infrastruktur, näringsverksamhet och naturmiljö kring Mälaren. Hanteringen av frågan kan även ha stor påverkan på sjöfart och fiske (Länsstyrelsen i Stockholm m. fl., 2013).



Figur 52. Översvämningsrisker i Mälaren. Källa: Stockholm Stad.

Länsstyrelserna kring Mälaren har beskrivit olika tänkbara långsiktiga lösningar för när havet stiger i "Mälarens och Saltsjöns framtid i ett brett perspektiv – dricksvatten, bebyggelse, ekosystem" (Länsstyrelsen i Stockholm m. fl., 2013). Där beskrivs 3 möjliga alternativ för att hantera problematiken bortom 2100:

- Mälaren tillåts återgå som havsvik vilket kräver ny dricksvattentäkt alternativt ny teknik för dricksvattenproduktion.
- Mälaren höjs i samma takt som havet
- Barriärer och vallar byggs i skärgården



Idag finns ingen risk för saltvatteninträngning. När vattennivån i Saltsjön är högre än i Mälaren stängs de förbindelser som finns och förhindrar att saltvatten tränger in i Mälaren (Personlig kommentar, Torbjörn Granquist, Stockholms hamn, 2017).

SMHI har på uppdrag av Norrvatten beräknat vilka mängder saltvatten som krävs för att råvattenkvaliteten vid vattenverken påverkas (Andersson m. fl. 2013b). Rapporten drar slutsatsen att det inte är någon risk fram till 2100 för att det ska komma in sådana mängder saltvatten att det når de av Mälarens bassänger varifrån råvatten tas.

Om Mälaren på mycket lång sikt tillåts bli havsvik uppstår problem med saltvatteninträngning. Då påverkas dricksvattenproduktionen med krav på ny teknik för rening alternativt krav på en ny drickvattentäkt.



Inom ett pågående projekt på Sjöfartsverket, Mälarprojektet, byggs slussen i Södertälje om och kommer därefter att kunna hantera en havsnivåhöjning på samma sätt som slussen i Stockholm (Sjöfartsverket, 2014).

5.5.2 Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat

Innan nya Slussen är färdig är risken för översvämning i Mälaren mycket hög. Med anledning av den stora risken för översvämning kring Mälaren finns det relativt mycket underlag kring Mälarens vattennivåer i dagens och framtida klimat under detta sekel (Slussenprojektet, 2017; MSB, 2012; Andréasson m. fl., 2011; Andréasson m. fl., 2014; Gyllenram m. fl., 2011; Dricksvattenutredningen, SOU 2016:32; Klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU 2006:94).



Flera av de samhällsstrukturer som idag finns längs Mälarens stränder har anpassats till att vattennivåerna håller sig inom de gränser som regleringen strävar efter att hålla, det vill säga 0,69 och 1,39 meter i RH2000.

Mer än en halv miljon människor kan bli direkt drabbade av en översvämning i Mälaren med översvämmade byggnader, vägar och infrastruktur med mera. Även samhällsviktiga funktioner påverkas och kan slås ut redan vid nivåer på 1,4 m i RH2000 vilket är lägre än en nivå från ett flöde med 100 års återkomsttid. De direkta kostnaderna kan totalt komma att uppgå till drygt en miljard kronor.

Vid en översvämning med höga nivåer i Mälaren kommer det sannolikt vara mycket stora problem i tillrinnande vattendrag inom en större region av landet. Det kan leda till konkurrens om samhällets samlade resurser med stora utmaningar och begränsad förmåga som följd.

Beroende på hur problematiken kring havsnivåhöjningen hanteras på längre sikt, bortom detta sekel, kommer bebyggelse och infrastruktur kring Mälaren att påverkas i ett framtida klimat. Om havsnivåhöjningen hålls ute med olika varianter av barriärer är det möjligt att bebyggelse och infrastruktur inte påverkas av höga vattennivåer.



Vid höga nivåer ställs många av de mindre vägarna kring sjön under vatten. Däremot är det inte stor sträcka av de större vägarna som påverkas (MSB, 2012).

MSB undersökte även fyra samhällsviktiga objekt inom transportsektorn (järnvägsstationer, resecentra och flygplatser). Av dessa blev två samhällsviktiga objekt

kraftigt påverkade vid vattennivåer från 2,2 meter, vilket är något över en nivå från ett flöde med 100 års återkomsttid (MSB, 2012).



I Dricksvattenutredningen (SOU 2016:32) undersöks utmaningar på lång och kort sikt för en säker dricksvattenproduktion. För Mälaren beskrivs detta särskilt i utredningens kapitel ”5.4 Skiftande lokala förutsättningar – fallstudier”.

Höga nivåer kan innebära stora problem för dricksvattenproduktionen då det ökar risken för bräddning av avloppsvatten och att vatten transporterar oönskade ämnen till Mälaren från förorenad mark. En översvämning kan även slå ut elförsörjning inom dricksproduktionen (MSB, 2012).



Nivåvariationer över året gynnar naturmiljön längs Mälarens stränder (Calluna, 2010). Höga vattennivåer kan dock innebära bräddningar av avloppsvatten och att förorenande ämnen från dagvattensystem och förorenad mark når Mälaren. Detta påverkar naturmiljön och vattenkvaliteten i Mälaren.



Åkermark är det markslag som översvämmas med högst areal, drygt 120 km² vid en vattennivå över 3,1 meter i RH2000 vilket motsvarar en dimensionerande nivå för Mälaren (MSB, 2012). Konsekvenserna av översvämmad åkermark kan bli flera, bland annat förlust av skörd och lakning av näringsämnena från odlingsmark.

För jordbruket är det dock inte bara intressant att titta på de högsta nivåerna. Högvatten som inträffar oftare kan sammantaget ge större konsekvenser för jordbruket än en mycket hög nivå som inträffar sällan. Tidpunkten för när nivåerna är höga är också av betydelse. Jordbruket är till exempel känsligt för översvämningar på våren då det försenar vårbruket och betessläpp (Personlig kommentar, Jon Wessling, LRF, 2017).



Vid höga nivåer påverkas sjöfarten främst på grund av förändrade vattenflöden kring Slussen i Stockholm. Den nya Slussen ger en ökad möjlighet att styra flödet och på så sätt begränsas antal dagar då sjöfarten påverkas (Andréasson m. fl., 2011).

Lokalt kan kraftiga vindar påverka vattennivån ytterligare (Gyllenram m. fl., 2011).

5.5.3 Förändrad tillrinning och ökning av skyfall



I framtiden beräknas det bli vanligare med kraftig nederbörd. Det kan leda till att mer föroreningar och näringsämnena spolas ut i Mälaren och försämrar råvattenkvaliteten.

Vattenfärgen i Mälaren har ökat. Ökande vattenfärg påverkar bland annat kostnaden och metod för rening till dricksvatten. Det är inte helt klarlagt om eller hur förändrad vattenfärg är kopplat till klimatförändringar men forskning pågår. Det finns visst stöd för att vattenfärgen är kopplad till tillrinningen till sjön.

Det mesta av färgökningen som sker i den västra delen av Mälaren når inte hela vägen österut genom sjön där en stor del av vattenintagen sker (Johansson m. fl., 2010).

Forskning och utveckling pågår kring dricksvattenkvalitet och vattenfärg för att säkra och utveckla dricksvattenproduktionen vid Mälaren.



En ökad tillrinning vintertid kan innebära ett ökat näringsläckage och att transporten av olika ämnen till Mälaren förändras.

Mönstret för hur vattnet rinner till sjön förändras med mer tillrinning vintertid och mindre sommartid. Detta kan påverka strömningsriktning i Mälaren och därmed transporten av olika ämnen i sjön. Sedimentation och bottenerosion kan förändras (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2010).

5.5.4 Låga nivåer idag och i ett framtida klimat



I ett framtida klimat minskar tillrinningen på sommaren och avdunstningen ökar. Detta medför att det blir vanligare med låga nivåer i sjön.

Vid låga nivåer påverkas sjöfarten. Fartygen får köra med mindre last eller inte trafikera lederna alls. I dagens klimat förekommer sällan så låga nivåer att lederna inte kan trafikeras.

Inom Mälarprojektet (Sjöfartsverket, 2014) muddras farleder i Mälaren för en säkrare sjöfart idag. Projektet kommer leda till att Mälarens farleder blir mer tillgängliga och säkra för en ökande båttrafik.

5.5.5 Ökande vattentemperaturer och minskad period med is



Mälarens vattenkvalitet och ekosystem kommer påverkas i ett varmare klimat. Hur förändringen kommer visa sig är dock svårt att analysera och utreda och ligger utanför denna rapport.

Mälaren är en stor sjö som är uppdelad i flera bassänger. Dess västra delar är mindre näringsrika, har lägre buffertkapacitet och har högre vattenfärg medan dess nordöstra delar är bättre buffrat, har högre näringshalter och mindre vattenfärg (Sonesten m. fl., 2013). Vattenmassan i Mälarens östra delar är grovt beskrivet en blandning av vatten från de västra delarna och de nordöstra.

Mälaren hade under mitten av 1900-talet stora problem med övergödning (Sonesten m. fl., 2013). Dessa berodde på orenade utsläpp av avloppsvatten, rätade vattendrag, utdikning av våtmarker och sänkning av sjöar.

Regelbunden miljöövervakning i Mälaren har pågått i snart 50 år. En stor del av denna påbörjades i samband med de problem med kraftig övergödning som fanns under mitten av 1960-talet. Övervakningen har resulterat i flertalet rapporter¹.

Sjön är fortfarande utsatt för stor belastning i form av näringsämnen och miljöskadliga ämnen från olika håll i form som till exempel från kringliggande mark, avlopp från avloppsreningsverk, dagvatten och industrier (Sonesten m. fl., 2013). Det har under lång tid pågått arbete med att förbättra vattenkvaliteten och detta arbete pågår fortfarande (Mälarens vattenvårdsförbund, 2017c). Utsläppen av näringsämnen har minskat och Mälarens vattenkvalitet har förbättrats (Sonesten m. fl., 2013).

¹ Naturvårdsverkets rapporter nr 3759, 3842 och 3904 (Persson m. fl., 1990, Willén m.fl., 1990 & Persson 1991), "Mälarens vatten – mål och åtgärder" (Kommittén för Mälarens vattenvård 1993), samt åtskilliga miljöövervaknings rapporter från Mälarens vattenvårdsförbund varav den senaste "Mälaren - Tillståndsutvecklingen 1965–2011" (Sonesten m. fl. 2013)



Figur 53. Dike vid jordbruksmark.

Klimatförändringar kan gynna vissa arter och missgynna andra. Utöver den direkta påverkan kan klimatförändringarna leda till effekter på ekosystemnivå och vidare på arter som inte direkt påverkas av klimatförändringar (Blenckner, 2010).

Arter som inte tillhör ekosystemet kan introduceras och ta stor del i ekosystemet på bekostnad av andra arter. Mälaren är relativt förskonad från invasiva arter (Nellbring, 2011) men vissa arter kan utnyttja de nya förutsättningar som ett förändrat klimat medför och snabbt utöka sin utbredning. Största risken för invasiva arter för Mälaren kommer från utbyte av barlastvatten och från akvarier/dammar.

Klimatförändringen påverkar också olika algsamhällen (Weyhenmeyer, 2005) vilket har setts i Mälaren i dagens klimat (Sonesten m. fl., 2013).

Varmare vattentemperaturer leder till att sjöns skiktning förändras. Med en förlängd period för skiktning eller skarpare skiktning av varmvatten som finns under sommaren förhindras transport av syrerikt vatten till bottenarna vilket ger risk för syrebrist på botten. Risken ökar om växtligheten är hög. I vissa delar av Mälaren (Görvåln, Prästfjärden och Södra Björkfjärden) finns idag ingen risk för syrebrist i bottenvattnet trots att dessa fjärdar är temperaturskiktade under sommaren. Anledningen är att mängden organiskt material som behöver brytas ned är mindre i dessa fjärdar än i exempelvis Ekoln och Skarven, där risken för syrebrist är större. Låga syrehalter sammanfaller med fiskdöd och markanta minskningar i populationerna av exempelvis kräftdjur (Sonesten m. fl., 2013).



Den biologiska balansen i sjön är en förutsättning för god råvattenkvalitet och bra dricksvatten med dagens reningsteknik. I ett framtida klimat med varmare vatten och förändrad cirkulation samt period med is påverkas vattenmiljön. Ett varmare vatten kan även komma att medföra en sämre vattenkvalitet genom exempelvis tillväxt av bakterier och alger. Det ställer ökade krav på rening och behandling.

Varmare vatten är ett signifikant problem för dricksvattenproduktionen utöver den påverkan som temperaturen har på råvattenkvaliten. Varmare råvatten ger en ökad

temperatur i ledningsnätet för distribution av dricksvatten. Detta försämrar möjligheterna till god kvalitet på dricksvatten på grund av bland annat större biologisk aktivitet i ledningsnätet och förändringar i kemin (SOU 2016:32). Om möjligt kan råvatten behöva tas från större djup. En risk är att förändrad tillrinning i kombination med varmare vattentemperaturer ändrar kemin och kvaliteten på råvattnet vilket får effekter för dricksvattenproduktionen.



Figur 54. Mälaren, en dricksvattentäkt för två miljoner människor.



Fiskars respons på klimatförändringar är liksom med naturmiljön svår att förutse. Klimatförändringarna påverkar sjöars ekosystem och fiskar redan idag (IPCC, 2014). Sötvattensystem som är påverkade av människan, till exempel i form av övergödning eller reglering, är känsligare och påverkas mer. Kallvattenarter missgynnas i varmare temperaturer. Algsamhällen påverkas och kan ge totalt ökad biomassa och påverkade fisksamhällen. Varmvattenarter kan gynnas.

Den årliga rytmen hos många arter styrs direkt eller indirekt av temperaturen. I ett förändrat klimat kan detta komma i otakt vilket påverkar arternas förmåga att fortplantas och flödet i näringskedjan störs (IPCC, 2014).



Varmare temperaturer vid Medelhavet kan leda till ökad turism i Skandinavien (Klimatanpassningsportalen, 2018). Det är inte orimligt att Mälaren liksom många andra sjöar i Sverige kommer vara av större intresse för turism i ett framtida klimat. Varmare vattentemperaturer kan dock försämma vattenkvaliteten vilket kan påverka friluftslivet och turismen.

