

RAPPORT NR 2020-44

Mälaren och aktuellt kunskapsläge om framtida havsnivåer



Pärmbild.

Vy över havet från fartyget Svea. Foto: Ola Kalén

Författare:

**Andersson M., Kalén O,
Jonsson A.**

Uppdragsgivare:

Länsstyrelsen Västmanland

Granskningsdatum:

**2020-09-28
2020-09-29**

Granskare:

**S. Schöld
S. Åström**

Dnr:

2020/320/9.5

Version:

V1.2

Uppdragstagare

**SMHI
601 76 Norrköping**

Projektansvarig

**Maria Andersson
031-751 89 04
maria.andersson@smhi.se**

Uppdragsgivare

**Länsstyrelsen i Västmanlands län

721 86, Västerås**

Kontaktperson

**Måns Enander
010-224 92 47
Mans.Enander@lansstyrelsen.se**

Distribution

**Länsstyrelsen Västmanland, Måns Enander
Länsstyrelsen Stockholm, Linda Holmström**

Klassificering

() Allmän (x) Affärssekretess

Nyckelord

Kunskapsläge framtida havsnivåer, Mälaren, IPCC

Övrigt

I tillägg till denna rapport ingår Bilaga 1 och Bilaga 2.

Denna sida är avsiktligt blank

Innehållsförteckning

1	SAMMANFATTNING	7
2	BAKGRUND OCH SYFTE	10
3	FAKTA OM MÄLAREN.....	11
4	SMHIS UPPDRAG INOM KLIMATANPASSNINGSSOMRÅDET	12
5	GENOMGÅNG AV TIDIGARE RAPPORTER.....	14
5.1	Mälaren om 100 år	14
5.2	Mälarens och Saltsjöns framtid i ett brett perspektiv.....	15
5.3	Mälarens nivå vid olika höjning av havets medelnivå i tidsperspektivet fram till år 2200	16
6	NUVARANDE FORSKNINGSLÄGE.....	18
6.1	Bakgrund.....	18
6.2	Havet och kryosfären i ett förändrat klimat – IPCC 2019	19
6.3	Bakomliggande processer	21
6.4	Avsmältning av inlandsisar och glaciärer.....	21
6.5	Utveckling av havsnivåprognoser mellan IPCC 2013 och IPCC 2019 ..	22
6.6	Havsnivåhöjning bortom 2100.....	23
7	ADMINISTRATIVA FÖRUTSÄTTNINGAR	24
8	MEDELVATTENSTÅND I STOCKHOLM I FRAMTIDA KLIMAT.....	25
8.1	Medelvattenståndets nettoförändring	25
8.2	Medelvattenståndet i RH2000	28
9	JÄMFÖRELSE MED DE TIDIGARE RAPPORTERNA.....	30
10	SLUTSATSER OCH STÅNDPUNKTER.....	33
10.1	Fysiska förutsättningar	33
10.2	Administrativa förutsättningar	33
11	REFERENSER	35
11.1	Webbplatser.....	38

Denna sida är avsiktligt blank

1 Sammanfattning

Länsstyrelserna runt Mälaren har genomfört ett omfattande arbete kring Mälaren om 100 år. Bakgrunden till arbetet är att en havsnivåhöjning till följd av ett förändrat klimat kan komma att förändra nivåskillnaden mellan Mälaren och Saltsjön. En lägre nivåskillnad kan begränsa möjligheten till avtappning och medföra att översvänningsrisken runt Mälaren ökar. En havsnivåhöjning kan även medföra ökad risk för saltvatteninträngning vilket kan orsaka problem med Mälaren som dricksvattentäkt.

Länsstyrelserna runt Mälaren har låtit ta fram rapporter och material som belyser regionens utsatta läge. Mot bakgrund av detta har Länsstyrelserna skickat in två skrivelser till regeringen med uppmaning om att tillsätta en omfattande utredning av riskerna och beskriva behovet av åtgärder för att säkra regionens framtid inför den utmaning som en global havsnivåhöjning skulle innebära. Länsstyrelserna önskar nu uppdatera kunskapsläget om hur Mälaren kan påverkas av stigande havsnivåer. Därtill önskas svar på vilka initiativ som regeringen och nationella myndigheter har vidtagit sedan Länsstyrelserna skickade in den senaste skrivelsen och på så vis identifiera kvarstående frågor.

SMHI har därför tillfrågats av Länsstyrelserna runt Mälaren att granska tre rapporter utifrån nuvarande kunskapsläge om framtida havsnivåhöjning. Två av rapporterna har tagits fram av de berörda Länsstyrelserna och en av rapporterna har tagits fram av SMHI, på uppdrag av Länsstyrelserna. De tre rapporterna är följande;

1. Mälaren om 100 år – förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden (Länsstyrelserna, 2011)
2. Mälarens och saltsjöns framtid i ett brett perspektiv – dricksvatten, bebyggelse, ekosystem (Frost m.fl., 2013).
3. Mälarens nivå vid olika höjning av havets medelnivå i tidsperspektivet fram till år 2200 (Andréasson m.fl., 2014)

Granskningen av rapporterna avser huruvida kunskapsläget om havsnivåhöjningen i ett framtida klimat har förändrats under de år som gått sedan publicering av de ovan nämnda rapporterna.

De två rapporterna från Länsstyrelserna utgår båda från bedömningen att en global havsnivåhöjning på ungefär 1 meter från 1990 till 2100 var en rimlig övre gräns. I den senare (Frost m.fl., 2013) gjordes även antagandet om en global havsnivåhöjning på 2 meter till 2200 för att illustrera en möjlig fortsatt utveckling bortom 2100.

Även i SMHIs rapport från 2014 utgår från bedömningen att en global havsnivåhöjning på ungefär 1 meter från 1990 till 2100 som en rimlig övre gräns. Därtill gjordes fem antaganden om en global havsnivåhöjning på 2-3 meter till 2150 och 2-4 meter till 2200.

Nivåerna avsåg ett globalt medelvärde. De havsnivåhöjningar som sträckte sig bortom år 2100 föreslogs av Länsstyrelserna och SMHI lade ingen värdering i dessa. Det framhölls att osäkerheterna kring havets nivå var väldigt stora i tidsperspektivet fram till år 2100 och ännu större längre in i framtiden.

Hösten 2019 publicerade FN:s mellanstatliga klimatpanel (IPCC) specialrapporten Havet och kryosfären i ett förändrat klimat (IPCC, 2019). I den rapporten beskrivs klimatförändringarna utifrån olika utsläppsscenarioer, så kallade RCP-scenarioer. RCP2,6 är det utsläppsscenario som leder till lägst havsnivåhöjning och RCP8,5 är det utsläppsscenario som leder till högst havsnivåhöjning, däremellan ligger utsläppsscenarioet RCP4,5. Utsläppsscenarioet RCP2,6 förutsätter att koldioxidutsläppen kraftigt begränsas från och med nu, under RCP4,5 ökar koldioxidutsläppen något och kulminerar omkring år 2040 medan RCP8,5 kortfattat innebär ett fortsatt stort beroende av fossila bränslen och ökande utsläpp. Det görs ingen värdering om vilket scenario som är mest troligt.

Enligt IPCC 2019 kan den globala havsnivåhöjningen bli mellan 0,3 och 1,1 m utifrån det som bedöms som ett sannolikt intervall av det lägsta respektive det högsta utsläppsscenarioet fram till år 2100. Samtidigt framhåller IPCC att osäkerheten är stor och en global havsnivåhöjning med 2 meter till år 2100 inte kan uteslutas. Med sannolikt intervall avses det intervall i vilket värdet ligger med en sannolikhet på 66 %. Detta innebär att det är 17 % sannolikhet att värdet ligger över respektive under

den övre respektive nedre gränsen av det sannolika intervallet. Sannolikheten att utvecklingen av växthusgaser skulle följa något av de olika RCP-scenarierna bedöms inte av IPCC.

Sannolika intervall för global havsnivåhöjning fram till år 2300 anges i specialrapporten (IPCC, 2019) men IPCC framhåller tydligt att projektioner på längre tidsskalor är mycket osäkra.

Mot bakgrund av nuvarande kunskapsläge om framtida havsnivåer enligt IPCC 2019 och de uppgifter om global havsnivåhöjning i ett framtida klimat som använts i de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl. 2014) har en jämförelse gjorts. Slutsatserna och rekommendationerna sammanfattas enligt följande:

- En global havsnivåhöjning på 1 meter fram till 2100 kan inte, utifrån dagens kunskapsläge, ses som en övre gräns.
 - Den tidigare bedömningen om en global havsnivåhöjning på 1 m till 2100 som en övre gräns baserades på dåvarande kunskapsläge. Framförallt har forskningen ökat förståelsen för processerna som förknippas med avsmältningen av istäcket på Grönland och Antarktis.
- En global havsnivåhöjning på 2 meter till år 2100 kan inte uteslutas (IPCC, 2019).
- Det råder fortsatt enighet om att havet stiger och kommer att fortsätta stiga långt bortom 2100.
 - Havet kommer att fortsätta att stiga bortom 2100 på grund av fortsatt värmeupptag i haven och massförlust av is på Grönland och Antarktis och nivåerna kommer förbli höga i tusentals år.
- De uppgifter om global havsnivåhöjning som använts i de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl. 2014) ligger närmast de framtida havsnivåhöjningar som följer det utsläppsscenario som leder till högst havsnivåhöjning, RCP8,5 (IPCC, 2019).
 - En global havsnivåhöjning på 1 meter till 2100 ligger ca 10 cm under den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt utsläppsscenario RCP8,5 (IPCC, 2019).
 - Jämfört med utsläppsscenario RCP4,5 ligger en global havsnivåhöjning på 1 meter till 2100 ca 30 cm högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet (IPCC, 2019).
 - I det längre tidsperspektivet hamnar de tidigare antagandena om en global havsnivåhöjning på 2-3 meter till år 2150 samt 2-4 meter till år 2200 över det sannolika intervallet enligt det lägre utsläppsscenario RCP4,5 (IPCC, 2019).
 - Enligt det högsta utsläppsscenario RCP8,5 hamnar däremot de lägre nivåerna av de tidigare antagandena inom det sannolika intervallet medan de högre nivåerna ligger över det sannolika intervallet.
- Mälaren som dricksvattentäkt och översvämningsrisken för Mälaren i framtida klimat är beroende av utvecklingen av den globala havsnivåhöjningen. Den globala havsnivåhöjningen beror i hög grad på hur politiker och beslutsfattare globalt lyckas hantera och begränsa utsläppen av växthusgaser.
- Varken IPCC eller SMHI bedömer sannolikheten att utvecklingen av växthusgaser skulle följa något av de olika RCP-scenarierna. SMHI lägger heller ingen värdering i vilket RCP-scenario som används vid planering.
- Det finns inga nationella beslut om vilket utsläppsscenario som ska ligga till grund för samhällets utveckling och anpassning i Sverige. En vägledande princip från den Nationella strategin för klimatanpassning är att vid riskvärdering och planering av anpassningsåtgärder bör ett framtida klimat analyseras utifrån olika utsläppsscenarioer och beakta flera möjliga utfall utifrån dessa. Det är viktigt att väga in andra faktorer såsom acceptabel risk, vilka värden som står på spel, det planerade objektets livslängd samt framtida möjligheter att anpassa sig till nya förutsättningar. Det ingår inte i SMHIs roll som expertorgan att bedöma vad som är acceptabel eller oacceptabel risk.
- Kunskapsutvecklingen är snabb och skattningar av framtida havsnivåer behöver uppdateras när ny konsensusbaserad information presenteras. SMHI bevakar fortlöpande kunskapsläget och tar fram nationell information om framtida havsnivåer. De uppgifter om framtida havsnivåer som anges i denna rapport kommer att behöva uppdateras. Nästa sammanställning

från IPCC väntas redan nästa år. SMHI rekommenderar att Länsstyrelserna fortlöpande följer denna kunskapsutveckling.

När det gäller vilka initiativ som regeringen och nationella myndigheter har vidtagit sedan Länsstyrelserna skickade in den senaste skrivelsen år 2015 kan det konstateras att inget av de identifierade uppdragen täcker på ett uppenbart sätt in riskerna kring Mälaren post -2100 eller beskriver behovet av åtgärder för att säkra regionens framtid inför den utmaning som ett stigande världshav innebär.

I det stora hela kan sägas att samtliga uppdragsansvariga i sitt arbete verkar ha mött svårigheter i att omfamna frågorna om havsnivåhöjning generellt, om havsnivåhöjning post-2100 i synnerhet, och effekter av detta på Mälaren post-2100 specifikt. I vissa fall beror detta på otydliga instruktioner för uppdragen, i andra på att det hittills saknats konsensusbaserat underlag om havsnivåhöjning bortom år 2100. Därtill är det underlag om havsnivåhöjning som finns mycket begränsat och mycket osäker (Figur 1) och regionala nedskalningar saknas i form av regionala klimatmodeller. En fråga för framtiden blir då hur dessa svårigheter kan mildras, eftersom begränsad datatillgång och stora osäkerheter i tillgänglig data även i fortsättningen kommer att vara det som finns tillgängligt att arbeta med.

2 Bakgrund och syfte

Länsstyrelserna runt Mälaren har de senaste åren genomfört ett omfattande arbete kring Mälaren om 100 år. Bakgrunden till arbetet är att en havsnivåhöjning till följd av ett förändrat klimat kan komma att förändra nivåskillnaden mellan Mälaren och Saltsjön. En lägre nivåskillnad kan begränsa möjligheten till avtappning och medföra att översvämningensrisken runt Mälaren ökar. En havsnivåhöjning kan även medföra ökad risk för saltvatteninträngning vilket kan orsaka problem med Mälaren som dricksvattentäkt.

Länsstyrelserna runt Mälaren har låtit ta fram rapporter och material som belyser regionens utsatta läge;

- Mälaren om 100 år – förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden (Länsstyrelserna, 2011)
- Mälarens och saltsjöns framtid i ett brett perspektiv – dricksvatten, bebyggelse, ekosystem (Frost m.fl., 2013).

Mot bakgrund av dessa rapporter har Länsstyrelserna skickat in två skrivelser till regeringen med uppmaning om att tillsätta en omfattande utredning av riskerna och beskriva behovet av åtgärder för att säkra regionens framtid inför den utmaning som en global havsnivåhöjning skulle innebära. Länsstyrelserna är nu i behov av att komplettera de uppgifter som finns i de framtagna rapporterna med ny fakta.

När det gäller **fysiska förutsättningar** är önskemålet att svar på hur Mälaren påverkas av stigande nivåer i Östersjön på lång sikt, till år 2200.

SMHI har tillfrågats att genomföra en granskning av de ovan nämnda rapporterna för att granska fakta mot senaste kunskapsläget avseende havsnivåhöjning. Därtill önskas genomgång av SMHI:s rapport 2014-3, *Mälarens nivå vid olika höjning av havets medelnivå i tidsperspektivet fram till år 2200* (Andréasson m.fl., 2014), för att kontrollera även dess faktainnehåll med avseende på havsnivåhöjning.

SMHI har därför, på uppdrag av Länsstyrelserna runt Mälaren, åtagit sig att genomföra granskning och kvalitetssäkring av ovan nämnda rapporter (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) avseende huruvida kunskapsläget om havsnivåhöjningen i ett framtida klimat fram till år 2200 har förändrats under de år som gått sedan publicering av de tre rapporterna.

Länsstyrelserna önskar även en genomgång av SMHI:s slutsatser och eventuella ståndpunkter gällande nuvarande kunskapsläge om havsnivåhöjning i framtida klimat i förhållande till de tre ovannämnda rapporterna.

Att vidare utreda hur stigande havsnivåer kan påverka Mälaren ligger utanför detta uppdrag. Fokus för denna utredning är nuvarande kunskapsläge avseende havsnivåhöjning i framtida klimat i relation till de tre ovannämnda rapporterna.

När det gäller **administrativa förutsättningar** kartläggs vilka initiativ som regeringen och nationella myndigheter har vidtagit sedan Länsstyrelserna skickade in den senaste skrivelserna och därmed identifiera kvarstående frågor.

Utöver en uppdatering av kunskapsläget gällande fysiska och administrativa förutsättningar önskas en kort presentation av SMHI:s uppdrag inom klimatanpassningsområdet och eventuella för sammanhanget relevanta uppdrag.

3 Fakta om Mälaren

Vattennivå i Mälaren

Mälarens avrinningsområde är cirka 22 600 km² stort. Inom avrinningsområdet ligger Stockholms län och delar av Uppsala, Västmanland, Örebro, Dalarna och Södermanlands län.

Mälarens medelnivå i RH2000 är 0,86 meter (4,17 i Mälarens höjdsystem, 0,33 i RH1900 och 0,69 meter i RH70). Medelvärdet baseras på perioden 1968-2018.

Det lägsta och högsta vattenstånd som uppmätts i Mälaren är 0,13 och 2,26 meter i RH2000. Båda nivåerna mättes innan regleringen. Det lägsta vattenståndet uppmättes den 5 november 1939 och det högsta den 15 januari 1853 (SMHI, 2020).

Flöde från Mälaren

Det totala flödet från Mälaren är summan av flödet från åtta tappningsställen. De åtta ställena är Riksbron, Stallkanalen, Avtappningskanalen Karl Johan, Kulverten Skanstull, Slussen Karl Johan, Slussen Hammarby, Slussen Södertälje och Kulverten Södertälje.

Hur mycket vatten som går att få ut från Mälaren beror på förhållandet mellan Mälarens vattennivå och Saltsjöns vattennivå. Ju större nivåskillnaden är desto mer vatten går det att få ut. I dagsläget är tappningskapaciteten, alltså den mängd vatten som man kan få ut ur Mälaren till Saltsjön, maximalt dryga 800 m³/s. Med den nya slussen som byggs kommer tappningskapaciteten att öka till 2000 m³/s (Stockholms stad, 2017).

Reglering av Mälaren

Mälarens första vattendom kom 1941 men sjön började inte regleras förrän 1943. Syftet med regleringen var att motverka översvämningar av jordbruksmark. Man ville också höja de låga vattenstånden dels för att minska risken för fartygen att gå på grund och dels för att undvika saltvatteninträngning. En fullständig reglering av Mälaren tillkom år 1960 i samband med att även Stallkanalen började regleras.

Resultatet av den första regleringen blev att de höga vattenstånden minskade som planerat. Men de låga vattennivåerna blev ännu lägre. Därför fastslogs nya regleringsbestämmelser 1966 som började tillämpas under 1968.

Idag finns en ny vattendom som gäller från 2015 och bygger på en regleringsstrategi som togs fram inom Slussen-projektet. Strategin tar hänsyn till olika intressen för Mälaren och har som huvudsyfte att:

1. Minska risken för översvämning runt Mälaren
2. Minska risken för låga vattennivåer i Mälaren
3. Förhindra saltvatteninträngning

Regleringen ska också eftersträva att sänka vattenhastigheterna för att begränsa erosion på bottnar och anläggningar samt minska påverkan på sjöfarten uppströms och nedströms Slussen.