Det är troligt att friluftslivet och turismen vintertid kommer minska när det inte finns lika bra isar för skridskoåkning eller förutsättningar för isfiske.

5.6 Vad behöver göras?

Det underlag som finns för Mälaren bör användas men otydligheter i ansvar, resursfördelning kring klimatanpassning samt kunskap i hur underlaget kan användas hindrar detta. Det behövs mer detaljerade utredningar om hur bland annat dricksvattenproduktion och jordbruk kring Mälaren påverkas i framtiden.

5.6.1 Översvänningsproblematik på lång sikt

I två rapporter framtagna av Länsstyrelserna kring Mälaren (Länsstyrelsen i Stockholm m. fl., 2011 och Länsstyrelsen i Stockholm m. fl., 2013) förs resonemang kring konsekvenser av havsnivåhöjningen och möjliga åtgärder. Redan idag behövs ett nationellt ställningstagande i frågan då avvägningar mellan olika intressen som förr eller senare kommer att behöva göras.

Länsstyrelserna kring Mälaren skickade 2012 en skrivelse till regeringen (Landshövdingen i Västmanlands län m. fl., 2012). De efterfrågade ett fördjupat utredningsuppdrag för att utreda förutsättningarna för Mälaren som dricksvattentäkt på lång sikt. Även andra systemfrågor lyftes (Länsstyrelsen i Stockholm m. fl., 2011). Regeringen överlämnade skrivelsen till Klimatanpassningsutredningen (Miljö- och energidepartementet, 2015).

Utredningen lämnade i maj 2017 sitt slutbetänkande (SOU 2017:42). Tyvärr adresserades inte frågor kring ansvarsfördelningen för frågor som rör Mälaren. Det betyder att länsstyrelserna och kommunerna ännu inte fått svar på sina frågeställningar.

5.6.2 Användande av befintligt material kring höga vattennivåer

I dialog med referensgruppen för Mälaren framkom att det behövs:

- Övningar med representanter för olika myndigheter och intressen
- Beredskapsplaner
- Planer för klimatanpassning
- Framtagande av prioriteringar mellan olika intressen vid olika situationer.

Inom vissa kommuner och myndigheter pågår stort arbete kring ovanstående punkter men det finns områden där detta saknas. Arbetet kan även belysa framtida konflikter, otydlighet kring roller och ansvarsfördelning.

5.6.3 Ny form av underlag ställer krav på nytt förhållningssätt

En problematik som lyfts fram från referensgruppen är att det är viktigt med handledning i hur underlag om framtida klimat ska användas. Eftersom det är ovisst hur snabbt det framtida klimatet ändras finns det en spridning i det underlag som tas fram. Det krävs utbildning för myndigheter och övriga som ansvarar för långsiktig planering i hur de kan förhålla sig till de olika framtidsscenarier som finns tillgängliga.

Underlaget bör användas så att framtida lösningar anpassas så att de antingen är flexibla nog att täcka in den osäkerhet som framtiden innebär. Om man däremot inte har flexibilitet eller om en förändring innebär en stor risk, bör säkerhetsmarginaler finnas. Om det är mindre värden som behöver skyddas och planeringen avser kortare tidsaspekter, bör hänsyn tas till dagens klimat.

Dessa frågeställningar behandlas i forskningen kring robusta beslut inför osäkra klimatförändringar (Wikman-Svahn, 2016).

5.6.4 Kunskapsbehov

Förfinade studier för god planering av dricksvattenproduktionen

De beräkningar som gjorts kring vattentemperatur och isförhållanden har visat att vattentemperaturen ökar och att isläggningen kan minska med upp till 50%. Beräkningarna bör förfinas, särskilt med fokus på de bassänger varifrån råvatten tas för dricksvattenproduktion. Temperatur, isförhållanden och skiktningförhållanden behöver studeras tillsammans med de konsekvenser de ger.

Förfinade studier behövs även i nordöstra Mälaren eftersom klimatrelaterade förändringar i dessa delar av sjön har stor betydelse för vattenkvaliteten i nedströms. Till exempel bör risker kopplade till algpåverkan och utlösning av fosfor från bottensediment i samband med syrebrist studeras närmare.

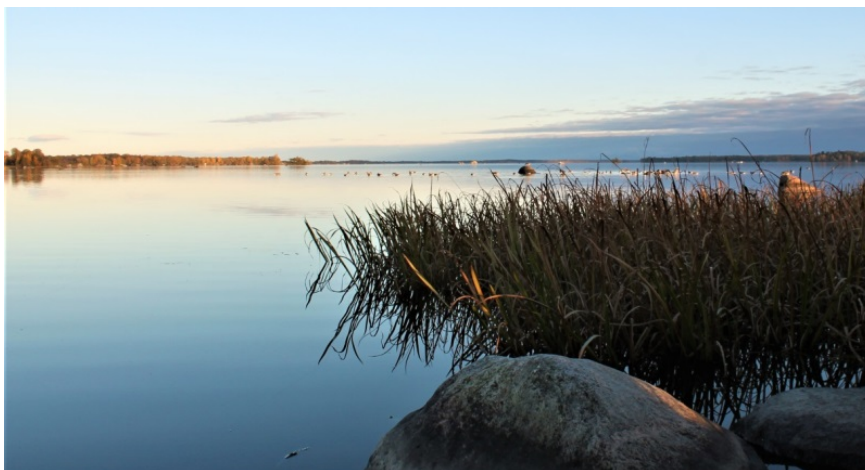
Ökad kunskap för bättre hantering av invallning och dräneringssystem kopplat till jordbruk

I riksdagens livsmedelsstrategi finns en ambition att öka produktion av livsmedel från jordbruk i Sverige (Regeringen, 2017a).

Jordbruket kring Mälaren är beroende av en fungerande markavvattning. Det finns ett behov av mer kunskap om markavvattning, både inom jordbruk och hos berörda myndigheter. Detta för att kunna underhålla och planera för väl dimensionerade dräneringssystem och invallningar. I ett förändrat klimat med ökad frekvens av kraftiga skyfall kan befintliga invallningar och dräneringssystem vara felaktigt dimensionerade, vilket kan påverka jordbruket, vattendragen och sjöar nedströms.

För jordbrukets klimatanpassning är det viktigt att studera förändringen av höga vattennivåer som inträffar ofta. Fokus ligger ofta på de extrema nivåerna (till exempel 100-årsnivå), men höga nivåer som återkommer oftare har större ekonomisk betydelse över tid för lantbruket (Personlig kommentar Jon Wessling, LRF, 2017).

6 Hjälmaren

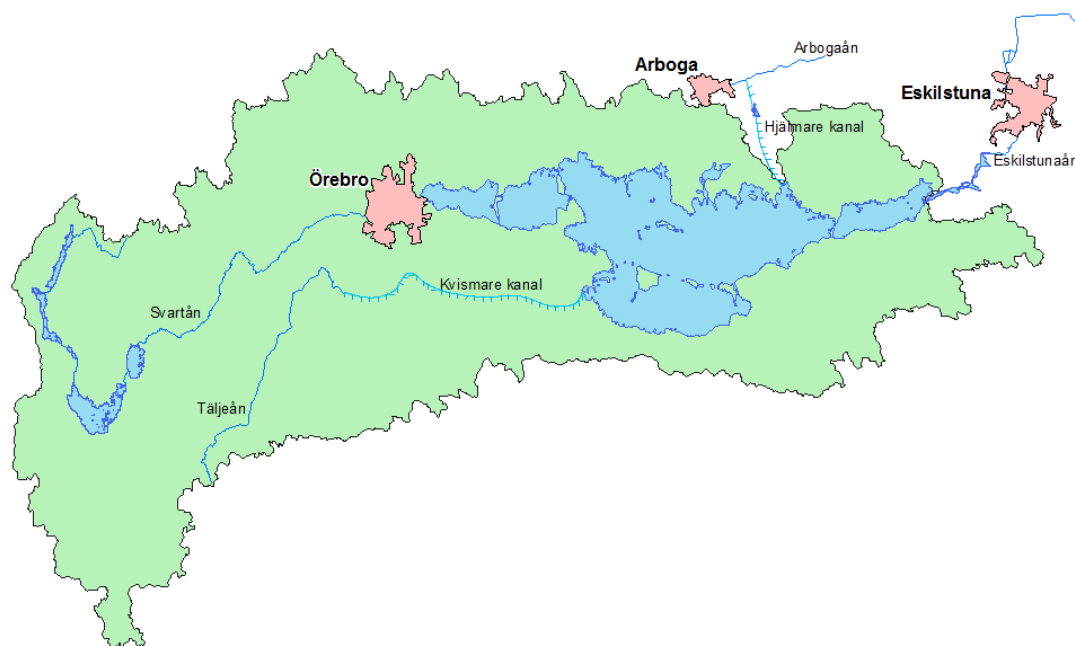


Figur 55. Rynningeviken i Örebro vid Hjälmaren.

Hjälmaren är Sveriges fjärde största sjö. Sjön är grund i förhållande till sin storlek, särskilt de västra delarna av sjön, Mellanfjärden och Hemfjärden.

Det största tillflödet är Svartån, som har sina källflöden i trakten av Laxå och mynnar i Hjälmaren vid Örebro. Ett annat stort inflöde är Täljeån/Kvismare kanal. En förhållandevis liten mängd vatten tillförs via grundvattentillrinning.

Vattnet från Hjälmaren rinner ut via Eskilstunaån men även via Hjälmare kanal, som förbinder Hjälmaren med Arbogaån. Merparten av vattnet går via Eskilstunaån där sjön även är reglerad i Hyndevadsdammen. Vattnet rinner sedan vidare mot Mälaren. I medeltal tappas cirka 2 m³/s av Hjälmarens utflöde via Hjälmare kanal. Hjälmaren är stor och har förhållandevis varmt vatten, därför har avdunstningen mycket stor betydelse för vattennivån. Under en varm och torr sommar är avdunstningen mycket högre än utflödet från sjön.



Figur 56.. Hjälmaren med avrinningsområde.

6.1 Intressen kring sjön

Det finns inte så mycket bebyggelse i anslutning till Hjälmaren, markerna runt sjön består mest av jordbruksmark och lövskog. Hjälmaren har ett näringsrikt och varmt vatten som hyser stora mängder fisk. Det förekommer återkommande algbloomingar. Hjälmaren är viktig för friluftsliv, båttrafik och dricksvattenförsörjning.



Figur 57. Olika intressen med dess önskemål kring Hjälmaren.



Det finns inte så mycket bebyggelse i direkt anslutning till Hjälmaren. Örebro är den närmsta stora tätorten, men ligger inte i direkt anslutning till sjön. Örebro har inte expanderat mycket längs Hjälmarens stränder utan här har istället naturreservatet Oset och Rynningeviken utvecklats. Eskilstuna ligger vid Eskilstunaån som indirekt påverkas av sjöns vattennivå. I kommunerna runt sjön bor cirka 300 000 personer.



Arboga kommun använder Hjälmaren som dricksvattentäkt. Vattnet pumpas till vattenverket i Arboga där det renas innan distribution till Arboga, Medåker och Valskog i Kungsörs kommun. Avloppsvattnet släpps sedan ut i Arbogaån och innebär alltså en bortledning av vatten från Hjälmaren. Vattenmängderna är dock så små i förhållande till Hjälmaren att de bara marginellt påverkar sjöns vattennivå.

Ett förslag till vattenskyddsområde för området runt Arboga kommuns vattenintag har arbetats fram, men är inte klart (Arboga kommun, 2018).

Det kommunala dricksvattnet i Eskilstuna tas från Eskilstunaån vid Hyndevad. Vattnet renas genom bl.a. konstgjord infiltration i en grusås. Hyndevads vattenverk är utpekat som riksintresse för dricksvattenförsörjningen (Havs- och vattenmyndigheten 2017c). Ett vattenskyddsområde som sträcker sig ut i de östligaste delarna av Hjälmaren har upprättats (Eskilstuna kommun, 2018).



Delar av Hjälmaren är utpekade som riksintresse för naturvård (Naturvårdsverket 2017a). I och runt sjön finns också naturreservat och Natura2000-områden. Runt sjön finns värdefulla lövskogsmiljöer. I Hjälmaren finns också många grund, stenar, holmar och skär som erbjuder goda förutsättningar för ett rikt fågelliv.



Figur 58. Havsörn vid Hjälmaren.

Hjälmaren är en övergödd sjö med fosforhalter på 3-5 gånger högre än de naturliga. De höga halterna beror främst på mänskliga utsläpp, som var speciellt stora på 1960 och 1970-talen, men också på den stora sjösänkningen (Länsstyrelsen Örebro, 2018). Stora mängder fosfor finns lagrade i sedimenten och bidrar till övergödningen när det läcker ut i vattnet. Samtliga Hjälmarens bassänger har otillfredsställande ekologisk status enligt vattendirektivet (VISS, 2018). Arbeten pågår för att minska övergödningen.

Till skillnad från de tre största sjöarna klassas Hjälmaren inte som statligt vatten. Det innebär bland annat att Hjälmaren inte får något statligt stöd till miljöövervakning.

Hjälmarens vattenkvalitet påverkar även Mälarens kvalitet då Hjälmarens vatten rinner ut i Mälaren via Eskilstunaån.



Hjälmaren ligger i ett låglänt område omgiven av mycket jordbruksmark, varav en del bildades vid den stora sänkningen av sjön på 1880-talet. Jordbruksmarken runt Hjälmaren och i Kvismaredalen är mycket bördig.



Riksväg 56 går rakt igenom Hjälmaren vid Roxmo-Alberga. Övriga större vägar går via Örebro, väster om sjön. De flesta vägar ligger utanför översvämningshotade områden.



Det har tidigare bedrivits omfattande sjöfart med handel på Hjälmaren. Nu finns ingen handelstrafik, men det finns några passagerarbåtar och ett stort antal

fritidsbåtar i Hjälmaren. Det går också en bilfärja mellan Hampetorp och Vinön.



Hjälmaren är utpekad som riksintresse för friluftslivet (Naturvårdsverket, 2017b). Det finns många badstränder, campingplatser, hotell, vandrarhem och restauranger runt sjön. Småbåtstrafiken på sjön är stor. På vintern är Hjälmaren en viktig sjö för långfärdsskridskoåkning och isfiske.



Figur 59. Tält vid Hjälmaren.



Hjälmaren är en grund sjö och har därför förhållandevis varmt vatten. Detta, tillsammans med de höga halterna av kväve och fosfor, medför att fiskproduktionen i sjön är hög. Det finns cirka 30 yrkesfiskare i Hjälmaren och de viktigaste arterna i yrkesfisket är gös, ål, gädda, abborre och signalkräfta (Länsstyrelsen i Örebro, 2017). En del yrkesfiskare har dispens från det ålfiskeförbud som finns i sjön. Hjälmaren är utpekad som riksintresse för yrkesfisket. På senare år har sportfisket ökat på sjön på grund av förbättrat gösfiske (SOU 2006:94).



Hjälmaren regleras i Hyndevad och längre ner i Eskilstunaån finns 7 kraftverk; Skogstorp, Tunafor, Faktoriholmarna, Nyby och Kvarnfallet. Det finns också vattenkraftanläggningar i Hjälmare kanal.

6.2 Historiska förändringar

Den största förändringen som skett i Hjälmaren är den stora sjösänkningen som gjordes i slutet av 1800-talet. Vattennivån sänktes med drygt en meter och stora arealer jordbruksmark bildades. I samband med sänkningen reglerades sjön och vattendomen har därefter ändrats vid flera tillfällen.

6.2.1 Hjälmare kanal

När Hjälmare kanal färdigställdes 1639 öppnades en förbindelse för båtar mellan Mälaren och Hjälmaren. Under en lång tid bedrevs mycket sjöfart med fraktfartyg på Hjälmaren, men sedan mitten av 1900-talet är det främst fritidsbåtar som trafikerar Hjälmaren och Hjälmare kanal (Karlsson och Winnfors, 2005).

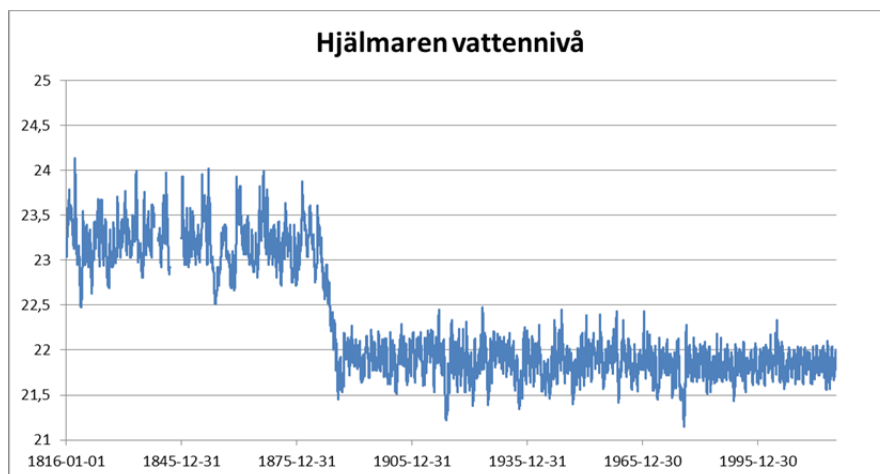
6.2.2 Sjösänkningen

Markerna vid Hjälmaren och den intilliggande Kvismaredalen är flacka. På 1800-talet förekom ofta problem med översvämningar och för att få bukt med dessa och för att skapa ny jordbruksmark sänktes Hjälmaren och Täljeån (Kvismare kanal) mellan åren 1877 och 1888. Det är den största sjösänkningen i Sveriges historia. Hjälmarens area minskades betydligt (Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag, 1977) och 190 km² ny åkermark blev odlingsbar.



Figur 60. Strandäng vid Hjälmaren.

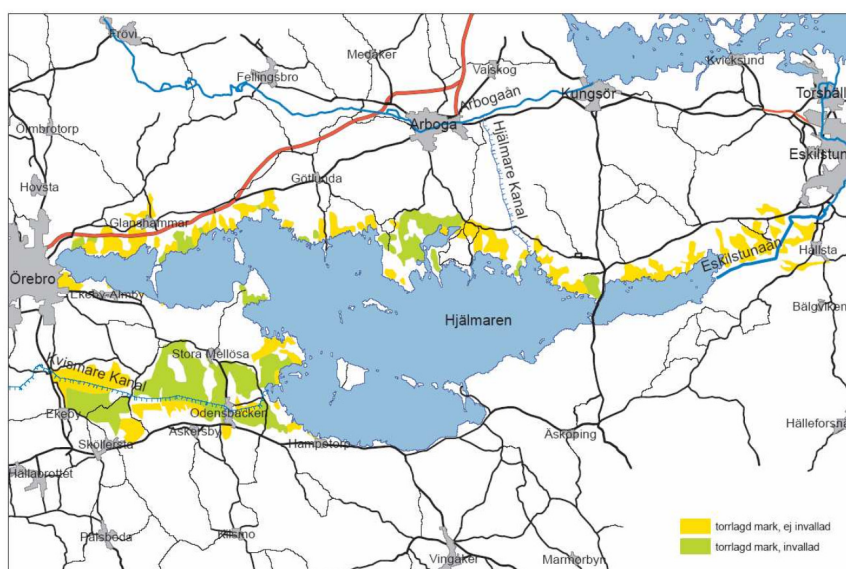
Sjösänkningen syns tydligt i den observerade vattennivån (Figur 61) och hade en stor påverkan på den omgivande miljön. Sjöns medelvattennivå sänktes cirka 1,3 m och högvattenytan cirka 1,8 m (Jordbruksdepartementet, 1979). Stora rensningar och muddringar gjordes för att sjöfarten skulle kunna upprätthållas från Hjälmare kanal till Örebro (Ernfors, 1968).



Figur 61. Hjälmarens vattennivå från 1816 till 2015 i meter över havet i RH00.

Trots sjösänkningen fortsatte problemen med översvämningar och jordbruksmarken stod under vatten vid många tillfällen från 1920-talet till 1950-talet. Ytterligare åtgärder krävdes. Kvismare kanal breddades och stora delar av markerna kring Hjälmarens och i Kvismaredalen vallades in (Jordbruksdepartementet, 1979).

Den mark som vanns av sjösänkningen har till stor del sjunkit ihop. Markerna ligger nu på många ställen på samma höjd i förhållande till Hjälmarens som innan sänkningen. Stora delar av marken är invallad (Figur 62).

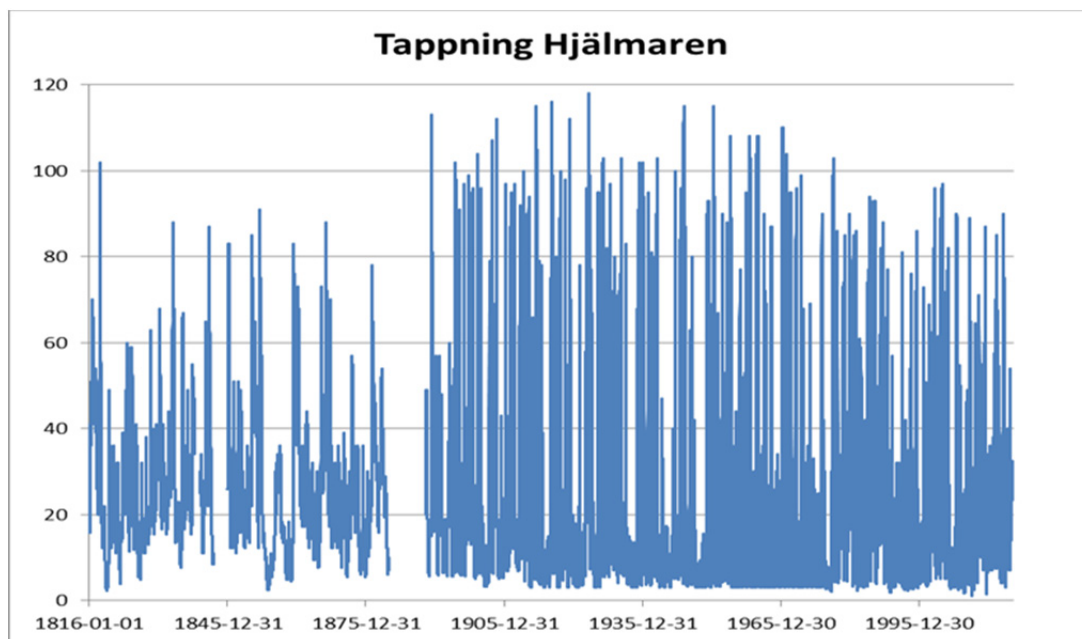


Figur 62. Områden runt Hjälmarens som torrlades vid sjösänkningen. Stora delar av den torrlagda marken var invallad 1976. (Källa: Bergström m.fl., 2006).

Från de invallade markerna behöver vattnet ledas bort med hjälp av pumpanläggningar. Sjösänkningen har lett till att invallningar behöver underhållas, nya rensningar av kanaler göras och pumpanläggningar drivas.

6.2.3 Reglering av sjön

När Hjälmarens sänktes behövde sjön regleras för att vattenflödet i Eskilstunaån inte skulle påverkas så mycket. I samband med sänkningen anlades därför dammen vid Hyndevad i Eskilstunaån nedströms Hjälmarens utlopp. Hjälmare- och Kvismare sjösänkingsbolag ansvarade för regleringen. Efter sänkningen blev variationen i vattenföring i Eskilstunaån större (Figur 63).



Figur 63. Vattenföring vid Hyndevad 1816-2015 (m^3/s). Serien finns att ladda ned på smhi.se (Vattenwebb, 2017c).

Målet med regleringen var att minska variationen i vattennivå från tidigare 1,6 meter till 0,6 m (Jordbruksdepartementet, 1979) samt att sjöns nivå skulle ligga mellan dämningssgränsen 22,22 m och sänkingsgränsen 21,62 m.

Vattennivån blev dock många gånger både högre och lägre (Jordbruksdepartementet, 1979). Mellan åren 1888 och 1978 hade dämningssgränsen överskridits i snitt vart fjärde år och sänkingsgränsen vartannat år. Många intressenter var missnöjda, lantbrukare fick ofta sina marker översvämmade medan sjöfarten, friluftslivet, naturvården och fisket hade problem vid alltför låga nivåer. Särskilt påtagligt blev detta efter den låga vattennivån 1976.

Jordbruksdepartementet tillsatte 1976 en statlig utredning som skulle se över Hjälmarens reglering. Målet var att ge ett förslag på hur de högsta nivåerna kunde sänkas och de lägsta nivåerna kunde höjas. Hänsyn skulle tas till de olika intressena kring sjön.

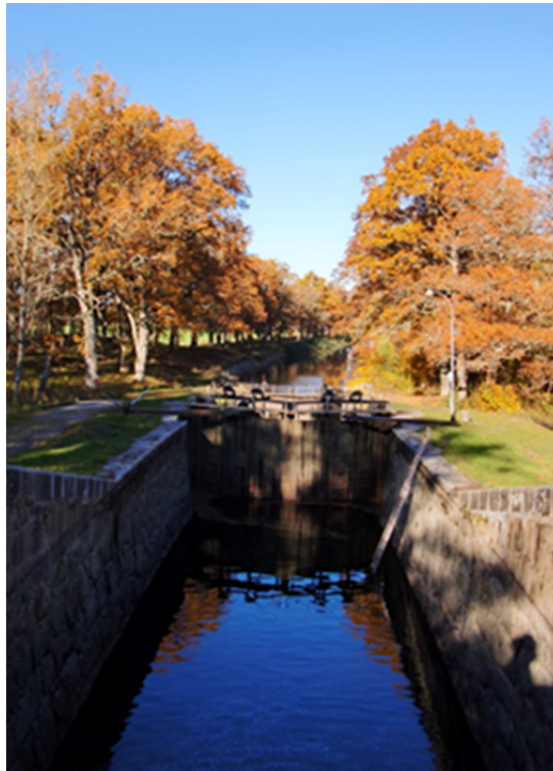
Utredningen lade 1979 fram ett förslag på en förändrad reglering vid Hyndevad, stora rensningar i Eskilstunaån för att öka avledningsförmågan från Hjälmaren, en ombyggnad av Hyndevadsdammen och en ny mätstation i Hjälmaren för att förbättra nivåbestämningen (Jordbruksdepartementet, 1979). De lade också fram förslaget att ett vattenförbund skulle sköta regleringen av Hjälmaren istället för Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag.

De flesta av utredningens förslag genomfördes. Dammen i Hyndevad byggdes om och rensningar gjordes. Den nya vattendomen blev klar 1988 och de viktigaste punkterna i regleringen är:

- Dammen ska vara helt öppen över dämningssgränsen 22,10 m
- En vattennivå över sänkningsgränsen 21,62 m ska eftersträvas.
- Vattennivån får underskrida sänkningsgränsen för att upprätthålla mintappningen ($3 \text{ m}^3/\text{s}$ i Eskilstunaån och $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ i Hjälmare kanal) vid långvariga torrperioder.
- Vattennivån får sänkas under sänkningsgränsen om SMHI:s vårflodsprognos pekar på att vårfloden kan komma att överskrida dämningssgränsen. Dock får vattennivån inte bli lägre än 21,50 m.
- Under sommaren ska man sträva efter att vattennivån ska följa en rät linje från 21,95 m den 20 maj till 21,73 m den 1 oktober.

År 1991 tog Hjälmarens vattenförbund över ansvaret för regleringen från sjösänkingsbolaget. Hjälmarens vattenförbund består av kommunerna kring Hjälmare, sjösänkingsbolaget och kraftproducenterna.

Efter att den nya vattendomen trädde i kraft har dämningssgränsen endast överstigits två gånger, vid vårfloden 1999 samt vid höst- och vinterfloden 2000/2001. Sänkningsgränsen har understigits 12 av de 30 år som gått sedan vattendomen trädde i kraft och alla dessa tillfällen har varit under hösten.



Figur 64. Hjälmare kanal.