Driften av regleringen sköts av Stockholms Hamn AB på uppdrag av Stockholms Stad. SMHI är kontrollant av regleringen och sköter tillsyn av regleringen så att vattendomen följs (SMHI, 2020).

4 SMHIs uppdrag inom klimatanpassningsområdet

Den nationella klimatanpassningsstrategin

I mars 2018 presenterade regeringen en nationell strategi för klimatanpassning. Strategin omfattar Sveriges mål med klimatanpassning, vägledande principer för arbetet, organisation och ansvarsfördelning, uppföljning, finansieringsprincip samt kunskapshöjande insatser. Den nationella klimatanpassningsstrategin ska uppdateras vart femte år (Klimatanpassning, 2020).

SMHIs uppdrag

SMHI tillhandahåller planerings- och beslutsunderlag för väder- och vattenberoende verksamheter. Myndigheten fungerar som samhällets expertorgan inom meteorologi, hydrologi, oceanografi och klimatologi samt är en resurs i miljöarbetet (Regeringskansliet). SMHI som myndighet ska tillhandahålla det vetenskapliga kunskapsunderlaget men överlåta ställningstagande till andra aktörer.

Det pågår ett stort arbete med att ta fram underlag som ska underlätta för klimatanpassning. De regeringssuppdrag som SMHI blivit tilldelade för året 2020 är följande (Klimatanpassning, 2020):

- SMHI driver Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning. I detta ingår att samla, sprida och tillgängliggöra kunskap om klimatanpassning, ta fram beslutsunderlag, information och publikationer samt delta i utåtriktade aktiviteter, internationella möten och genomföra omvärldsbevakning. SMHI tilldelas också medel för verksamhet vid Nationella expertrådet för klimatanpassning.
- Regeringen tilldelar medel för SMHI:s arbete med förebyggande och kunskapshöjande insatser för klimatanpassning. Insatserna ska syfta till att öka tillgången till klimatinformation och beslutsunderlag om klimatanpassning för att därmed stödja länsstyrelser, kommuner och regioner med anpassning till ett förändrat klimat.
- SMHI har i uppdrag att utveckla ett system för uppföljning och utvärdering av det nationella arbetet med klimatanpassning i enlighet med vad som aviserades i den Nationella strategin för klimatanpassning.

Nationellt expertråd för klimatanpassning

I samband med regeringens nationella klimatanpassningsstrategi tillsattes det nationella expertrådet för klimatanpassning. Expertrådet har en rådgivande funktion till regeringen och ska vart femte år besluta om en rapport som är underlag för den nationella klimatanpassningsstrategin. Rapporten ska innehålla förslag på inriktning av det nationella arbetet för klimatanpassning, en prioritering av anpassningsåtgärder utifrån en bedömning av risk, kostnad och nytta, en sammanfattande analys av klimatförändringens effekter på samhället, samt en uppföljning och utvärdering av det nationella arbetet med klimatanpassning. Den första rapporten ska lämnas till regeringen senast den 31 december 2021. Som underlag för rådets arbete beställer rådet löpande kunskapsunderlag från rådets sekretariat och från konsulter. Rådet är knutet till SMHI och här finns ett sekretariat som har till uppgift att bistå expertrådet. Sekretariatet ska bereda ärenden för rådet, verkställa rådets beställningar och i övrigt administrera rådets verksamhet (Klimatanpassningsrådet).

Olika myndigheter ansvarar för stöd och hjälp inom olika sektorsfrågor. Myndigheternas befogenheter varierar från att endast vara stödjande till att vara föreskrivande (Klimatanpassning, 2020).

Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning

Förutom nationellt expertråd för klimatanpassning finns även Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning. SMHI driver centrumet på uppdrag av regeringen. Uppgiften är att underlätta för samhällets aktörer att förstå vad klimatanpassning innebär och varför det är viktigt att arbeta med frågan, att hitta relevant information från statliga myndigheter och forskning inom området, samt att få kunskap om hur man kan arbeta med klimatanpassning (Klimatanpassning, 2020).

Kunskapscentrumets roll är att vara en nod för kunskap om klimatanpassning samt att vara en mötesplats för aktörer i samhällets klimatanpassning. Centrumet samlar in, utvecklar och tillgängliggör kunskap som tas fram regionalt, nationellt och internationellt om klimatanpassning.

Centrumets arbete med att samla in, utveckla och tillgängliggöra kunskap omfattar främst beslutsunderlag för klimatanpassning, goda exempel, information om riskhantering och information om sårbarhet samt omvandling av forskning till tillämpning (SMHI).

Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning driver Klimatanpassning.se, som är ett samarbete mellan en rad myndigheter. Webbplatsen är ett stöd för dem som arbetar med att anpassa samhället till klimatförändringar ([Klimatanpassning.se](https://www.klimatanpassning.se)).

Myndighetsnätverket för klimatanpassning, som står bakom Klimatanpassning.se, består av 24 myndigheter med sektors- eller informationsansvar för hur samhället påverkas av nutida och framtida klimat, samt 21 länsstyrelser som ansvarar för samordning av klimatanpassningsarbetet på regional nivå. Utöver myndigheter ingår även Sveriges Kommuner och Regioner (SKR). Nätverkets sekretariat finns på SMHI (Klimatanpassning, 2020).

Myndigheterna i nätverket arbetar tillsammans för att stärka samhällets förmåga att hantera effekterna av klimatförändringarna. Aktörerna bakom Klimatanpassning.se har ett fortgående samarbete med de olika nordiska klimatanpassningsportalerna samt kontakter gentemot EUs klimatanpassningsportal (Klimatanpassning, 2020).

Expertfunktion inom stigande havsnivåer

Utöver SMHIs roll inom Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning gav regeringen i sitt regleringsbrev 2018 SMHI i uppdrag att bygga upp en expertfunktion om stigande havsnivåer i Sverige. En avdelningsövergripande kompetensgrupp har därefter etablerats på SMHI. Gruppens syfte är att samla och utöka SMHIs kompetens om stigande havsnivåer och dess påverkan på Sveriges kuster och är ett sätt att möta samhällets behov av information kring framtida havsnivåer. SMHI som myndighet ska tillhandahålla det vetenskapliga kunskapsunderlaget men överlåta ställningstagande till andra aktörer. SMHIs expertfunktion inom stigande havsnivåer arbetar exempelvis med att följa och ta fram synteser av kunskapsläget, tillgängliggöra data och viss statistik och svara på generella frågor om stigande havsnivåer främst från andra myndigheter men även från andra användare.

5 Genomgång av tidigare rapporter

Inom ramen för detta uppdrag skall tre rapporter granskas utifrån nuvarande kunskapsläge om framtida havsnivåhöjningar. I efterföljande avsnitt, 5.1-5.3, presenteras en kortfattad genomgång av rapporternas respektive innehåll med fokus på framförallt framtida havsnivåhöjning.

5.1 Mälaren om 100 år

Rapporten *Mälaren om 100 år* från 2011 är en förstudie som lyfter frågan om Mälaren som dricksvattentäkt även nästa sekel (Länsstyrelserna, 2011). Syftet med förstudien var att lyfta frågan om ett stigande hav och Mälaren som dricksvattentäkt på den politiska dagordningen.

Studien identifierade tre möjliga vägval för att anpassa Mälaren mot ett stigande hav avseende dricksvattenfrågan, vilka är följande:

- Nollalternativet, en havsvik som kräver alternativ dricksvattentäkt.
- Höja Mälaren i samma takt som havet.
- Bygga barriärer och vallar i skärgården.

Alla alternativ utgick från att nya Slussen, med dess planerade avtappningskapacitet och reglering genomförs.

Vidare lyfter studien att nivåskillnaden mellan Mälaren och Saltsjön är avgörande. Om nivåskillnaden är liten begränsas möjligheten till avtappning, och om nivåskillnaden är noll blir även utflödet från Mälaren noll. Översvämningsrisken runt Mälaren berodde då (2011) på möjligheten att tappa vatten från Mälaren. På 50 års sikt bedömdes det vara extremt höga tillflöden som skulle utgöra störst översvämningsrisk för Mälarenregionen, medan det på längre sikt (50-200 år) bedömdes troligt att havsnivåhöjningen skulle leda till ökande översvämningsproblem på grund av bristande möjlighet att tappa vatten från Mälaren. Utöver ökad översvämningsrisk skulle havsnivåhöjningen även medföra att Saltsjöns nivå skulle bli högre än Mälarens och risken för saltvatteninträngning öka.

Vidare lyfter studien att Mälarens medelnivå 2011 var 0,67 m över medelnivån i Saltsjön. När nivån i Saltsjön är högre än i Mälaren strömmar saltvatten in i Mälaren. Mängderna har efter den fullständiga regleringen år 1960 varit relativt måttliga. Risken för saltvatteninträngning ökar med minskad nivåskillnad.

Förstudien tog avstamp i och avgränsades till att den globala havsnivåhöjningen kunde bli 1 meter mellan 1990 och 2100 och 0,3 meter fram till 2050. Det skulle innebära att medelvattenståndet i Saltsjön år 2050 skulle passera det medelvattenstånd som rådde 1990. Efter det skulle marginalen mellan Mälaren och Saltsjön att börja minska.

En global havsnivåhöjning på ca 1 meter från 1990 till 2100 skulle innebära en havsnivåhöjning på ca 0,5 meter, med landhöjningen inräknad, för Saltsjön. Nivåskillnaden mellan Mälaren och Saltsjön skulle då bli endast 0,2 meter.