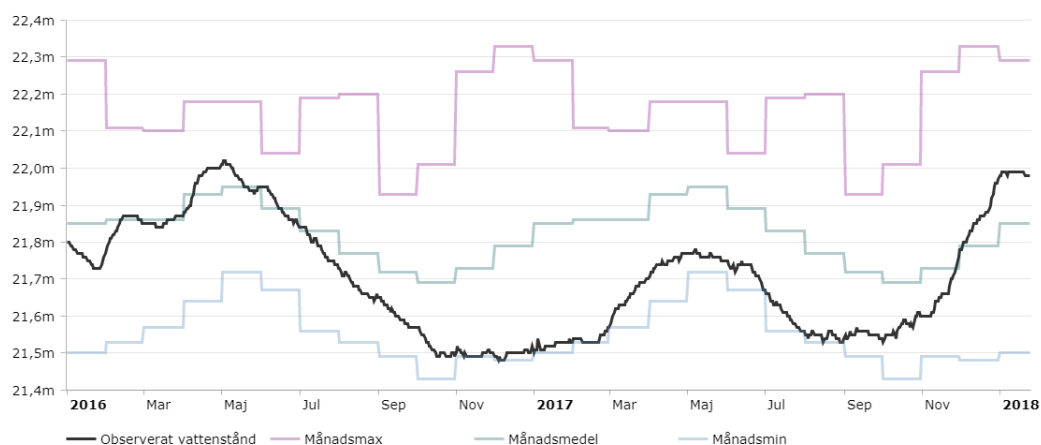
6.2.4 Låg vattennivå 2016/2017

Under 2016 och 2017 föll det lite nederbörd i Hjälmarens avrinningsområde. Det ledde till att nivån sjönk med en lägsta notering på 21,48 m i december 2016 (Figur 66). Det är den lägsta nivå som uppmätts sedan 1989 då nivån var 4 cm lägre. Den lägsta nivå som uppmätts någonsin i Hjälmaren var 21,15 m i oktober 1976, dvs. 33 cm lägre än det lägsta 2016.

Hösten 2017 var förhållandevis nederbördsrik och vattennivån steg kraftigt i slutet av året och var i januari 2018 över sjöns medelnivå.



Figur 65. Låg vattennivå i Hjälmaren vintern 2017. Foto: Lotta Carlström.



Figur 66. Observerad vattennivå i Hjälmaren januari 2016 till januari 2018 jämfört med max-, medel- och minvärden för perioden efter 1989, då nuvarande vattendom började gälla.

6.3 Klimatförändringar i och kring Hjälmaren

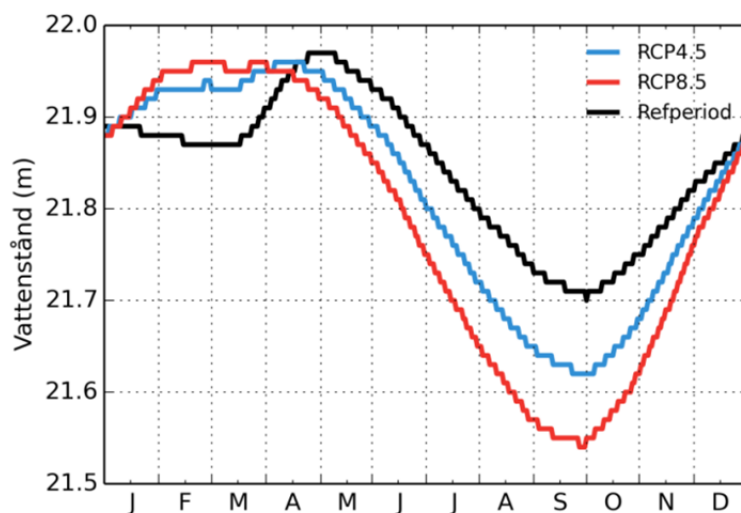
I framtiden beräknas det bli vanligare med låga nivåer i Hjälmaren. Även de höga nivåerna väntas bli något vanligare. Vattentemperaturen beräknas öka och perioderna med is blir kortare.

Resultaten i detta avsnitt kommer från rapporten ”Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmaren Beräkningar för dagens och framtida klimatförhållanden” (Eklund m.fl., 2017b) som tagits fram inom samma projekt som denna rapport. För framtida klimat har två utsläppsscenarier använts, ett medelhögt utsläppsscenario med benämningen RCP4.5 samt ett högt utsläppsscenario, med benämningen RCP8.5. Se kapitel 1.3.1 ”Nya beräkningar för vattennivåer, tappningar och vattentemperatur och is idag och i ett framtida klimat.” för mer information kring dessa. Beräkningarna som redovisas här har gjorts för dagens vattenhushållningsbestämmelser. För mer detaljer hänvisas till ovanstående rapport.

6.3.1 Förändrade vattennivåer

Nedan visas medelvärden för Hjälmarens vattennivå under ett normalår (Eklund m. fl., 2017b). Variationen mellan år är stor men i medel framträder de typiska dragen tydligt.

Framtidsscenarierna visar på en högre vattennivå under vintern och att vårflödestopparna förviner. Det beror på att nederbörden ökar under vintern och att de högre temperaturerna medför att mer nederbörd faller som regn. Diagrammen visar även en längre säsong med låg vattennivå. I framtiden beräknas vattennivån i Hjälmaren bli lägre under maj till november (Figur 67). Det beror på en längre vegetationsperiod när växterna tar upp mer vatten, som därför inte når Hjälmaren. De låga sommarnivåerna beror också på att avdunstningen direkt från Hjälmaren beräknas öka i ett varmare klimat.



Figur 67. Vattennivåns årsvariation i Hjälmaren. Svart linje visar klimatscenariernas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 och röd linje RCP8.5 för perioden 2069-2098. Vattennivåer i meter över havet i RH00. (Eklund m. fl., 2017b).

Antalet dagar med en vattennivå över dämningssgränsen väntas bli fler, liksom antalet dagar med nivåer under sänkningsgränsen (Tabell 13).

Tabell 13. Antal dagar per år över dämningssgränsen (22,10 m) och under 21,60 m i dagens klimat samt förändringen till ett framtida klimat. Resultatet redovisas för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5, för perioden 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna. (Eklund m. fl., 2017b).

[Meter över havet i RH00]	Dagens klimat 1961-1990 [Dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>22,1	11	+5 (-6 till +14)	+10 (-10 till +24)
<21,6	43	+29 (-5 till +61)	+59 (+14 till +124)

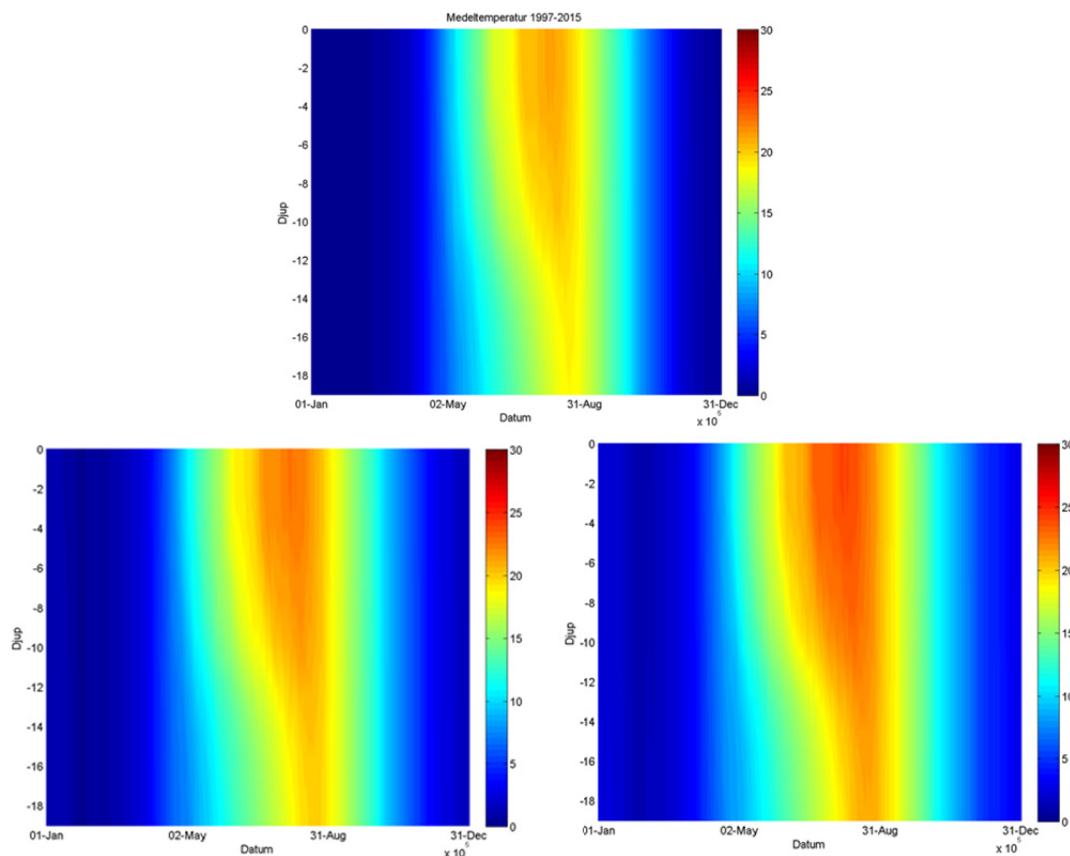
Under maj månad är jordbruket särskilt känsligt för översvämningar och den månaden redovisas därför separat (Tabell 14). De höga majnivåerna beräknas förekomma ungefär lika ofta som i dagens klimat.

Tabell 14. Antal dagar per år med vattennivå över 22,10 meter över havet i RH00 i maj månad i dagens klimat samt förändringen i ett framtida klimat. Resultatet redovisas för ett medelhögt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för perioden 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna. (Eklund m. fl., 2017b).

[meter över havet i RH00]	Dagens klimat 1961-1990 [Dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>22,1	5	+1 (0 till +2)	0 (0 till +1)

6.3.2 Varmare vatten och kortare period med is

Med ökande lufttemperatur kommer vattentemperaturer att öka (Figur 68). Perioden då sjön är istäckt kommer att minska. Sommartid har Hjälmaren relativt varmt vatten även i de djupare delarna och i framtiden blir vattnet varmare i hela vattenmassan. Perioden med kallare vatten vintertid blir kortare (Figur 68).



Figur 68. Simulerad temperatur för alla djup i Hjälmaren under ett normalår för perioden 1997-2015 (överst) och för RCP4.5 (nederst till vänster) och för RCP8.5 (nederst till höger) för perioden 2080-2098.. Ytvattnet är vid djup 0. (Eklund m. fl., 2017b).

Medeltemperaturen ökar i både yt- och bottenvatten och temperaturökningen blir större om utsläppen följer scenario RCP8.5 (Tabell 15).

Förekomsten av dagar då temperaturen överstiger 20 grader i ytvattnet ökar och antalet dagar med is minskar. I dagens klimat blir Hjälmaren islagd varje vinter, men enligt beräkningarna väntas isläggning utebli helt vissa vintrar i framtiden.

Tabell 15. Olika parametrar för vattentemperatur och is i Hjälmaren, dels medelvärde för referensperioden 1997-2015, dels genomsnittlig förändring till perioden 2080-2098 samt de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I detta fall har det av beräkningstekniska skäl inte varit möjligt att beräkna osäkerheten i värdena, men värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. (Eklund m. fl., 2017b).

	Period 1997- 2015	Period 2080- 2098 RCP4.5	Period 2080- 2098 RCP8,5
Medeltemperatur ytvatten (grader C).	9,0	+1,0	+2,5
Medeltemperatur bottenvatten (grader C)	7,5	+1,0	+2,0
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >20 grader C	34	+24	+49
Antal dagar/år med is	51	-32	-44

6.3.3 Vanligare med skyfall

Den globala uppvärmningen förväntas leda till mer intensiva skyfall som väntas inträffa oftare. Den framtida ökningen av volymerna beräknas ligga mellan 10% och 40% beroende på tidshorisont och koncentration av växthusgaser (Olsson m.fl., 2017).

6.4 Problem idag och i ett framtida klimat

Jordbruksmarken kring Hjälmarén är översvåmningskånslig och översvåmningsrisken beråknas öka något i framtiden. Båttrafiken kan få problem i framtiden då det beråknas bli vanligare med låga nivåer i sjön. Ett varmare vatten kan leda till problem för dricksvattenförsörjningen.

I detta avsnitt diskuteras den problembild som finns och väntas tillkomma eller förstärkas på grund av klimatförändringar. Stycket är framtaget i dialog med referensgrupperna samt redan befintligt material om hur Hjälmarén påverkas i ett framtida klimat. Syftet är att ge en översiktlig bild.

6.4.1 Höga vattennivåer idag och i ett framtida klimat



Det finns inte mycket översvåmningskånslig bebyggelse kring Hjälmarén (Lånsstyrelsen i Örebro län, 2011). I Örebro finns en stadsdel, Rynninge, som fick vallas in i samband med den höga vattennivå 2000 (SOU 2006:94).

Örebro är utpekadt som ett av de 18 områden i Sverige med betydande översvåmningsrisk (MSB, 2011), men den fråmsta risken är översvåmning av Svartån och Lillån, som rinner genom centrala Örebro. Dock kan en hög nivå i Hjälmarén i kombination med en kraftig östlig vind leda till att vattnet från Svartån, Lillån och från dagvattenledningar får svårare att rinna ut i Hjälmarén. Även i översynen av områden med betydande översvåmningsrisk (MSB, 2018) är Örebro identifierat.

I Eskilstuna kommun finns en del bebyggelse i översvåmningskånsligt låge vid Hjälmarén och långs Eskilstunaån.



Jordbruksmarken runt Hjälmarén och i Kvismaredalen är mycket kånslig för översvåmningar (Lånsstyrelsen i Örebro län, 2011). Problem vid en översvåmning uppstår vid alla tider på året, men fråmst är det en hög vattennivå i samband med vårfloden som ger stora konsekvenser eftersom vårbruket då fördröjs.

Stora delar av den mark som vanns vid den stora sjösånkningen riskerar att svåmma över och marken ligger på många håll nära Hjålmaréns vattennivå. Stora delar av marken är invalladt. Översvåmningarna beror delvis på vattennivå i Hjålmarén, men även på vattenflödet i Tåljeån/Kvismare kanal, som går genom området.

Vid översvåmningarna 2000 fick flera av invallningarna runt sjön genombrott, vilket medförde att cirka 450 ha jordbruksmark skadades. Det var också flera vallar som var nära ett genombrott. Åkrar med nysådd höstspannmål blev översvåmmade och på många håll gick det inte att bruka jorden under en långre tid (SOU, 2006:94).

Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2006:94) beråknade att cirka 4 000 hektar jordbruksmark riskerar att stållas under vatten vid en 100-årsnivå, om befintliga skyddsvallar brister. Även betesmark riskerar att drabbas samt högre belågen mark som inte översvåmmas, men påverkas indirekt.

I ett framtida klimat finns en något ökad risk för översvåmningar som förstärker problemen. Kostnaderna för pumpning beråknas öka. Antal dagar med höga nivåer i maj beråknas dock inte att öka, vilket är positivt för vårbruk och betesslåpp.



Höga nivåer kring Hjälmarén ökar risken för att föroreningar når sjön vilket kan påverka vattenkvaliteten.

I Mälaren och Vänern har studier gjorts kring hur naturmiljön runt sjön påverkats av den minskade variationen i vattennivån som regleringen har medfört (Calluna, 2010 och Koffman m.fl., 2014). Översvämningar av stränderna kan gynna naturmiljön och minska igenväxningen. För Hjälmaren har ingen motsvarande studier gjorts, men även i Hjälmaren kan en mer jämn vattennivå ha påverkat naturmiljön och eventuellt ökat igenväxningen.



Vid Hjälmaren finns inte så många vägar eller järnvägar som ligger i översvämningshotade områden. Några mindre vägar översvämmades 2000 (SOU 2006:94).

6.4.2 Förändrad tillrinning och ökning av skyfall



I framtiden beräknas det bli vanligare med kraftig nederbörd. Det kan leda till att mer föroreningar och näringsämnen spolas ut i Hjälmaren och försämrar vattenkvaliteten.

Den ökade risken för skyfall kan innebära bräddningar av avloppsvatten och förorenande ämnen från dagvattensystem och förorenad mark vilket också kan påverka vattenkvaliteten.

Ökande vattenfärg är en faktor som påverkar bland annat kostnaden och metod för rening av dricksvatten. Det är inte helt klarlagt om eller hur förändrad vattenfärg är kopplat till klimatförändringar men forskning pågår. Det finns visst stöd för att vattenfärgen är kopplad till tillrinningen till sjön (Johansson m.fl. 2010).



Den invallade marken kring Hjälmaren är känslig för översvämningar som uppkommer till följd av ett skyfall. Ett exempel på det är översvämningen vid Hallsberg och Kvismaredalen i början av september 2015, då cirka 100 mm regn föll i Hallsbergstrakten i Täljeåns avrinningsområde. Bebyggelsen i Hallsberg översvämmades, men även lantbruket blev hårt drabbat. En del av den åkermark som översvämmades ligger i det sänkta området i Kvismaredalen. Som längst stod fälten under vatten i 14 dagar och den ekonomiska förlusten blev stor för flera lantbrukare (Gottfridsson, 2015). Nivån i Hjälmaren höjdes inte särskilt mycket på grund av regnet, eftersom det föll över en begränsad del av avrinningsområdet. I framtiden beräknas det bli vanligare med kraftig nederbörd.

6.4.3 Låga nivåer idag och i ett framtida klimat



En låg vattennivå i Hjälmaren är ett problem för sjöfarten eftersom Hjälmaren är så grund (Länsstyrelsen i Örebro län, 2011). Vid de låga nivåerna under sommaren 2017 förekom problem för båttrafiken på Hjälmaren, både för småbåtar men också för passagerarbåtar och för Vinöfärjan. Det var svårt att komma in i och ut från hamnar och även i farleder var vattendjupet litet. Turerna med passagerarbåten Tor fick ställas in på grund av den låga vattennivån. Även yrkesfisket drabbas av en låg vattennivå, då framkomligheten minskar och det är problem att lägga till vid bryggor.

I ett framtida klimat beräknas antalet dagar med låga vattennivåer bli betydligt fler, vilket kan påverka båttrafiken.

6.4.4 Ökande vattentemperaturer och minskad period med is



Det förekommer vissa problem med råvattenkvaliteten i Hjälmaren. Det dricksvatten som tas från Hjälmaren har dock en bra kvalitet efter rening. Eftersom dricksvattenintagen ligger grunt blir vattnet ofta varmt och temperaturer på över 20 grader förekommer.

I framtiden väntas vattentemperaturen i Hjälmaren öka, vilket kan ge en försämrad råvattenkvalitet. Vid vattentemperaturer över 20 grader gynnas tillväxten av mikroorganismer och dricksvattenproduktionen kan påverkas. Risken för problem på grund av förändrad mikrobiologisk aktivitet i ledningsnäten ökar också med varmare vatten (SOU 2016:32).

Eftersom Hjälmaren är en grund sjö blir det svårt att hitta kallare bottenvatten och konsekvenserna för dricksvattenförsörjningen kan bli stora.



Hjälmarens ekosystem, dess fiskpopulation, algsamhällen och artsammansättningen kommer med största sannolikhet att påverkas av varmare vatten och minskad period med is. Det är dock svårt att förutse på vilket sätt. Klimatförändringar kan gynna vissa arter och missgynna andra. Utöver den direkta påverkan kan klimatförändringarna leda till effekter på ekosystemnivå och vidare på arter som inte direkt påverkas av klimatförändringar (Blenckner, 2010).

För Mälaren finns till exempel forskning kring hur algsamhällen förändrats i ett varmare klimat. Det är troligt att Hjälmaren påverkas på liknande sätt (Weyhenmeyer, 2005).

Risken för att invasiva arter etablerar sig kan öka när vattentemperaturen ökar. Vissa arter kan utnyttja de nya förutsättningar som ett förändrat klimat medför och snabbt utöka sin utbredning på bekostnad av andra arter (Nellbring, 2011).

Ett istäck på Hjälmaren kan hjälpa till att skala bort växtlighet vid stränderna. Minskad period med is kan orsaka förbuskning av stränder och häckningsöar som är viktiga för fåglar. Vassens utbredning kan öka.

Hjälmaren drabbas återkommande av algblomningar och ett varmare vatten kommer troligen att leda till en ökad algblomning.



Fiskars respons på klimatförändringar är svår att förutse. Klimatförändringarna påverkar sjöars ekosystem och fiskar redan idag (IPCC, 2014). Sötvattenssystem som är påverkade av människan, till exempel i form av övergödning eller vattenreglering, är känsligare och påverkas mer. Algsamhällen kan påverkas, vilket kan ge totalt ökad biomassa och påverka fisksamhällen. Varmvattenarter kan gynnas.



Varmare temperaturer vid Medelhavet kan leda till ökad turism i Skandinavien (Klimatanpassningsportalen, 2018). Det är inte orimligt att Hjälmaren liksom många andra sjöar i Sverige kommer vara av större intresse för turism i ett framtida klimat.

I framtiden beräknas badvattentemperaturen blir högre och badsäsongen längre. Badvattenkvaliteten kan dock försämrats. Ökad mängd och period med algbloomingar kan påverka friluftsliv och turism.

Vinterturismen med skridskomöjligheter och isfiske får sämre förutsättningar.



Figur 69. Stora Sundby Slott, ett turistmål vid Hjälmaren.

6.5 Vad behöver göras?

För Hjälmarén behövs mer inventering, övervakning och beräkningar för att följa upp hur klimatförändringar påverkar sjöns vattenkvalitet och ekosystem.

Följande stycke har tagits fram i dialog med referensgruppen för Hjälmarén.

6.5.1 Inventering och övervakning

För att följa effekter av klimatförändringarna är det viktigt att göra inventeringar av förändringar i ekosystem och övervakning av vattenkvaliteten. År 2015 startade en fågelinventering i Hjälmarén som ska göras med två års mellanrum. Det kan också finnas behov av ytterligare inventering, till exempel av makrofyter och övervakning av miljögifter. Det är viktigt att inventera växtligheten vid stränderna för att följa en eventuell igenväxning.

6.5.2 Åtgärder kopplat till höga vattennivåer och kraftig nederbörd

Klimat- och sårbarhetsutredningens delbetänkande (SOU 2006:94) föreslog två åtgärder för att komma ifrån jordbrukets problem med översvämningar vid Hjälmarén

- Upprätta nya invallningar.
- Underhålla och förstärka de befintliga invallningarna.

De föreslog att invallningsföretagen karteras och möjligheten till förstärkning utreds.

Att samla vatten i magasinen uppströms för att minska nivån i Hjälmarén bedöms inte som ett rimligt alternativ (SOU 2006:94) och möjligheterna att öka tappningen genom Eskilstunaån är begränsade.

Ett annat alternativ är att tillåta vissa marker i Kvismaredalen att översvämmas vid kraftig nederbörd i området. Nylén m.fl. (2013) studerade trender i högflöden i Täljeån och kom fram till att högflödestillfällena i Täljeån inte har blivit vanligare. De kom också fram till att det finns en möjlighet att minska översvämningens risk i de nedre delarna av Täljeån genom att utföra åtgärder som ger dämpande effekt på flödet. Åtgärderna handlar om att kontrollerat låta vissa områden översvämmas för att rädda andra.

6.5.3 Åtgärder kopplat till låga vattennivåer

Vid låga nivåer uppstår problem främst för båttrafiken på Hjälmarén. En åtgärd kan vara att muddra farlederna i sjön, men det försvåras av att det finns föroreningar i sedimenten. Ett beslut är taget om en mindre muddring av farleden vid Röda tunnan och Åssundet i Hemfjärden innan båtsäsongen 2018. Planer finns också på en större muddring av hela farleden, men den kommer att kräva tillstånd från Mark- och miljödomstolen, vilket gör att muddring kan påbörjas tidigast 2019 (Örebro kommun, 2018). I fortsättningen bör muddring utföras regelbundet. Muddring kan vara en lösning på problemen för båttrafiken, men fler åtgärder kan behöva utredas.

6.5.4 Ändrade vattenhushållningsbestämmelser

Någon ny vattendom för Hjälmarens är inte aktuell i dagsläget. På sikt kan nya vattenhushållningsbestämmelser behövas som är anpassade till ett framtida klimat, då det blir vanligare med både höga och låga vattennivåer.

7 Behov av åtgärder

En stor fråga som återkommit vid möten med referensgrupperna är att det inte är klart vem som ska bära ansvar och kostnader för åtgärder för klimatanpassning. Detta försvårar arbetet med åtgärder som behövs för de stora sjöarna. Det finns även ett behov av samhällsekonomiska analyser, ekosystemanalyser, modellering av råvattenkvalitet, mer mätningar och ett behov att ta till sig klimatinformation med ett annat förhållningssätt.

I diskussioner med referensgrupperna har det framkommit att det finns stora behov av ytterligare åtgärder. Många av dessa behov togs upp i ”Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat” (Andersson m.fl., 2015) och några togs upp redan av Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2006:94 och SOU 2007:60).

7.1 Ansvarsfördelning

En av de största svårigheterna för klimatanpassning kring de stora sjöarna är otydligheten kring ansvarsfördelning och kostnader för klimatanpassning och för stora åtgärder som behövs i dagens klimat. Detta gäller särskilt för Vänern och Mälaren, där länsstyrelserna har skrivit till regeringen och bett dem ta upp frågor kring ansvar och kostnader för åtgärder och utredningar.

7.2 Nytt förhållningssätt

Det har även framförts att det finns svårigheter i att föra befintligt klimatunderlag hela vägen till beslut. I klimatunderlaget som tas fram finns ett spann av möjliga framtida utvecklingar som beror på att vi inte vet hur stora utsläppen av växthusgaser kommer att vara och som delvis även beror på osäkerheter i beräkningarna. Det finns en tradition i att planera mot ett enda framtidsscenario men detta behöver utvecklas framöver.

Underlaget bör ligga till grund för vilken framtid man väljer att planera för. Tidshorisont, möjlig risk och kostnad, både vad gäller investering och skada påverkar hur klimatunderlaget används. Om en investering med stora värden ska göras kan det krävas att man tar höjd för framtida förändringar med något större kostnader. Om det däremot finns stor flexibilitet i en framtida investering behöver kravet på anpassning till framtida förändring inte vara hög.

Dessa frågeställningar behandlas i forskningen kring robusta beslut inför osäkra klimatförändringar (Wikman-Svahn, 2016).

7.3 Kunskapsbehov

Behovet av att göra noggrannare utredningar inom vissa områden är gemensamt för de studerade sjöarna. Tillsammans med de olika referensgrupperna har vi identifierat dessa områden, men det kan finnas fler.

Övergripande samhällsekonomisk analys. I denna rapport har fokus legat på förändringar relaterade till ett framtida klimat. Nästa steg kan vara att göra en övergripande samhällsekonomisk analys av dessa förändringar.

Ekosystemanalys. Det finns forskning och kunskap om hur sjöar förändras generellt i varmare klimat och till viss del även hur detta påverkar ekosystemen (IPCC, 2014). Däremot saknas det mycket underlag till hur detta är kopplat till de stora sjöarna. Det behövs mer kunskap om hur ändrad markanvändning, tillrinning, förändrade vattennivåer, varmare vatten och minskad isläggning påverkar vattenmiljön. Hur påverkas ekosystemen? Hur påverkas salt- och näringsbalanserna? Hur påverkas sedimentation och löslighet av olika ämnen? (Länsstyrelsen i Stockholms län m.fl., 2013). För samtliga sjöar finns ett behov av att analysera hur sjöns ekosystem påverkas av ett framtida klimat.

Modellering av råvattenkvalitet. En högre vattentemperatur kan påverka råvattenkvaliteten. Detta kan innebära ökade kostnader för rening. Om förändringen är stor kan det krävas nya reningstekniker eller alternativa dricksvattentäkter vilket skulle innebära stora kostnader. Det finns behov av att studera hur råvattnets kvalitet förändras i ett framtida klimat.

Miljöövervakning. För att följa upp climateffekter behövs mätningar av viktiga parametrar. Detta kan variera mellan olika sjöar men ett exempel är att mäta vattentemperatur på samma plats under många år för att få en indikation på förändring. Andra exempel är att inventera hur period med is, växtlighet, fisk, djurliv, vattenkvalitet med mera förändras över tid.

I ett projekt har det visat sig möjligt att använda satellitdata för miljöövervakning av sjöar. (Vänerns vattenvårdsförbund m.fl., 2015). Användande av fjärranalys är klar och utvecklad för att introduceras i regelbunden miljöövervakning (Personlig kommentar, Måns Lindell, Vätternvårdsförbundet, 2017).

Konsekvenser kring livsmedelsförsörjning. LRF ser att jordbruk och skogsbruk kommer att ha en avgörande roll i omställningen till ett fossilfritt samhälle med att producera mat, energi och material på ett hållbart sätt.

Regeringens livsmedelsstrategi (Regeringen, 2017a) har som mål att öka livsmedelsproduktionen i Sverige. Mer frekventa översvämningar påverkar dock jordbruksproduktionen negativt. Det kan vara värt att utreda vilken påverkan översvämningarna har på livsmedelsproduktionen. En utredning bör genomföras med ett brett perspektiv för att kunna fånga in bredden av frågeställningar. Kopplat till detta behövs en översyn över möjligheterna att hålla kvar vatten för att använda under perioder av torka men också möjligheterna att dämpa effekterna av skyfall.