Därtill lyftes att SMHI:s känslighetsanalyser av den nya avtappningskapaciteten och regleringen i ett framtida klimat pekade på att en havsnivåhöjning på globalt 1 meter var hanterbar under normal drift (Andréasson m.fl., 2011). Däremot måste de kulvertar som alltid har förbindelse med Mälaren kunna stängas för att undvika saltvatteninträngning (Stensen m.fl., 2010). Vidare ansågs att risken för översvämningsvar var oacceptabelt stor och att den nya avtappningskapaciteten för Mälaren behövdes.

5.2 Mälarens och Saltsjöns framtid i ett brett perspektiv

För att lyfta frågan om Mälaren som dricksvattentäkt på lång sikt ytterligare skickades förstudien från 2011 *Mälaren om 100 år* till regeringen hösten 2012, tillsammans med en skrivelse från Mälarlänens landshövdingar. Skrivelsen förespråkade att ta initiativ till ett fördjupat utredningsuppdrag för att utreda förutsättningarna för Mälaren som dricksvattentäkt i framtiden. Det presenterades ett förslag på en struktur bestående av en huvudstudie i följande sex faser:

- **Fas 1:** Inledning – problemidentifiering och identifiering av aktörer
- **Fas 2:** Hotbilda-beskrivning och konsekvensanalyser
- **Fas 3:** Åtgärdsstrategier
- **Fas 4:** Konsekvensanalyser av åtgärder
- **Fas 5:** Samhällsekonomiska analyser av åtgärder och dess konsekvenser
- **Fas 6:** Analys av finansieringsmöjligheter

Skrivelsen föreslog att regeringen tar initiativ till en huvudstudie utifrån förstudien och det kartläggningsarbete av problemidentifiering och identifiering av aktörer som länsstyrelserna startade hösten 2012 (fas 1).

Rapporten *Mälarens och Saltsjöns framtid i ett brett perspektiv* från 2013 avhandlar arbetet med fas 1 i skrivelsen till regeringen (Frost m.fl., 2013). Syftet var följande:

- Ringa in och koncentrera problemställningen som grund för ett fortsatt framtida arbete med de övriga faserna.
- Identifiera aktörer och kompetenser av vikt för frågan
- Ge förslag till fortsatt tillvägagångssätt för fas 2-6
- Upparbeta en grundläggande kunskap inom egen organisation och hos berörda aktörer för att kunna driva frågan vidare
- Öka kompetensen inom området genom en omvärldsanalys av liknande problemställningar och erfarenheter från andra länder.

Det poängterades att kartläggningen inte gjorde anspråk på att vara heltäckande. Arbetet syftade inte till att ge svar på de olika diversifierade frågeställningarna eller till att ge underlag till andra parallella Mälärprojekt.

Inom projektet genomfördes tre workshoppar (med delvis olika fokus) med specialister samt interna möten. Därtill utfördes en omvärldsanalys i form av en litteraturstudie som resulterade i rapporten *Omvärldsanalys – Hur har Köpenhamn och Rotterdam arbetat med klimatanpassning?*

Fokus för workshopparna (WS) var:

- **WS 1:** Hur påverkas Mälaren, dess värden och omgivning av ett stigande hav? Vad kan göras för att säkra dricksvattenförsörjningen? Vilka konsekvenser innebär åtgärderna?
- **WS 2:** Vad saknas för att förstå hotet? Vilken kunskap behövs om hotet/klimatet för att göra konsekvensanalyser av systemet? Vilken kunskap om systemet saknas för att göra konsekvensanalyser av hot och/eller åtgärd? Vilka konsekvensanalyser behöver göras?
- **WS 3:** Vilka blir konsekvenserna för olika system? Krävs följdåtgärder? Beskriv behov av analyser och kompetenser.

Ett resultat från de genomförda workshopparna är en tydligt tudelad hotbild: permanent höjd havsnivå och högvatten med risk för inströmning av saltvatten å ena sidan och förändrad markavrinning och tillflöden till Mälaren å den andra.

Med avseende på framtida havsnivåer utgår Länsstyrelsen från uppgifter som anges i rapporten *Regional klimatsammanställning – Stockholms län* (Stensen m.fl., 2010). Där anges bland annat att internationell forskning visar att en rimlig övre gräns för hur mycket havsnivån kan komma att stiga mellan 1990 och 2100 var ungefär en meter, sett som ett globalt medelvärde. Därtill hänvisas det till att det gjorts samma bedömning i SMHIs underlag inom Projekt Slussen (Andréasson m.fl., 2011) och även i den rapport som SMHI publicerade om det internationella kunskapsläget avseende framtidens havsnivåer (Bergström, 2012). Utifrån detta drog Länsstyrelsen slutsatsen att den tidigare bedömningen stod sig. Därtill gjordes, som en illustration av den fortsatta utvecklingen bortom 2100,

antagandet om en global havsnivåhöjning på två meter fram till år 2200. Antagandet baserades på att exempelvis holländska bedömningar pekade på en global havsnivåhöjning på två till fyra meter till år 2200 (Bergström, 2012).

5.3 Mälarens nivå vid olika höjning av havets medelnivå i tidsperspektivet fram till år 2200

Utredningen *Mälarens nivå vid olika höjning av havets medelnivå i tidsperspektivet fram till år 2200* från år 2014 utfördes av SMHI på uppdrag av Länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands, Västmanlands och Uppsalas län (Andréasson m.fl., 2014). Uppdraget syftade till att bedöma vilka effekter på Mälarens nivåer som stigande havsnivåer kan få om havet stiger med 2-4 m fram till år 2200.

Inledningsvis sammanställdes kunskapsläget om framtidens havsnivåer som sträcker sig till 2200. Sammanställningen utgick från det material som samlades in under arbetet med rapporten *Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv-kunskapssammanställning 2012* (Bergström, 2012) med kompletteringar utifrån (i) vetenskapligt granskade artiklar, (ii) vetenskapliga sammanställningar och bedömningar, och (iii) nationella tolkningar av kunskapsunderlag avsedda som underlag för klimatanpassning (IPCC 2007; Deltacommissie 2008; Copenhagen Diagnosis 2009; Rummukainen m.fl., 2011; Katsman m.fl., 2011; Moss m.fl., 2010; Schaeffer m.fl., 2012; Meehl m.fl., 2012; World Bank 2012; Naturvårdsverket 2013). Det betonades att sammanställningen inte gjorde anspråk på att vara fullständig.

Vidare påpekades att det fanns ett mindre antal studier som sträckte sig 200 år eller längre fram i tiden, att materialet var inhomogent och att forskarna betonade den stora osäkerhet som rådde kring de uppgifter som publicerades.

Sammantaget gjordes antagandet att en övre gräns för hur mycket havsytan kan komma att stiga var ungefär 1 meter under perioden 1990-2100, sett som ett globalt medelvärde.

Därtill gjordes fem olika antaganden om den globala havsnivåhöjningen mellan år 2100 och 2200, vilka var följande:

- 2 m global havsnivåhöjning fram till 2200
- 3 m global havsnivåhöjning fram till 2200
- 4 m global havsnivåhöjning fram till 2200
- 2 m global havsnivåhöjning fram till 2150
- 3 m global havsnivåhöjning fram till 2150

Nivåerna avsåg ett globalt medelvärde. De havsnivåhöjningar som sträcker sig bortom år 2100 föreslogs av Länsstyrelserna och SMHI lade ingen värdering i dessa. Det framhölls att osäkerheterna kring havets nivå var väldigt stora i tidsperspektivet fram till år 2100 och ännu större längre in i framtiden. Därtill poängterades att olika processer och parametrar kan göra att den lokala förändringen av havsnivån kan komma att skilja sig från det globala medelvärdet.

Vidare antogs att stormfrekvensen inte kommer att förändras väsentligt jämfört med det historiska klimatet. Utifrån dessa antaganden beräknades framtida medelvattenstånd och extremnivåer för Stockholm.

Uppgifter om högsta (uppmätta) högvattenstånd och havsvattenstånd med en återkomsttid på 100 år presenterades dels för dagens klimat (2013) och för de olika scenarierna för havsnivåhöjning i ett framtida klimat (2100, 2150 och 2200).

Gällande Mälarens nivåer konstaterades att en utbyggnad av Mälarens tappningskapacitet, som planeras av Stockholm stad, kommer att kraftigt minska översvämningsriskerna längs Mälarens stränder under dagens klimat (Andréasson m.fl., 2011).

Det konstaterades att en begränsad avtappningsförmåga under kortare/tillfälliga perioder, till följd av högvattenhändelser i havet, inte har samma påverkan på Mälarens vattenstånd som ett mer långvarigt förhöjt medelvattenstånd i havet. Det har förekommit att havets nivå tillfälligt stigit till nivåer över Mälarens nivå (då Mälaren låg relativt lågt).

Därtill påtalades det att det inte fanns något klimatscenariounderlag som möjliggjorde att studera tillrinningsförändringar i ett längre tidsperspektiv än till slutet av innevarande sekel.

För bedömning av Mälarens framtida nivå var utgångspunkten de beräkningar som gjordes inom Projekt Slussen i tidsperspektivet fram till år 2100 och den regionala klimatanalys som SMHI utfört för Stockholms län, kompletterat med framtagna havsvattenstånd för Stockholm. Det påpekas att en förutsättning för bedömningarna är att den av projekt Slussen föreslagna tappningskapaciteten och regleringsstrategin gäller, vilket innebär att luckor kan stängas.

Den genomsnittliga vattenståndsskillnaden mellan Mälaren och havet var drygt 70 cm. När vattenståndsskillnaden mellan Mälaren och havet minskar kommer det att bli svårare att få ut vattnet från Mälaren och vattennivån i Mälaren kommer oftare att vara i den övre delen av det idag tillåtna intervallet 0,69 – 1,39 m i RH2000.