Kunskap om markavvattning. Jordbruket är beroende av att markavvattningen fungerar. Markavvattning i sin tur påverkar sjöar och vattendrag. Det finns behov av mer kunskap och informationsspridning kring markavvattning, både inom jordbruket och hos berörda myndigheter. Detta för att kunna underhålla och planera för väl dimensionerade dräneringssystem och invallningar.

I ett förändrat klimat med ökad frekvens av kraftiga skyfall kan befintliga invallningar och dräneringssystem vara felaktigt dimensionerade, vilket kan påverka jordbruket, vattendragen och sjöar nedströms.

Arbetet inom vattenförvaltningen. Det pågår ett stort arbete med att förbättra den ekologiska statusen i Sveriges vatten (Vattenmyndigheterna, 2018). Detta arbete förbättrar sjöarnas förmåga att hantera klimatförändringen. En ökad koppling och mer kunskap om hur olika åtgärder står sig i framtiden behövs.

7.4 Större utredningar

Vi har definierat två områden där det finns ett stort behov av ytterligare utredningar:

Åtgärder för att hantera Vänerns problem. Vänern har en mycket komplex problembild med många intressen inblandade. En större utredning kring åtgärder för att hantera problemen behövs.

En fördjupad utredning kring Mälaren i ett mycket långsiktigt perspektiv. Det kan bli svårt att på mycket lång sikt hålla Mälarens vattennivå när havet stiger. Hur det hanteras behöver utredas mer. Utredningen kan innefatta förutsättningar för Mälaren som dricksvattentäkt, men även konsekvenser för bebyggelse, naturmiljö med mera.

8 Tackord

Vi vill framförallt tacka de fyra referensgrupperna för den stora hjälp de bidragit med till denna rapport. De har bidragit med värdefulla synpunkter och diskussioner kring klimatförändringens påverkan på sjöarna.

Referensgruppen för Vänern har bestått av:

Ida Axelsson Wall och Leif Gustavsson från Länsstyrelsen i Värmlands län, Anna Georgieva Lagell och Håkan Alexandersson från Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Marianne Magnusson från Lidköpings kommun, Sara Peilot från Vänerns vattenvårdsförbund, Lars Joelsson från Vattenfall, Per Lagerström från Sjöfartsverket, David Schälin från SGI, Christer Jansson från LRF, Bertil Hallman från Trafikverket, Lena Blom från Göteborgs stad och Laila Gibson från Vänersamarbetet.

Referensgruppen för Vättern har bestått av:

Christian Brun från Länsstyrelsen i Örebro län, Frida Moberg från Länsstyrelsen i Jönköpings län, Lars Westholm från Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Tomas Ekelund från Länsstyrelsen i Östergötlands län, Måns Lindell från Vätternvårdsförbundet, Annica Magnusson från Jönköpings kommun, Marie Kristoffersson från Motala kommun, Peder Österlöf från Tekniska verken och Henric Stöök från AB Göta kanalbolag.

Referensgrupperna för Mälaren har bestått av:

Karin Willis från Länsstyrelsen i Stockholms län, Kaj Hellner från Länsstyrelsen i Södermanlands län, Karin Gustavsson från Länsstyrelsen i Uppsala län, Måns Enander från Länsstyrelsen i Västmanlands län, Joakim Lücke från Stockholm Vatten och Avfall, Kristina Dahlberg från Norrvatten, Henrik Tengbert från Sjöfartsverket, Torbjörn Granqvist från Stockholms hamnar, Jon Wessling från LRF, Mikael Alm från Trafikverket, Monica Granberg från Structor, Magnus Sannebro från Stockholms Stad, Olof Bergold från Västerås stad, Gustav Björnstad från Strängnäs kommun och Louise Andersson från Upplands-Väsby kommun.

Referensgruppen för Hjälmaren har bestått av:

Anders Larsson från Länsstyrelsen i Örebro län, Kaj Hellner från Länsstyrelsen i Södermanlands län, Måns Enander från Länsstyrelsen i Västmanlands län, Per Wedholm från Örebro kommun, Ulf Zackrisson från Arboga kommun, Lotta Carlström och Ingegerd Oberg från Hjälmarens vattenvårdsförbund, Åsa Wolgast Broberg från LRF och Bengt Dalme från Hjälmare och Kvismare sjösänkingsjorlar.

Vi vill också tacka Anna Östlund från Vattenfall, Thomas Hammarklint, Lars Jakobsson, Johan Eriksson och Nicklas Liljegren från Sjöfartsverket, Friederike Ermold från Länsstyrelsen i Jönköping, Ernst Witter från länsstyrelsen i Örebro län, Peter Jensen-Urstad från Örebro kommun, Louise Hämäläinen från Örebro kommun, Maria Elfström från Norrvatten för hjälp under arbetet med denna rapport.

Vi vill även tacka Lena Lindström, Diala Abdoush, Anna Jonsson, Sten Bergström, Anna Engblom, Åsa Sjöström, Gunn Persson, Veronica Wörn, Johan Andréasson, Ingrid Gudmundsson, Signild Nerheim, Jonas German och Buban Sehalic på SMHI för hjälp med rapporten.

Slutligen vill vi även tacka alla fotografer som gett sitt tillstånd att använda deras fotografier.

9 Referenser

9.1 Skriftliga referenser

- AB Göta kanalbolag (2018). En vacker historia. <https://www.gotakanal.se/sv/historia/>
- Adrian, R., O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., Livingstone, D. M., Sommaruga, R., Straile, D., van Donk, E., Weyhenmeyer, G. A. och Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6), 2283-2297.
- Adrup, P. (Red.), Mörner, E., Norman, Å., Tideström, H., Lindgren, J., (2011). Projekt Slussen – tillstånd enligt miljöbalken. Miljökonsekvensbeskrivning. Ombyggnad av Slussen och ny reglering av Mälaren. Exploateringskontoret, Stockholms Stad.
- Andersson, J.O., Blumenthal, B. och Nyberg, L. (2013a). Kartering av översvämningsrisker vid Vänern. Centrum för klimat och säkerhet, Karlstads universitet. Rapport 2013:1.
- Andersson, M., Hallberg, K., Lindahl, S., (2013b), Saltvatteninträngning i Mälaren, Uppdragsrapport åt Norrvatten, SMHI RAPPORT NR 2013-12
- Andersson, L., Bohman, A., van Well, L., Jonsson, A., Persson, G. och Farelus, J. (2015). Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat. SMHI Klimatologi Nr 12.
- Andréasson, J., Gustavsson, H. och Bergström S. (2011). Projekt Slussen - Förslag till ny reglering av Mälaren, SMHI rapport Nr 2011-64.
- Andréasson, J., Persson, G., Bergström, S. och Åström, S. (2014). Mälarens nivå vid olika höjning av havets medelnivå i tidsperspektivet fram till år 2200, SMHI rapport Nr 2014-3.
- Andrén, T., Björck, S., Andrén, E., Conley, D., Zillén, L och Anjar, J. (2011). The development of the Baltic Sea basin during the last 130 000 years. In: Harff et al. (Eds.): The Baltic Sea Basin. Springer, 75-97. DOI 10.1007/978-3-642-17220-5_4.
- Arboga kommun (2018). Säkert dricksvatten. <https://www.arboga.se/bygga-bo--miljo/vatten-och-avlopp/dricksvatten/sakert-dricksvatten.html>.
- Asp, M., Berggreen-Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Johnell, A., Axén Mårtensson, J., Nylén, L., Ohlsson, A., Persson, H. och Sjökvist, E. (2015). Framtidsklimat i Stockholms län– enligt RCP-scenarier, Klimatologi Nr 21, ISSN: 1654-2258, SMHI, Norrköping.
- Bergh H. (2001). Inverkan på stranderosionen i Vättern av varierande vattenstånd. Teknisk rapport 3+86, avdelningen för vattenbyggnad, institutionen för Anläggning och miljö, KTH.
- Bergström, S., Hellström, S.S. och Andréasson, J. (2006). Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem - Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. SMHI Rapport RH20.
- Blenckner, T., Adria, R., Arvola, L., Järvinen, M., Nöges, P., Pettersson, K. och Weyhenmeyer, G. A. (2010). The impact of Climate change on Lakes in Northern Europe. Chapter 18. Editor Glen George. ISBN 978-90-481-2944-7
- Blumenthal (2010). När Vänerns svämmade över. Händelseutveckling och konsekvenser av översvämningen 2000/2001. Centrum för klimat och säkerhet, Karlstads universitet. Rapport 2010:1.

- Calluna AB, (2010). Projekt Slussen – Ny reglering av Mälaren – Konsekvensbedömning av strandnära naturmiljön. Calluna AB, Stockholm.
- Christensen, A. (2016) Hur blir Vänerns vattenkvalitet i framtiden? Långsiktiga trender av dricksvattenresursen. Vänerns vattenvårdsförbund rapport nr 93.
- Eklund, A. och Bergström, S. (2014). Tappningsstrategi med naturhänsyn för Vänern Strategi 1 och 2. PM SMHI. Dnr 2013/343/9.5.
- Eklund, A., Tofeldt, L., Tengdelius-Brunell, J., Johnell, A., German, J., Sjökvist, E., Rasmusson, M. och Andersson, E., (2017a) Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern - Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden, SMHI Klimatologi nr 42.
- Eklund, A., Johnell, A., Tofeldt, L., Tengdelius-Brunell, J., Andersson, M., Ivarsson, C.-L., German, J., Sjökvist E. och Andersson, E. (2017b) Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmaren - Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden, SMHI Klimatologi nr 43.
- Eklund, A., Tofeldt, L., Johnell, A., Andersson, M., Tengdelius-Brunell, J., German, J., Sjökvist, E., Rasmusson, M., Harbman, U. och Andersson E. (2017c) Vattennivåer, tappningar, vattentemperatur och is i Vänern - Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden, SMHI Klimatologi nr 44.
- Engberg, L.E. (2017). Vänerns vattennivå och landhöjning. PM Lantmäteriet. Bilaga A i Eklund m.fl. (2017c).
- Ernfors, S. (1968). Mälaren-Norrström. Hjälmaren. Viktigare fakta och data. Internt PM SMHI.
- Eskilstuna kommun (2018). Vattenskyddsområde Hyndevad.
<https://www.eem.se/globalassets/privat/vatten-och-avlopp/dokument/oversiktskarta.pdf>
- Finsberg, C. (2014). Förändringar i strandvegetationen vid Vänern. Effekter av nedisningen vintern 2012-2013. Stråkvisinventering 2013. Vänerns vattenvårdsförbund, 2014. Rapport nr 82.
- Finsberg, C (2015). Inventering av Vänerns strandvegetation i stråk 2014 – Stråkvis inventering 2014. Vänerns vattenvårdsförbund Rapport nr 87.
- German, J. (2008). Vattenstånd och landhöjning i Vättern vid Jönköping. I Regleringen av Vättern-historiskt, nutid och framtid. Rapport 110 från Vätternvårdsförbundet.
- German, J., Gustavsson, H. och Eklund, D. (2010). Förändrad regleringsstrategi för Vättern och möjligheter att klara ökade flöden genom Roxen. I Regleringen av Vättern-historiskt, nutid och framtid. Rapport 110 från Vätternvårdsförbundet.
- Gottfridsson, J. (2015). Översvämning i Hallsbergsområdet i september 2015. Konsekvenser för växtodlingen. Uppdragsrapport Jordbruksverket. Hushållningssällskapet, HS Konsult AB.
- Granström, C. (2003). Vattenståndsmätningar i Mälaren, Väder och Vatten 8/2003. SMHI, Norrköping Gyllenram, W., Hallberg, K., Åström, S. och Nerheim, S. (2011). Modeller av vinduppstuvning i Mälaren, SMHI Nr 2011-50, Uppdragsrapport åt Stockholms stad
- Göteborgsregionens kommunalförbund (2014). Regional vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen.
- Göteborgs stad (2016). Förslag till översiktsplan för Göteborg, Tillägg för översvämningsrisker. Stadsbyggnadskontoret. Samrådshandling.

- Göteborgs stad (2017) Dricksvattenberedning. http://goteborg.se/wps/portal/start/vatten-och-avlopp/dricksvatten/dricksvattenberedning!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziAwy9Ai2cDB0N_N0t3Qw8Q7wD3Py8ffz93Uz1wwkpiAJKG-AAajgb6BbmhigBkpnFS/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- Göteborgs stad (2018) Stadsutveckling. <https://stadsutveckling.goteborg.se/>.
- Havs- och vattenmyndigheten (2017a). Stora Sjöarna, <https://www.havochvatten.se/hav/samordning--fakta/miljoovervakning/miljoovervakningens-programomrade-sotvatten/delprogram-stora-sjoarna.html>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2017b). Ål (*Anguilla anguilla*), <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/arter/arter-och-naturtyper/al.html>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2017c). Riksintresse för anläggningar för vattenförsörjning <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/skyddade-omraden/riksintressen/riksintresse-for-dricksvattenanlaggningar.html>
- Hirsmark S., Wennerberg, L. och Andersson, L. (2004). PM angående behovet av ändring av vattendomen för Vättern. Jönköpings kommun.
- Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag (1977). Den stora sjösänkningen del II. Redigerad av Allan Thybell.
- IPCC (2013a). 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 och P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC; Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S., Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer och A.S. Unnikrishnan (2013b): Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC; A., Settele, J., Scholes, R., Betts, R. A., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J. T. och Taboada, M. A. (2014). Terrestrial and Inland Water Systems. In I. P. o. C. Change (Ed.), Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (Vol. 1, pp. 271-360). Cambridge: Cambridge University Press.
- Johansson, L., Temnerud, J., Abrahamsson, J., och Kleja, D. B. (2010). Variation in Organic Matter and Water Color in Lake Mälaren during the Past 70 Years. *Ambio*, 39(2), 116–125. <http://doi.org/10.1007/s13280-010-0019-2>.
- Jonsson, T. och Setzer, M. (2014). A freshwater predator hit twice by the effects of warming across trophic levels. *Nature Communications* 6, 5992.
- Jordbruksdepartementet (1979). Ändrad vattenhushållning i Hjälmarens. Betänkande avgivet av Hjälmartutredningen 1976 (Jo 1976:10). Ds Jo 1979:10.
- Jönköpings kommun (1999). Vätterns reglering – hemställan till kammarkollegiet 1999-11-26. Stadskontoret.