När medelvattenståndet i havet stiger blir det vanligare att havets nivå kortvarigt överstiger nivån i Mälaren, vilket medför att alla förbindelser mellan havet och Mälaren behöver kunna stängas för att förhindra saltvatteninträngning.

Extrema högvattenhändelser i havet har en kort varaktighet medan en högflödessituation i Mälaren pågår under flera veckor. En begränsad tappningsförmåga under en kortare period (del av dygn till dygn) påverkar inte Mälarens nivå nämnvärt, dvs. Mälaren hinner inte stiga så mycket under ett dygn.

Resultaten visade att en havsnivåhöjning i tidsperspektivet 2200 kan komma att få stor påverkan på Mälarens vattenstånd, vilket i sin tur kommer att leda till stora konsekvenser för hela Mälardalen.

6 Nuvarande forskningsläge

6.1 Bakgrund

Den moderna eran med vetenskapliga globala prognoser för vattenstånd startade i början av 1980-talet. Under de följande decennierna har förståelsen för processer som kontrollerar havsnivåhöjningen förbättrats och nya metoder har utvecklats. Trots över 100 studier förblir dock framtida global havsnivåhöjning djupt osäker. Även om de centrala uppskattningarna för det globala medelvärdet av havsnivåer varit relativt konsekventa under 2000-talet har intervallen av projicerade nivåer varierat kraftigt över tiden.

FN:s mellanstatliga klimatpanel, IPCC, etablerades 1988 med syftet att sammanställa det vetenskapliga kunskapsläget kring klimatförändringar, konsekvenser, sårbarhet och möjliga lösningar (About the IPCC, 2020). IPCC utför ingen egen forskning men tar bland annat fram utvärderingsrapporter. Utvärderingsrapporterna tas fram med hjälp från tusentals forskare och experter världen över och baseras på vetenskapliga artiklar. Den första utvärderingsrapporten från IPCC (FAR) färdigställdes 1990 och kom att utgöra grunden för den klimatkonvention som antogs 1992 (IPCC, 1990).

Bland studier som gav flera uppskattningar minskade intervallen för högre prognoser under 1980-talet fram till den tredje syntesrapporten (TAR) 2001 (Church m.fl., 2001), för att sedan för varje rapport stiga uppåt fram till och med IPCC 2019. Prognoser för havsnivåhöjning för höga utsläppsscenarioer från enskilda vetenskapliga studier är ofta högre än motsvarande projektioner från IPCC. Det finns flera orsaker till detta, bland annat att IPCC ofta fokuserat på smalare sannolikhetsintervallintervall än andra studier och även en tendens för IPCC:s konsensusbaserade tillvägagångssätt att resultera i konservativa resultat (Garner m.fl., 2018).

I den fjärde syntesrapporten från IPCC AR4 (Meehl m.fl., 2007) inkluderades i prognoserna ett stort positivt bidrag från termisk expansion (se avsnitt 6.3), med ytterligare positiva bidrag från glaciärer och inlandsisen på Grönland samt negativt bidrag från Antarktisk inlandsis på grund av projicerad ökad nederbörd. Författarna noterade att mycket osäkerhet kvarstod kring flödet av is på Grönlands och Västantarktisk inlandsisar. Trots att de primära AR4-prognoserna inte tog hänsyn till sådana bidrag, ansågs det att dessa processer skulle kunna öka framtida höjning avsevärt. Det identifierades ett behov av mer forskning om ämnet inlandsisarnas respons på fortsatt uppvärmning.

Efter fjärde utvärderingsrapporten publicerades ett flertal vetenskapliga artiklar som betonade risken för att världshavet kan komma att stiga i snabbare takt än vad IPCC angav 2007. Mot bakgrund av detta och innan IPCC:s femte utvärderingsrapport (Assessment Report 5, AR 5) fanns det ett behov av en kunskapssammanställning om framtidens havsnivåer, därav sammanställdes rapporten *Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012* (Bergström, 2012).

Rapporten var tänkt som ett underlag för bedömningar av hur framtidens havsnivåer påverkar Sveriges kustområden. Dokumentet syftade i första hand till att beskriva den vetenskapliga bakgrunden och att ge en bild av hur olika bedömningar varierade. Avsikten var inte att rekommendera vilka nivåer som skulle användas i samhällets planeringsprocess. Det poängterades att det krävs både en ingående dialog med de som är ansvariga för konsekvenserna samt att andra faktorer vägs in, såsom acceptabel risk, vilka värden som står på spel, det planerade objektets livslängd samt framtida möjligheter att anpassa sig till nya förutsättningar (Bergström, 2012).

Vid framtagandet av de två Länsstyrelserapporterna (Länsstyrelserna, 2011 och Frost m.fl., 2013) befann man sig efter AR4 och innan AR5 och använde sig av fler källor än IPCC gällande global havsnivåhöjning såsom Stensen m.fl., 2010 och Bergström 2012. I SMHI rapporten från 2010, (Stensen m.fl., 2010) görs bedömningen att *Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar som SMHI tagit del av på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde.*

Vid tiden för SMHIs utredning om Mälarens nivå vid olika havsnivåhöjningar (Andréasson m.fl., 2014) hade IPCC:s femte utvärderingsrapport nyligen publicerats. SMHI gjorde bedömningen att den globala havsnivåhöjningen utifrån alternativet med de högsta utsläppen av växthusgaser från AR5

stämde väl med den tidigare bedömningen att havet kan komma att stiga ungefär 1 m under perioden 1990-2100.

6.2 Havet och kryosfären i ett förändrat klimat – IPCC 2019

Det sjätte arbetsprogrammet (Assesment Report 6, AR6) pågår och inom detta tar IPCC fram flera specialrapporter och delrapporter med hjälp av underlag från tusentals forskare och experter världen över. De olika rapporterna sammanställs slutligen i en syntesrapport som ska publiceras 2022 (SMHI).

Under klimatpanelens arbete med den femte syntesrapporten (AR5) identifierades havet och kryosfären som ett område där en särskild genomlysning behövdes (IPCC, 2013). Hösten 2019 publicerades specialrapporten *Havet och kryosfären i ett förändrat klimat* (IPCC, 2019). Specialrapporten bekräftade i stort resultatet från AR5 med avseende på havsnivåhöjning, med undantag av projektioner för utsläppsscenarioet RCP8,5 där utökad kunskap om isdynamiken i Antarktis gav ett något högre resultat än tidigare. Till skillnad från AR5 innehåller specialrapporten projektioner av havsnivåhöjningen för en längre tidshorisont bortom 2100.

I rapporten *Havet och kryosfären i ett förändrat klimat* från IPCC beskrivs klimatförändringarna främst utifrån två olika klimatscenarier, så kallade RCP-scenarier; RCP2,6 och RCP8,5. Med RCP menas Representative Concentration Pathways vilka är scenarier över hur växthuseffekten kan komma att förstärkas i framtiden. RCP-scenarierna benämns utifrån den nivå av strålning drivning som uppnås år 2100 i W/m^2 . Exempelvis betyder RCP2,6 att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären genererar en strålning drivning på $2,6 W/m^2$ år 2100, jämfört med förindustriell nivå. Det görs ingen värdering om vilket scenario som är mest troligt. RCP8,5 innebär kortfattat ett fortsatt stort beroende av fossila bränslen och ökande utsläpp medan RCP2,6 förutsätter att koldioxidutsläppen kraftigt begränsas från och med nu. RCP8,5 är det utsläppsscenario som leder till högst havsnivåhöjning och RCP2,6 är det utsläppsscenario som leder till lägst havsnivåhöjning. Utöver RCP2,6 och RCP8,5 som visas i Figur 1 finns uppgifter om global havsnivåhöjning utifrån utsläppsscenarioet RCP4,5 som är mellan de två övriga scenarierna.

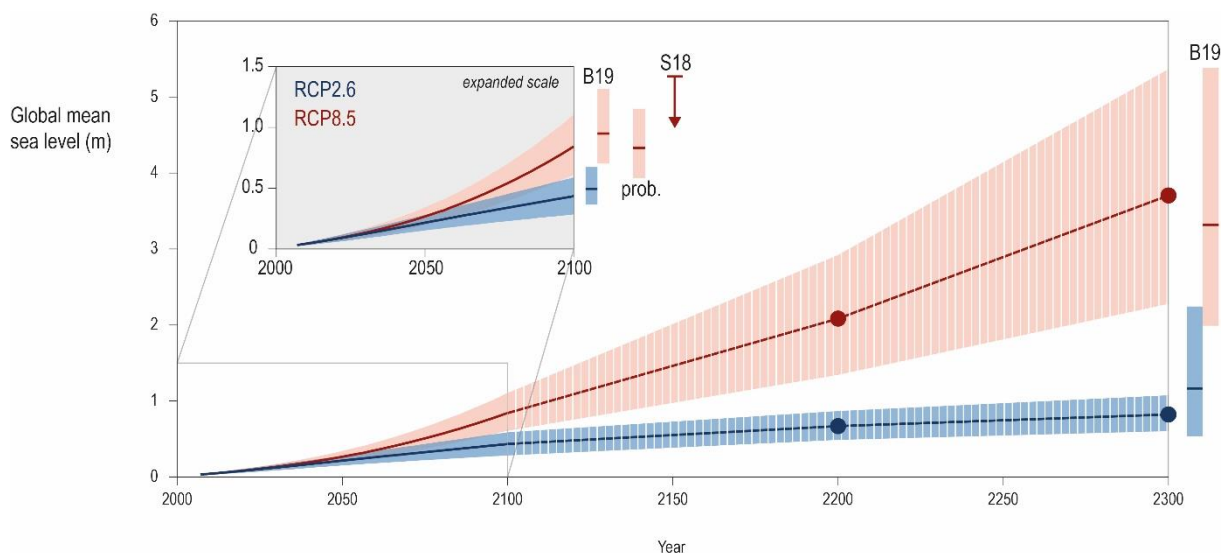
Enligt IPCC 2019 kan den globala havsnivåhöjningen bli mellan 0,3 och 1,1 m utifrån det som bedöms som ett sannolikt intervall av det lägsta respektive det högsta utsläppsscenarioet fram till år 2100. Samtidigt framhåller IPCC att osäkerheten är stor och en global havsnivåhöjning med 2 meter till år 2100 inte kan uteslutas.

Projektioner av den globala havsnivåhöjningen fram till 2300 visas i Figur 1 för utsläppsscenarierna med låga, RCP2,6, respektive höga, RCP8,5, utsläpp av växthusgaser. Medianvärden visas som heldragna/streckade linjer och *sannolikt* intervall som färgat område. Med *sannolikt* intervall avses det intervall i vilket värdet ligger med en sannolikhet på 66 %, se IPCC 2019 sidan 323, fotnot 1. Detta innebär att det är 34 % sannolikhet att värdet ligger utanför det sannolika intervallet och att det är 17 % sannolikhet att det ligger över respektive under den övre respektive nedre gränsen av det sannolika intervallet för varje RCP-scenario (IPCC, 2019). Sannolikheten att utvecklingen av växthusgaser skulle följa något av de olika RCP-scenarierna bedöms inte av IPCC.

Värdena som presenteras är en sammanvägning av resultatet från en rad olika processbaserade modellkörningarna och är behäftade med osäkerheter, vilka diskuteras i IPCC 2019. Sannolika intervall för global havsnivåhöjning fram till år 2300 anges i rapporten men IPCC framhåller tydligt att projektioner på längre tidsskalor är mycket osäkra. Det som främst kommer påverka havsnivåerna efter år 2100 beror på vad som händer med inlandsisarna på Grönland och framförallt Antarktis.

Uppgifter om det globala medelvattenståndets förändring i ett framtida klimat, median och sannolikt intervall, finns att ladda ner från IPCC (2019). Fram till 2100 finns uppgifter varje år, bortom 2100 finns endast uppgifter för 2200 och 2300. För att få fram uppgifter om det globala medelvattenståndet för år 2150 har data interpolerats linjärt mellan 2100 och 2200, uppgifterna kan även utläsas från Figur 1.

Uppgifter om den globala havsnivåhöjningen, median och sannolikt intervall, anges i Tabell 1 till Tabell 3 för de tre utsläppsscenarierna RCP2,6, RCP4,5 respektive RCP8,5.



Figur 1. Projektioner av global havsnivåhöjning till 2300. Infällningen visar en bedömning av det sannolika intervallet för projektionerna RCP2,6 och RCP8,5 fram till 2100. Projektioner för längre tidsskalor är mycket osäkra men intervall anges. Resultat utifrån olika tillvägagångssätt visas för 2100 och 2300. Staplarna benämnda "B19" representerar en expertbedömning av den Antarktiska komponenten (Bamber m.fl., 2019) och speglar det sannolika intervallet för en temperaturhöjning på 2°C till 5°C. Stapeln benämnd "prob." indikerar det sannolika intervallet av ett antal probabilistiska projektioner. Pilen indikerad som "S18" visar resultatet av en omfattande känslighetsanalys med en numerisk modell för det Antarktiska istäcket (Schlegel m.fl., 2018) kombinerat med resultatet från "B19" och "prob." med resultat från Church m.fl., (2013) för övriga komponenter av havsnivåhöjning. Även "S18" visar sannolikt intervall. Illustrationen är hämtad från Oppenheimer m.fl., (2019), Figure 4.2 sida 327.

Tabell 1. Medianvärde och sannolikt intervall av den globala havsnivåhöjningen enligt RCP2,6 för år 2050, 2100, 2200 och 2300. Värdena anges i meter relativt referensperioden 1986-2005.

År	2050	2100	2150*	2200	2300
Medianvärde	0.22	0.44	0.55	0.67	0.82
Sannolikt intervall	0.15 till 0.28	0.29 till 0.59	0.39 till 0.73	0.49 till 0.87	0.60 till 1.07

Tabell 2. Medianvärde och sannolikt intervall av den globala havsnivåhöjningen enligt RCP4,5 för år 2050, 2100, 2200 och 2300. Värdena anges i meter relativt referensperioden 1986-2005.

År	2050	2100	2150*	2200	2300
Medianvärde	0.23	0.55	0.79	1.03	1.53
Sannolikt intervall	0.17 till 0.29	0.39 till 0.72	0.55 till 1.05	0.71 till 1.38	1.02 till 2.09

Tabell 3. Medianvärde och sannolikt intervall av den globala havsnivåhöjningen enligt RCP8,5 för år 2050, 2100, 2200 och 2300. Värdena anges i meter relativt referensperioden 1986-2005.

År	2050	2100	2150*	2200	2300
Medianvärde	0.27	0.84	1.46	2.08	3.70
Sannolikt intervall	0.20 till 0.34	0.61 till 1.11	0.97 till 2.01	1.34 till 2.92	2.28 till 5.37

År 2150 är noterat med en * vilket indikerar att värdena angivna av den globala havsnivåhöjningen för detta år är en linjär interpolation av de intilliggande värdena.

6.3 Bakomliggande processer

På grund av förändringar i klimatsystemet förändras havsnivån över tidsmässiga och rumsliga skalor som hotar kustsamhällen och städer. Havsnivå betyder i detta sammanhang den genomsnittliga höjden på havsytan över tid, vilket bortser från kortvariga fluktuationer som tillfälliga högvattenhändelser orsakade av regionala väderförhållanden. Höjningen av medelvattenståndet beror främst på två processer, dels den ökning av volymen havsvatten som sker när haven värms upp och vattnet får lägre densitet, vilket kallas termisk expansion, och dels den ökning av volymen vatten som orsakas av smältning av landbaserad is.

Dessutom medför massförändringar på grund av omfördelningen av vatten på jordens yta och deformation av jordskorpan en förändring i jordens rotation och gravitationsfält, vilket ger tydliga regionala variationer av havsnivåförändringen (Mitrovica m.fl., 2001). Det som påverkar denna process allra mest är när stora mängder is smälter från inlandsisarna på Grönland och Antarktis och inlandsisarnas massa därmed minskar. För Sveriges del innebär detta att smältning på Antarktis påverkar vårt vattenstånd mer än vad smältning på Grönland gör eftersom höjningen blir störst i områden långt bort från ett smältande istäcke. Det här innebär att havsnivån på olika platser i Sverige inte kommer att stiga i exakt samma takt eller exakt lika mycket som det globala medelvärdet.

Något som i mycket hög grad bestämmer medelvattenståndet för olika platser i Sverige är den postglaciala landhöjningen, som varierar längs med kusten och motverkar havets stigning. Landhöjningen kommer att fortgå i oförändrad takt ett par tusen år framåt i tiden för att senare sakta avta (Vestøl m.fl., 2019).

6.4 Avsmältning av inlandsisar och glaciärer

Under de senaste två århundradena har observationer av vattenstånd utförts vid stationer längs kusten. Sedan 1992 har framväxten av exakta satellitmätningar förbättrat vår kunskap om havsnivåförändringar och även medfört att förändring av inlandsisar och glaciärer kan övervakas. Det är nu möjligt att exakt bestämma hur mycket och hur snabbt havsnivån har stigit sedan början av 1900-talet, samt även att visa hur mycket de olika processerna har bidragit till denna förändring (Frederikse m.fl., 2020).

Smältning av is, främst från bergsglaciärer, har orsakat dubbelt så mycket havsnivåhöjning sedan år 1900 som den termiska expansionen. Det globala medelvattenståndet har höjts med totalt ca 18 cm under åren 1900-2018. Hastigheten på höjningen över hela tidsperioden är 1,5 mm/år, men har ökat till 3,3 mm/år för perioden 1993-2018. Accelerationen i havsnivåhöjningen sedan 1970-talet beror på en kombination av ökad termisk expansion och ökad massförlust från Grönland.

Den framtida ökningen av det globala medelvattenståndet är starkt beroende av i vilken utsträckning mänskligheten lyckas genomföra minskningar av växthusgaser. Takten på höjningen i slutet av seklet

förväntas bli snabbare under alla utsläppsscenarier, inklusive de som är i linje med att uppnå det långsiktiga temperaturmålet som anges i Parisavtalet. Det antarktiska istäcket har potential att ge det största bidraget till havsnivåhöjning, men stor osäkerhet kvarstår kring dess framtida utveckling. Grönlandsisen har bidragit mer fram till nu, men har inte samma förutsättningar för mycket snabba förändringar som Antarktis.

Stora delar av det västantarktiska istäcket mynnar ut i havet och bottenar under havsnivån. För det grönländska istäcket är sådana områden begränsade, vilket minskar potentialen för en kraftigt accelererande avsmältning. Totalt sett finns färskvatten lagrat i form av is på land som skulle höja den globala havsnivån med ungefär 65 meter om all is smälte. Av dessa finns cirka 0,3 meter i bergsglaciärer, 7 m på Grönland och 58 m på Antarktis (Oppenheimer m.fl., 2019). Det antarktiska istäcket är uppdelat i en östlig och en västlig del. Den västliga delen innehåller is motsvarande cirka 5 m (Morlighem m.fl., 2020) havsnivåhöjning och det är främst här som snabb smältning nu observeras, mycket på grund av att de flytande isshelferna här bottenar på berggrund som ligger långt under havsnivån. På grund av detta är isen här mycket mer utsatt för smältning av förhållandevis varmt bottenvattnet. De två mest kritiska glaciärerna är i dagsläget Thwaites och Pine Island Bay, som tillsammans kan höja havsnivån runt 1 m. En kollaps av dessa två glaciärer skulle garantera ytterligare 2 meters höjning över flerhundraårig tidsskala eftersom de är kopplade till resten av isen på Västantarktis (Feldmann och Levermann, 2015).