- Jönköpings kommun (2016). Digital Översiktsplan 2016 – textdel Antagandeverision.
https://www.jonkoping.se/download/18.56ac98861555437aa2614b18/1469608238791/Textdel_till_digital_%C3%B6versiktsplan_2016_antagandeverision.pdf
- Karlsson, H. och Winnfors E. (2005). Boken om Hjälmaren. Ohlson och Winnfors AB, Örebro. ISBN 91-974453-7-1.
- Karlstads kommun (2010). Översvämningsprogram för Karlstads kommun 2010-06-02.
- Kinsten, B. (2017). Glacialrelikta kräftdjur i Vänern, Vättern och Mälaren 2016. Resultat av håvning. Väners vattenvårdsförbund rapport nr 98.
- Klimatanpassningsportalen (2018). Turism och besöksnäring.
<http://klimatanpassning.se/hur-paverkas-samhället/turism-och-besöksnaring/turism-och-besöksnaring-1.107457>
- Kommuner i samverkan om Väners reglering (2014). Vänern måste bli en nationell angelägenhet. Vänersborgs kommun 2014-02-07. KS 2013/173.
- Koffman, A., Lundkvist, E., Hebert, M. och Thorell, M. (2014). Väners vattenreglering - Effekter och konsekvenser för flora, fauna och friluftsliv. Calluna AB.
- Landshövdingen i Västmanlands län, Landshövdingen i Uppsala län, Landshövdingen i Stockholms län, Landshövdingen i Södermanlands län, Landshövdingen i Örebro län (2012). Stigande havsnivå – en ödesfråga för Mälaren som dricksvattentäkt i framtiden. Förslag om fortsatt arbete. Skrivelse till Regeringen. Diarienummer 400-5127-2012-D, 451-30393-2012-AB, 451-5599-2012-C, 420-4733-2012-U, 453-6575-2012-T.
- Lantmäteriet (2018) Hydrografi Nedladdning. <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Geodatatjanster/nedladdnings--och-direktatkomsttjanster/geografisk-information/hydrografi-nedladdning/>
- Larsson, F. (2016). Inventering av Väners strandvegetation i stråk 2015. Stråkvis inventering 2015. Väners vattenvårdsförbund, 2016. Rapport nr 95.
- Lidén, P. och Saglamoglu, S. (2010). Saltvattenuppträngning i Göta älv. Inverkan av förhöjd havsvattennivå på råvattenintaget vid Alelyckan. Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelningen för vatten miljö teknik, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA, Göteborg 2010, Examensarbete 2010:74.
- Länsstyrelsen i Halland och Västra Götaland, Region Halland, Västärvet och Riksantikvarieämbetet (2016). Kulturarv för framtida generationer med klimatperspektiv på Västsveriges kulturarv. Rapport från projektet Kulturarv och klimatförändringar i Västsverige 2016-09-01. Länsstyrelsen i Västra Götaland rapport 2016:4.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län (2014). Vattenskyddsområde med föreskrifter för Vättern i Habo och Jönköpings kommuner. Beslut 2014-01-30.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län (2015). Regional vattenförsörjningsplan för Jönköpings län. Meddelande nr 2015:31.
- Länsstyrelsen i Stockholm, Södermanlands, Västmanlands, Uppsala och Örebro län (2011) Mälaren om 100 år – förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden. ISBN 978-91-7281-448-6.
- Länsstyrelsen i Stockholm, Södermanlands, Västmanlands, Uppsala och Örebro län (2013) Mälarens och Saltsjöns framtid i ett brett perspektiv – dricksvatten, bebyggelse, ekosystem. ISBN 978-91-7281-561-2.

- Länsstyrelsen i Stockholms län (2010) Klimatförändringar och Mälaren ur ett vatten och naturmiljöperspektiv. Länsstyrelsernas rapportserie Anpassning till ett förändrat klimat. ISBN: 978-91-7281-407-3
- Länsstyrelsen i Stockholms län (2017a) Mälaren med öar och strandområden, <http://www.lansstyrelsen.se/Stockholm/Sv/samhallsplanering-och-kulturmiljo/planfragor/riksintressen/Pages/malaren-med-oar-och-strandomraden.aspx>
- Länsstyrelsen i Stockholms län (2017b), Vattenskyddsområden, <http://www.lansstyrelsen.se/stockholm/Sv/miljo-och-klimat/vatten-och-vattenanvandning/vattenskyddsomr%C3%A5den/Pages/default.aspx>
- Länsstyrelsen i Värmlands län (2014). Värmland i ett förändrat klimat Regional handlingsplan för klimatanpassning. Publikationsnummer 2014:27.
- Länsstyrelsen Värmlands län (2016). Till Klimatanpassningsutredningen – PM med bilagor från referensgrupp Väner i projektet Stora sjöarna. PM 2016-11-15. 7916-2016.
- Länsstyrelsen Västmanlands län (2017) Fiskar och yrkesfiske i Mälaren och Hjälmaren <http://www.lansstyrelsen.se/Vastmanland/Sv/naringsliv-och-foreningar/fiskerinaring/Pages/yrkesfisket-i-malaren-och-hjalmaren.aspx>.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands län (2000). Länsstyrelsens övertagande av ansvaret för räddningstjänsten i Norra Älvsborgs Räddningstjänstförbund. Beslut 2000-11-18, dnr 70-47553-2000.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands län (2008). Jordbruksinvallningarnas framtid vid Väner och ån Tidån - Underhåll, utbyggnad eller överföring till våtmark? Rapport 2008:92.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands län och Vattenfall (2008). En ändrad tappningsstrategi för Väner - överenskommelse mellan Länsstyrelsen Västra Götalands län och Vattenfall AB. 2008-04-14. Dnr 450-11125-2008.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands län (2014). Regional handlingsplan för klimatanpassning Västra Götalands län. Rapport 2014:40.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2011a). Stigande vatten. En handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden. Till denna hör tre faktablad för Väner, vattendrag och kusten.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2011b). Faktablad Väner. Faktablad till rapporten Stigande vatten – en handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden. Gäller för Västra Götalands län och Värmlands län. Version 2011.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2015a). Vänerproblematiken – höga naturskyddsvärden, stora samhällsrisker. Skrivelse till miljödepartementet 2015-03-27. Diarienummer O 450-10865-2015. Diarienummer S 450-2107-2015.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2015b). Konkretisering av länsstyrelsernas frågeställning till Regeringskansliet. Skrivelse 2015-06-04. Diarienummer O 450-10865-2015. Diarienummer S 450-2107-2015.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2017). Faktablad Väner. Faktablad till rapporten Stigande vatten – en handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden. Gäller för Västra Götalands län och Värmlands län. Version 2017.1.
- Länsstyrelsen i Örebro län (2011). Översvämningar I Örebro län. En analys av inträffade översvämningar i länets större avrinningsområden. Publ. nr 2011:18.

- Länsstyrelsen i Örebro län (2017). Allmän information om yrkesfiske.
<http://www.lansstyrelsen.se/Orebro/Sv/djur-och-natur/fiske/Pages/Yrkesfiske.aspx>
- Länsstyrelsen i Örebro län (2018). Ett åtgärdsprojekt för Hjälmaren.
<http://www.lansstyrelsen.se/Orebro/Sv/miljo-och-klimat/vatten-och-vattenanvandning/miljoproblem-och-atgarder/overgodning/overgodning-atgarder/Pages/ett-atgardsprojekt-for-hjalmaren.aspx>.
- Länsstyrelsen i Östergötlands län (2013). Regional vattenförsörjningsplan för Östergötland. Rapport nr 2013:19.
- MSB (2011). Identifiering av områden med betydande översvämningsrisk Steg 1 i förordningen (2009:956) om översvämningsrisker - preliminär riskbedömning. Slutrapport. 2011-2996.
- MSB (2012). Konsekvenser av en översvämning i Mälaren - Redovisning av regeringsuppdrag Fö2010/560/SSK. MSB dnr 2010-3498, Publikationsnummer MSB356 ISBN 978-91-7383-198-7.
- MSB (2018). Översyn av områden med betydande översvämningsrisk enligt förordning (2009:956) om översvämningsrisker. Publikationsnummer MSB1152. Januari 2018.
- Miljö- och energidepartementet (2015). Överlämnande av ärende. Utdrag protokoll I:9 vid regeringssammanträde 2015-11-12. M2015/03846/Nm.
- Mälardalsrådet (2016). Inriktningsmål för Mälardalsrådet 2016,
<http://malardalsradet.se/wp-content/uploads/2015/09/Inriktningsma%CC%8A1-2016.pdf>.
- Mälarens Vattenvårdsförbund (2017a), Ett område med många naturreservat,
<http://www.malaren.org/malaren/malaren-och-dess-naromrade/ett-omrade-med-manga-naturreservat/>
- Mälarens vattenvårdsförbund (2017b), Geologi,
<http://www.malaren.org/malaren/malaren-och-dess-naromrade/geologi/> Sidan besöktes 2018-01-03
- Mälarens vattenvårdsförbund (2017c), Övergödning,
<http://www.malaren.org/malaren/vattenvardande-atgarder/>
- Möller (2002). Väterns svämmar över! Artikel i Hembygdsbladet Ullevad, Leksbergs hembygdsförening Nr 28 år 2002.
- Naturskyddsföreningen (2015). Väterns reglering – en akut fråga. Skrivelse till regeringen 2015-07-08. Dnr: 2015/025.
- Naturvårdsverket (2017a). Kartverket Skyddad Natur,
<http://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>
- Naturvårdsverket (2017b) Nya och reviderade riksintressen för friluftsliv
<https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Friluftsliv/Riksintressen-for-friluftsliv/>
- Nellbring, S. (2011). Övervakning av främmande arter i Mälaren, naturvårdsverket Rapport 6375.
- Nerheim, S. (2011), Havsnivåer i Stockholm 2011-2110: En sammanställning, RAPPORT NR 2011-62, Uppdragsrapport åt Stockholms stad.
- Nerheim, S., Schöld, S., Persson, G. och Sjöström, Å. (2017). Framtida havsnivåer i Sverige, SMHI rapportserie Klimatologi nr 48, Norrköping.

- Norconsult (2011). Förstudie regional vattenförsörjning från Vättern, steg 2 och 3
Sluthandling 2011-10-11.
- Norrvatten (2017). Mälaren – vår vattentäkt,
<https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Malaren---var-vattentakt/> Sidan besöktes
2017-06-30.
- Nylén, L., German, J. och Södling, J. (2013). Hydrologiska modelleringar för Täljeån.
Rapport nr 53. Dnr. 2013/143/9.5.
- Ohlsson, A., Asp, M., Berggreen-Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Johnell, A., Axén
Mårtensson, J., Nylén, L., Persson H., och Sjökvist, E. (2015). Framtidsklimat i
Jönköpings län – enligt RCP-scenarier. SMHI klimatologi 25.
- Olsson, J, Berg, P., Eronn, A, Simonsson, L., Södling, J., Wern, L. och Yang, W. (2017).
Extremregn i nuvarande och framtida klimat. Analyser av observationer och
framtidsscenarier. KLIMATOLOGI Nr 47, 2017.
- Persson, E. (2010). Sociala konsekvenser av lågt vattenstånd i Vänern. Centrum för
klimat och säkerhet, Karlstads universitet. Rapport 2010:3.
- Pettersson, M., Ericsson, M., Bergdahl, D., von Sydow, K., Högberg-Gonzalez, S.,
Östlund, E., Falk, A.M., Naver, S., Mathiasson L. och Ljunglund, E.K. (2011).
Översvämningar i Norra Östersjöns vattendistrikt. Länsstyrelserna i Västmanland,
Örebro, Uppsala, Stockholm, Södermanland & Dalarna.
- Rangsjö C-J. (2011). Projekt Slussen Strandnära betesmark – Konsekvensbedömning ny
reglering av Mälaren. Jordbruksverket. Rapport: 2011-12-21
- Regeringen (2017a). En livsmedelsstrategi för jobb och hållbar tillväxt i hela landet,
<http://www.regeringen.se/regeringens-politik/en-livsmedelsstrategi-for-jobb-och-hallbar-tillvaxt-i-hela-landet/>
- Regeringen (2017b). Budgetpropositionen Utgiftsområde 20 Allmän miljö- och
naturvård. Prop. 2017/18:1.
- Regeringen (2017c). Regleringsbrev för budgetåret 2017 avseende Boverket inom
utgiftsområde 18 Samhällsplanering, bostadsförsörjning och byggande samt
konsumentspolitik. Regeringsbeslut III 3 2017-02-23 N2017/01416/SUBT.
- Regeringen (2017d). Regleringsbrev för budgetåret 2017 avseende Sveriges
meteorologiska och hydrologiska institut. Regeringsbeslut I:3 2017-12-18.
M2017/03180/S, M2017/03156/KI, M2017/03098/KI.
- SGI (2012). Skredrisker i Göta älvdalen i ett förändrat klimat. Slutrapport Del 1 –
Samhällskonsekvenser. Göta älvutredningen 2009-2011.
- SGU (2017). Översikt av Sveriges stranderosion.
<https://www.sgu.se/samhallsplanering/risker/stranderosion/oversikt-stranderosion-sverige/>
- SMHI (2017a). Fakta om Vänern. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/fakta-om-vanern-1.4732>
- SMHI (2017b). Fakta om Vättern. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/fakta-om-vattern-1.4730>
- SMHI (2017c). Fakta om Mälaren. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/fakta-om-malaren-1.5089>
- SMHI (2017d). Fakta om Hjälmaren.
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/fakta-om-hjalmaren-1.4776>