Isförlusten på Västantarktis drivs, till skillnad från Grönland, främst av dynamiska processer, vilka är förändringar i isens hastighet, styrt av isens temperatur och styrka vid basen mot berggrunden. De flytande isshelferna fungerar som en buffert mot isen på land och när de försvagas ökar också tillskott av is från inlandet. När förutsättningarna är sådana som på flera håll på Västantarktis finns potential för en accelererande smältning, kallad "Marine Ice Shelf Instability", som är irreversibel över tidsskalor på hundra till tusen år. Det finns tecken på att sådan instabilitet skulle kunna ha initierats redan nu för vissa glaciärer, men enligt IPCC går det inte att säkert fastställa med dagens kunskap (Meredith m.fl., 2019). Det råder brist på mätningar både från glaciärerna, oceanerna och atmosfären runt Antarktis, och det behövs bättre upplösning och representation av fysikaliska processer i modellerna.

6.5 Utveckling av havsnivåprognoser mellan IPCC 2013 och IPCC 2019

Sedan IPCC:s förra utvärdering, AR5 som utkom 2013, har ett ökat forskningsfokus på framförallt Västantarktis visat att avsmältningen har gått mycket snabbare under det senaste decenniet än vad som tidigare antagits. Instabilitet vid de marina isshelferna vid år 2100, vilket leder till en accelererande avsmältning, bedömdes som osannolikt (mindre än 33 % sannolikhet) i AR5. Med konfidensgraden troligt gjordes bedömningen att detta i så fall skulle bidra med en havsnivåhöjning på "ett flertal decimeter". Denna bedömning baserades på en linjär extrapolation av uppmätt isförlust.

I specialrapporten från 2019 bedöms att Antarktis kan bidra med upp till 28 cm i slutet av seklet, enligt RCP8,5, övre gräns för sannolikt intervall. Till skillnad från AR5 bedömdes nu processbaserade ismodeller vara tillräckligt utvecklade för att kunna göra projektioner för Antarktis med tillräcklig säkerhet för att ingå i den totala bedömningen. Men processer som styr tidpunkten för framtida förlust av isshelfer kan öka Antarktis bidrag till havsnivån till värden som är högre än det sannolika intervallet på tidsskalor på hundra år eller längre. Framförallt är det tidpunkten för start av instabiliteter som är svårbedömd och skulle kunna öka höjningen betydligt. En uppskattning av en höjning högre än det sannolika intervallet finns nu också inkluderade och en total havsnivåhöjning på två meter år 2100 kan inte helt uteslutas. Det är betydligt mindre skillnader för de lägre utsläppsscenarierna mellan de två rapporterna.

Enskilda modellstudier och studier med expertutlåtande förutspar bidrag från Antarktis i storleksordningen flera decimeter för detta århundrade, med bidrag på över 1 meter 2100 för höga utsläppsscenarier (Golledge m.fl., 2015; Bamber m.fl., 2019). Med tanke på den stora spridningen i dessa prognoser och den begränsade förståelsen för den underliggande fysiken kännetecknas projektionerna för Antarktis fortfarande av djup osäkerhet.

En uppmärksammat artikel som visade på möjligheterna på mycket stora bidrag från Antarktis är studien av DeConto och Pollard (2016), som bedömde att smältning på Antarktis skulle kunna bidra

med upp till 114 cm vattenståndshöjning år 2100 under RCP8,5-scenariot. Deras modell inkluderade för första gången dynamiska isprocesser som sprickbildning genom perkolation¹ och strukturell kollaps av isväggar. När US Global Change program, som styrs av 13 statliga myndigheter i USA, sammanställde sin rapport om havsnivåhöjning 2017 (Sweet m.fl., 2017b) användes data från studien av DeConto och Pollard. Sex scenarier av framtida global medelhöjning av havsnivån togs fram med hjälp av ett antal aktuella forskningsstudier. Vattenståndshöjningen år 2100 i ”låg”-scenariot motsvaras av en fortsättning på den nuvarande hastigheten av höjning, 3 mm/år. Det ger 0.3 m år 2100, och liknar den lägsta nivån i RCP2,6 från IPCC AR5. De övriga fem scenarierna ligger i ett intervall mellan 0.5 m och 2.5 m. Det högsta scenariot, ”extrem”, baseras på uppvärmningen från IPCC:s resultat avseende RCP8,5, kombinerat med den maximalt fysikaliskt möjliga höjningen från issmältning på Antarktis enligt DeConto och Pollard (2016). Efter att DeConto och Pollards artikel kom ut har deras resultat ifrågasatts i studier från andra forskarlag, speciellt deras hypotes om kollaps av isväggar som aldrig observerats i modern tid. IPCC gör bedömningen att eftersom tidpunkten och storleken på isförlusten i deras modell är för osäker, så kan deras resultat inte vägas in i IPCC:s sammanlagda bedömning av framtida havsnivåer (Oppenheimer m.fl., 2019). DeConto och Pollards resultat visar emellertid potentialen för att havsnivåhöjningen efter 2100 kan vara betydligt högre än det sannolika intervallet som förutsågs av modeller som inte inkluderar dessa isprocesser.

6.6 Havsnivåhöjning bortom 2100

På grund av ett fortsatt upptag av värme i haven och massförlust av is på Grönland och Antarktis kommer havsnivån att fortsätta att stiga i många århundraden bortom 2100. Därefter kommer havsnivåerna att förbli höga i tusentals år, främst på grund av att det tar oerhört lång tid för den termiska expansionen att spridas i alla delar av världshaven. De få modeller som har använts för tidsskalor från århundraden till årtusenden indikerar höjning av havsnivån på flera meter (2,3–5,4 m) år 2300 med hastigheter på upp till flera cm per år för RCP8,5, dock med låg säkerhet i resultaten (Oppenheimer m.fl., 2019). En studie bedömer att för varje grad som temperaturen ökar jämfört med den för-industriella nivån, så kommer havsnivån att ha stigit med 2,3 meter efter 2000 år (Levermann m.fl., 2013).

Utvecklingen för det Antarktiska istäcket efter slutet av 2000-talet kännetecknas av djup osäkerhet eftersom ismodellerna saknar realistiska representationer för några av de underliggande fysiska processerna. De bedömningar som gjorts av tröskelvärden i temperatur för start av irreversibel kollaps är osäkra men tillbakagången för flera glaciärer på Västantarktis går att förklara med teori för Marine Ice shelf Instability och det är troligt att denna utveckling kommer fortsätta och även skulle kunna accelerera (IPCC, 2019).

En fullständig smältning av inlandsisen på Grönland skulle bidra med 7 m havsnivåhöjning över ett årtusende eller mer och skulle kunna inträffa för en temperaturhöjning mellan 1-4°C över förindustriella nivåer (Oppenheimer m.fl., 2019). Höga utsläppsscenarier eller förbränning av samtliga tillgängliga fossila bränslen under en period över flera århundraden skulle kunna leda till havsnivåhöjning på flera meter per sekel på lång sikt. IPCC (Oppenheimer m.fl., 2019) anger inte någon samlad bedömning av ett specifikt temperaturintervall för kollaps av istäcket på Västantarktis över längre tidsskalor eftersom osäkerheterna anses vara för stora. Enskilda studier indikerar dock att detta skulle kunna ske vid en temperaturhöjning på cirka 2°C (Pattyn m.fl., 2018; Garbe m.fl., 2020). Scenarier med låga utsläpp leder till begränsad havsnivåhöjning på flerhundraårig tidsskala. Det är inte möjligt med dagens kunskap att uppskatta skillnaden mellan 1,5 °C och 2 °C scenarier för långvarig havsnivåhöjning (Oppenheimer m.fl., 2019). Därför är en slutsats att havsnivåhöjningen över flerhundraårig tidsskala är starkt beroende av vilket utsläppsscenario som kommer följas. Detta i kombination med bristen på förutsägbarhet för tröskelvärden för kollaps av istäckena understryker vikten av utsläppsminskningar för att minimera riskerna för lågt liggande kustlinjer och öar.

¹Med perkolation menas smältvatten på ytan som rör sig nedåt i isen och bildar kanaler.

7 Administrativa förutsättningar

Länsstyrelserna har 2012 samt 2015 skickat två skrivelser till regeringen med uppmaning om att tillsätta en omfattande utredning om riskerna och beskriva behovet av åtgärder för att säkra regionens framtid inför den utmaning som ett stigande världshav innebär. Länsstyrelserna har nu behov av att uppdatera kunskapsläget gällande administrativa förutsättningar.

Syftet med sammanställning är att ringa in vilka initiativ som regeringen och nationella myndigheter har vidtagit sedan länsstyrelserna skickade in den senaste skrivelsen och därmed identifiera kvarstående frågor.

Kartläggningen omfattar genomförda och pågående statliga utredningar, regeringsuppdrag, propositioner, delegationsbildningar, strategier, regleringsbrev, justerad lagstiftning och liknande insatser, hädanefter kallat *uppdrag*.