- SMHI:s Historiska bildgalleri (2017). Historiskt bildgalleri, vattenwebb.
<http://vattenwebb.smhi.se/>
- SOU 2006:94 (2006). Översvämningshot -Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern, Delbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet.
- SOU 2007:60 (2007). Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter. Slutbetänkande från Klimat- och sårbarhetsutredningen. Miljödepartementet.
- SOU 2016:32 (2016). En trygg dricksvattenförsörjning. Slutbetänkande från dricksvattenutredningen. Näringsdepartementet.
- SOU 2017:42 (2017). Vem har ansvaret? Slutbetänkande från klimatanpassningsutredningen. Miljö- och energidepartementet.
- Sandström, A, Ahlbeck-Bergendahl, I, Wickström, H., Dekker, W. och Strömquist, J. och Andersson, J. (2016) Fiskfångster och utsättningar av fisk. I årsskrift Vänerns vattenvårdsförbund 2016. Rapport nr 96. 2016.
- Sandström, A., Asp, A., Sundbland, G. Belin, P. och Jonsson (2017). Gädda i Vänern - test av metoder för inventering av lek- och uppväxtområden och bedömning av beståndsstatus. Vänerns vattenvårdsförbund, 2017. Rapport nr. 101.
- Sjöfartsverket (2014). Miljökonsekvensbeskrivning för Mälarprojektet, Diarienummer: 12-02143.
- Skara Energi (2018), Dricksvatten. <http://www.skaraenergi.se/vatten-och-avlopp/dricksvatten/>
- Sonesten, L., Wallman, K., Axenrot, T., Beier, U., Drakare, S., Ecke, F., Goedkoop, W., Grandin, U., Köhler, S., Segersten, J. och Vrede, T. (2013). Mälaren - Tillståndsutvecklingen 1965–2011. Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, Institutionen för vatten och miljö. Rapport 2013:1. ISBN: 978-91-576-9139-2.
- Stensen, K., Tengdelius-Brunell, J., Sjökvist, E., Andersson, E. och Eklund, A. (2017). Vattentemperaturer och is i Mälaren - Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden, SMHI Klimatologi Rapport nr 41, Norrköping.
- Stockholms Stad (2017), ”Stockholm växer – Slussen”, <http://bygg.stockholm.se/Alla-projekt/Slussen/>
- Stockholm Vatten och Avfall (2018), Vattentäkt, <http://www.stockholmvattenochavfall.se/vatten-och-avlopp/dricksvatten/vattentakt/>.
- Svea Hovrätt Mark- och miljööverdomstolen (2015) DOM, Mål nr M 2008-14, Dok.Id 1180321.
- Svenska staten och Vattenfall AB (1993). Avtal mellan Svenska staten och Vattenfall AB.
- Svensk Energi (2013) Faktablad Elåret och verksamheten 2013.
- Svensk Energi (2014) Faktablad Elåret och verksamheten 2014.
- Svensk Energi (2015) Faktablad Elåret och verksamheten 2015.
- Svensk Energi (2018). Den svenska vattenkraften – dubbelt förnybar.
<http://www.svenskenergi.se/Pressrum/Debattartiklar/Den-svenska-vattenkraften--dubbelt-fornybar/>
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2015). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar.

- Söderbyggdens vattendomstol (1958). Dom den 9 april 1958 angående Vättern och i Motala Ström t.o.m. Roxen (AD 51/1946, Vättern VII.
- Tekniska Verken i Linköping AB (2017). Våra vattenkraftverk, <https://www.tekniskaverken.se/om-oss/anlaggningar/vattenkraftverk/vattenkraftverken/>
- Trafikverket (2017a). Vänersjöfart och slussar i Trollhätte kanal. Byggtekniska alternativ och samhällsekonomiska effekter. Slutversion 2017-02-27. Publikationsnummer: 2016:120.
- Trafikverket (2017b). Förslag till nationell plan för transportsystemet 2018–2029 Remissversion 2017-08-31. Publikationsnummer: 2017:165.
- VAS-rådet (2009). Mälarens värde 40 000 000 000,00 – En förstudie av det potentiella värdet av Mälarens ekosystemtjänster och sociotekniska systemtjänster samt dess värde för människans välbefinnande. VAS-rådets rapporter nr 8. ISSN 1653-8870.
- VISS (2018). Vatteninformationssystem Sverige. <http://viss.lansstyrelsen.se/>
- Vattenmyndigheterna (2018). Introduktion till vattenförvaltning. <http://www.vattenmyndigheterna.se>
- Vattenwebb (2017a). Ladda ned modelldata per område. <http://vattenwebb.smhi.se/>
- Vattenwebb (2017b). Damm- och sjöregister. <http://vattenwebb.smhi.se/>
- Vattenwebb (2017c). Ladda ned mätningar. <http://vattenwebb.smhi.se/>
- Vänerns vattenvårdsförbund (2007). Djur och växter i Vänern – Fakta om Vänern. Vattenvårdsplan för Vänern. Bakgrundsdocument 2. Rapport nr 44.
- Vänerns vattenvårdsförbund (2015). Yttrande nr 2015/014 över remiss från Vattenmyndigheten med dnr: 537-34925-2014.
- Vänerns vattenvårdsförbund (2016). Övergripande riskanalys för Vänern som råvattentäkt. Rapport 97, Vänerns vattenvårdsförbund.
- Vänerns vattenvårdsförbund (2018) Igenväxning. <http://extra.lansstyrelsen.se/vanern/Sv/fakta-om-vanern/vanerfragor/Pages/igenvaxning.aspx>
- Vänerns vattenvårdsförbund, Vätternvårdsförbundet, Mälarens Vattenvårdsförbund och Hjälmarens vattenvårdsförbund. (2015) Författare: Philipson P.- Brockmann Geomatics. Sandström A., Asp A., Axenrot T., Kinnerbäck A., Ragnarsson-Stabo H. & Dekker W. – Sveriges Lantbruksuniversitet SLU. (2015) Satellitdata för miljöövervakning och fiskeriförvaltning i Sveriges stora sjöar, (Vänern) Rapport nr 90, (Vättern) Vättern-fakta 2015:5, ISSN: 1403-6134 och 1102-3791.
- Vänersborgs kommun (2014). Översvämningsprogram – Kartläggning av Vänersborgs kust mot Vänern.
- Vänersborgs tingsrätt, mark och miljödomstolen (2015). Dom 2015-01-14 i mål M 2466-14.
- Västerbygds vattendomstol (1937). Dom den 19 juni 1937 angående Vänerns reglering, mål A.M. 27/1925.
- Västerbygds vattendomstol (1955). Dom den 25 mars 1955 angående Vänerns reglering, målen A.M. 65/1954 och S.M. 8/1953.
- Vätternvårdsförbundet (2015). Uppföljning av vattenvårdsplan samt revidering för 2020. Rapport 122 från Vätternvårdsförbundet.

- Vätternvårdsförbundet (2017a). Årsskrift 2016. Rapport nr 126 från Vätternvårdsförbundet.
- Vätternvårdsförbundet (2017b). Förvaltningsplan fisk och fiske Vättern 2017-2022. Rapport nr 127 från Vätternvårdsförbundet.
- Wallin, M., Andersson, B., Johnson, R., Kvarnäs, H., Persson, G., Weyhenmeyer, G. och Willén, E. (2000). Mälaren – miljötillstånd och utveckling 1965-98. Mälarens vätternvårdsförbund.
- Weyhenmeyer, G. (2005). Impacts of warmer winters on the biological life. Environmental Assessment, SLU.
- Wikman-Svahn, P. (2016). Principer för robusta beslut inför osäkra klimatförändringar. Avdelningen för Industriell ekologi, KTH. TRITA_IM 2016:02.
- Örebro kommun (2018). Vattennivån i Hjälmaren.
<http://www.orebro.se/fordjupning/fordjupning/sa-arbetar-vi-med/vattennivan-i-hjalmaren.html>
- Österbygdens Vattendomstol (1960) Dom den 4 mars 1966 angående Mälarens reglering, A 122/1962

9.2 Personliga kommentarer

- Lars E. Engberg, 2017, Lantmäteriet.
- Torbjörn Granquist, 2017, Stockholms hamn.
- Måns Lindell, 2017, Vätternvårdsförbundet.
- Jon Wessling, 2017, Lantbrukarnas Riksförbund, LRF.

Bilaga A. Återkomsttid, sannolikhet och risk

Ett värde som har en återkomsttid på 100 år uppnås eller överträffas i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten är 1 procent varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade risken avsevärt större.

För en konstruktion vars livslängd beräknas till 100 år blir den ackumulerade risken hela 63 % att 100-årsvärdet överskrids någon gång under 100 år. Om säkerhetsnivån väljs till 100-årsvärdet är risken att det värdet överskrids större än att det underskrids. Med andra ord, det är troligare att konstruktionen, under sin livslängd, kommer att utsättas för förhållanden utöver den nivå som valts än att den nivå aldrig inträffar.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 2 år (%)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
2	75	100	100	100
10	19	65	99	100
50	4	18	64	87
100	2	10	39	63

Bilaga B. Höjdsystem

Vänern

Alla nivåer för Vänern i denna rapport är angivna i höjdsystemet RH00 Vänersborg, eftersom Vänerns vattendom är skriven i det höjdsystemet. För att översätta till RH2000 ska 0,31 m läggas till (Engberg, 2017).

Vättern

Alla nivåer för Vättern i denna rapport är angivna i höjdsystemet RH00, eftersom Vätterns vattendom är skriven i det höjdsystemet. För att översätta till RH2000 ska 0,46 m läggas till (Personlig kommentar, Lars E. Engberg, Lantmäteriet, 2017). Detta har beräknats genom att ta skillnaden mellan höjden i RH2000 och RH00 för referenspunkten västra slusströskeln i Motala.

Hjälmaren

Alla nivåer för Hjälmaren i denna rapport är angivna i höjdsystemet RH00, eftersom Hjälmarens vattendom är skriven i det höjdsystemet. För att översätta till RH2000 ska 0,59 m läggas till (Personlig kommentar, Lars E. Engberg, Lantmäteriet, 2017). Detta har beräknats genom att ta skillnaden mellan höjden i RH2000 och RH00 för referenspunkten södra slusströskeln Notholmen.

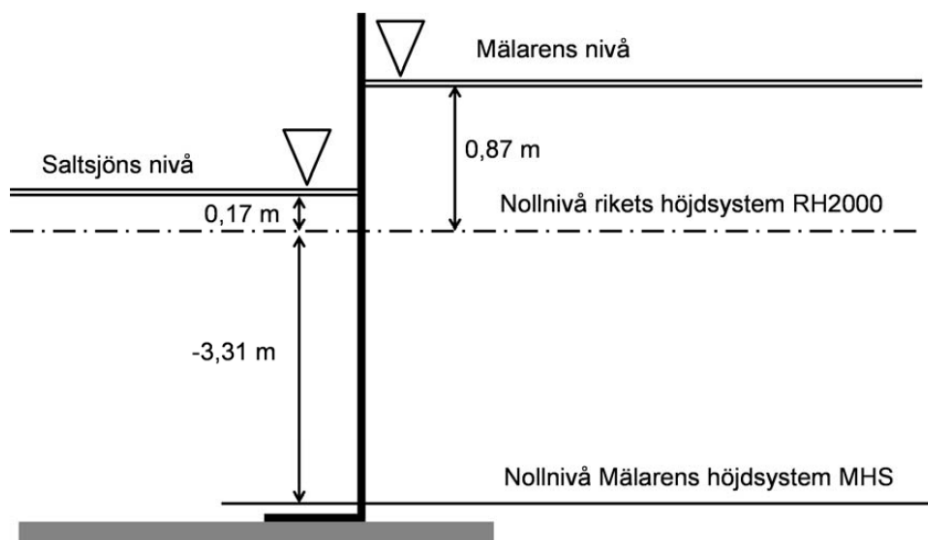
Mälaren

Mälarens vattennivå har historiskt beskrivits med olika höjdsystem. I denna rapport används höjdsystemet RH2000 som är det officiella nationella höjdsystemet.

Tidigare har Mälarens höjdsystem varit det allmänt gällande men efter ombyggnationen av Slussen kommer dess referenspunkt att förvinna. Därför kommer även höjdsystemet att försvinna.

För att kunna växla mellan olika höjdsystem visas hur höjdsystemen förhåller sig till varandra i tabellen och figuren nedan.

RH2000 (m)	Mälarens höjdsystem (m)	RH00 även kallad RH1900 (m)	RH70 (m)
1,39	4,70	0,86	1,22
1,09	4,40	0,56	0,92
0,87	4,18	0,34	0,70
0,69	4,00	0,16	0,52
0,00	3,31	-0,53	-0,17



Figur. Förhållandet mellan Rikets höjdsystem 2000 (RH2000) och Mälarens höjdsystem. Alla mått är angivna i meter. Källa: Andréasson m. fl. (2011).

SMHIs publiceringar

SMHI publicerar sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationella läsare och skrivs oftast på Engelska. I de övriga serierna används oftast Svenska men även Engelska.

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
- 2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete
- 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
- 4 Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Doescher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter
- 5 Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012
- 6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige
- 7 FN:s 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)
- 8 Att begränsa klimatiförändringar. FN:s klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Bidrag från arbetsgrupp 3 (WG 3) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change (2015)
- 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
- 10 Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)
- 11 Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier
- 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 Dricksvattenutredningen
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)
Klimatscenarioer för Sverige - Bearbetning av RCP-scenarioer för meteorologiska och hydrologiska effektstudier
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer
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-scenarioer

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 utsläppsscenarier 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, CSPR) vid Linköpings universitet, Lotta Andersson, SMHI och CSPR, Linköpings universitet samt Åsa Sjöström, SMHI. (2016)
Förslag till en metod för uppföljning av det nationella klimatanpassningsarbetet. Redovisning av ett regeringsuppdrag December 2016

41. (2017)
Karttjänst för framtida medelvattenstånd
längs Sveriges kust
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
44. Anna Eklund, Linda Tofeldt, Anna Johnell,
Maria Andersson, Johanna Tengdelius-
Brunell, Jonas German, Elin Sjökvist, Maria
Rasmusson, Ulrika Harbman, Elinor
Andersson (2017)
Vattennivåer, tappningar, vattentemperatur
och is i Vänern Beräkningar för dagens och
framtidens klimatförhållanden
45. Sofie Schöld, Cajsa-Lisa Ivarsson, Signild
Nerheim och Johan Södling (2017)
Beräkning av högsta vattenstånd längs
Sveriges kust
46. Katarina Stensen, Johanna Tengdelius-
Brunell, Elin Sjökvist, Elinor Andersson,
Anna Eklund (2017)
Vattentemperaturer och is i Mälaren
Beräkningar för dagens och framtidens
klimatförhållanden
47. Jonas Olsson, Peter Berg, Lennart Wern,
Johan Södling, Lennart Simonsson,
Wei Yang, Anna Eronn (2017)
Extremregn i nuvarande och framtida klimat
– Analyser av observationer och
framtidsscenarioer.
48. Signild Nerheim, Sofie Schöld, Gunn
Persson och Åsa Sjöström (2017)
Framtida havsnivåer i Sverige



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

ISSN 1654-2258