SMHI har identifierat sammanlagt 19 uppdrag som analyserats i förhållande till deras relevans för Mälaren efter 2100. Uppdragen identifierades genom kontakter med följande personer väl insatta i frågan:

- Kerstin Grönman, Regeringskansliet (Miljödepartementet)
- Anna Eklund, hydrolog, SMHI
- Åsa Sjöström, verksamhetsledare Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning, SMHI
- Måns Enander, klimatanpassningssamordnare, länsstyrelsen Västmanland
- Linda Holmström, klimatanpassningssamordnare, länsstyrelsen Stockholm

Under analysen tillkom även ytterligare uppdrag genom snöbollsmetoden. SMHI har analyserat huruvida identifierade uppdrag adresserar hanteringen av stigande havsnivåer i Östersjön på lång sikt (primärt mellan 2050 och 2200) och hur detta påverkar Mälaren utifrån de frågeställningar som lyfts i tidigare länsstyrelserapporter, nämligen;

- Mälaren som dricksvattentäkt
- Fysisk planering samt hantering av befintliga byggnader och infrastruktur
- Resiliens för regionens bärande ekosystem
- Helhetsperspektivet, dvs. en långsiktig hållbar utveckling av Mälarenregionen, Sveriges viktigaste tillväxtregion, i relation till stigande havsnivåer i Östersjön och hur detta påverkar Mälaren.

Identifierade uppdrag har därför analyserats utifrån om och i så fall hur de adresserar följande fem aspekter: Dricksvatten, Bebyggelse & infrastruktur, Ekosystem, Helhetsperspektiv, 2050-2100, post 2100. Resultatet av den innehållsmässiga kvalitativa analysen redovisas i det tillhörande Excel-dokumentet Bilaga 1 *Identifierade uppdrag Mälaren post 2100* och har färgkodats enligt följande:

Grön:	Aspekten täcks in på ett tydligt sätt
Gul:	Aspekten täcks in i någon mån
Röd:	Aspekten täcks inte in
Orange:	Arbete pågår, en indikation om vartåt arbetet syftar har inhämtats från uppdragsledaren, se kommentarskolumnen i Bilaga 1

Det är värt att poängtera att analysen inte syftar till en bedömning eller betygssättning av uppdragens kvalitet på något sätt. Det enda syfte som analysen haft är att undersöka huruvida ovan nämnda aspekter täcks in eller ej.

I tillägg till Bilaga 1 finns även Bilaga 2 - *Regeringen Beslut 2015*.

8 Medelvattenstånd i Stockholm i framtida klimat

Uppgifter om medelvattenståndet i Stockholm i framtida klimat som redovisas i detta avsnitt baseras på global havsnivåhöjning enligt IPCC 2019. Detta innebär att vi gör antagandet att medelvattenståndet i Stockholm (Sverige) följer den globala havsnivåhöjningen, vilket är en förenkling. Regionala variationer förekommer. För Stockholms del är skillnaderna mellan global och regional havsnivåhöjning förhållandevis små i dimensioneringssammanhang, i storleken 5-10 cm år 2100. Generellt sett för Stockholm är medianvärdet baserat på global havsnivåhöjning något högre än detsamma baserat på regional havsnivåhöjning, medan det sannolika intervallet blir något större för den regionala havsnivåhöjningen, båda korrekterade för den lokala landhöjningen, (Hieronymus och Kalén, 2020).

Skillnaderna beror främst på att avsmältningen från Grönland, som är mycket viktig globalt sett, har en mindre effekt på det framtida vattenståndet längs Sveriges kust. Detta balanseras till viss del av att Sverige får ett större bidrag från Antarktis avsmältning, termisk expansion och förändringar i havscirkulationen, men nettoeffekten blir något lägre nivåer i Sverige jämför med den globala havsnivåhöjningen. Att det sannolika intervallet blir större baserat på regional havsnivåhöjning beror på att fler processer inkluderas.

Storskaliga regionala variationer gör att havsnivån inte stiger lika mycket överallt på jorden. Exempelvis varierar uppvärmningen som driver den termiska expansionen av havsvattnet mellan olika platser. Även effekten av avsmältningen av inlandsisarna varierar. När inlandsisarna smälter stiger havsnivån generellt. Den stiger emellertid inte lika mycket överallt på jorden, vilket beror på att när inlandsisen smälter så minskar dess massa och därmed dess dragningskraft (gravitationell attraktion). Detta leder i sin tur till att havsvattnet omfördelar sig och havsnivån sjunker i närheten men stiger längre bort från ismassan.

I dagsläget tillhandahåller IPCC inget dataunderlag för regional havsnivåhöjning bortom år 2100. IPCC redovisar däremot globala medelvärden för havsnivåhöjning fram till år 2300, enligt median och sannolika intervall. Eftersom det är av intresse att få information om medelvattenståndet i Stockholm bortom 2100 görs det förenklade antagandet att utgå från global havsnivåhöjning som korrigeras för den lokala landhöjningen. Detta medför samtidigt att det är enklare att jämföra med vad som använts i de tidigare utredningarna eftersom dessa utgår från global havsnivåhöjning. Därtill finns det inte färdigt framtaget uppgifter om framtida medelvattenstånd baserat på regional havsnivåhöjning för andra år än 2050 och 2100.

I Sverige pågår landhöjning vilken motverkar havsnivåhöjningen. Vid beräkningar av framtida medelvattenstånd används den avvägda landhöjningen. Med avvägd landhöjning avses landhöjningen relativt den av klimateffekter opåverkade havsytan (geoiden). Information om landhöjningen har hämtats från landhöjningsmodellen NKG2016LU. Modellen lanserades 2016 av Nordiska kommissionen för geodesi (NKG) och används som officiell landhöjningsmodell i såväl Sverige som i de övriga nordiska och baltiska länderna. Data från NKG2016LU har levererats av Lantmäteriet. Den avvägda landhöjningen är i medelvärde för Stockholms kommun ca 5,3 mm/år (SMHI Klimatologi 41, 2017). Landhöjningens takt antas vara oförändrad fram till 2300 (Vestøl m.fl., 2019).

8.1 Medelvattenståndets nettoförändring

I Figur 2 till Figur 4 visas en illustration av medelvattenståndets förändring i Stockholm utifrån global havsnivåhöjning enligt RCP2,6, RCP4,5 respektive RCP8,5. Den globala havsnivåhöjningen visas i blått, dels medianen och dels det sannolika intervall som anges av IPCC (2019). Landhöjningseffekten åskådliggörs negativ (rött) eftersom den motverkar havsnivåhöjningen. Då den globala havsnivåhöjningen korrigeras för den lokala landhöjningseffekten fås medelvattenståndets nettoförändring i Stockholm (grön), både median och sannolikt intervall. Det sannolika intervallet visar 66 % sannolikhet att värdet ligger inom intervallet. Detta innebär att det är 34 % sannolikhet att värdet ligger utanför det sannolika intervallet och att det är 17 % sannolikhet att det ligger över respektive under den övre respektive nedre gränsen av det sannolika intervallet för respektive RCP-scenario.

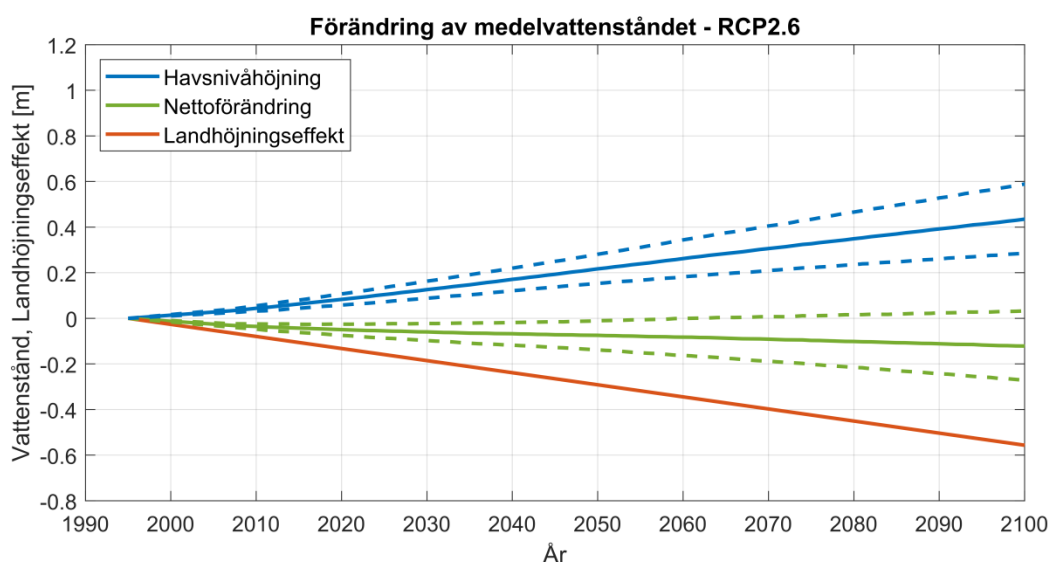
Som exempel kan vi se att det sannolika intervallet av medelvattenståndets nettoförändring enligt RCP4,5 år 2100 är mellan ungefär -20 cm till + 20 cm. Det är alltså 66 % sannolikhet att nettoförändringen ligger inom detta spann om vi följer utvecklingen enligt RCP4,5. Därtill är sannolikheten 17 % att medelvattenståndets nettoförändring för Stockholm blir lägre än - 20 cm respektive högre än + 20 cm år 2100.

På motsvarande sett ser vi att det sannolika intervallet av medelvattenståndets nettoförändring enligt RCP8,5 år 2100 är mellan ungefär +5cm till + 55 cm, och sannolikheten är alltså 17 % att medelvattenståndets nettoförändring i Stockholm blir lägre än + 5 cm respektive högre än + 55 cm i slutet av innevarande sekel.

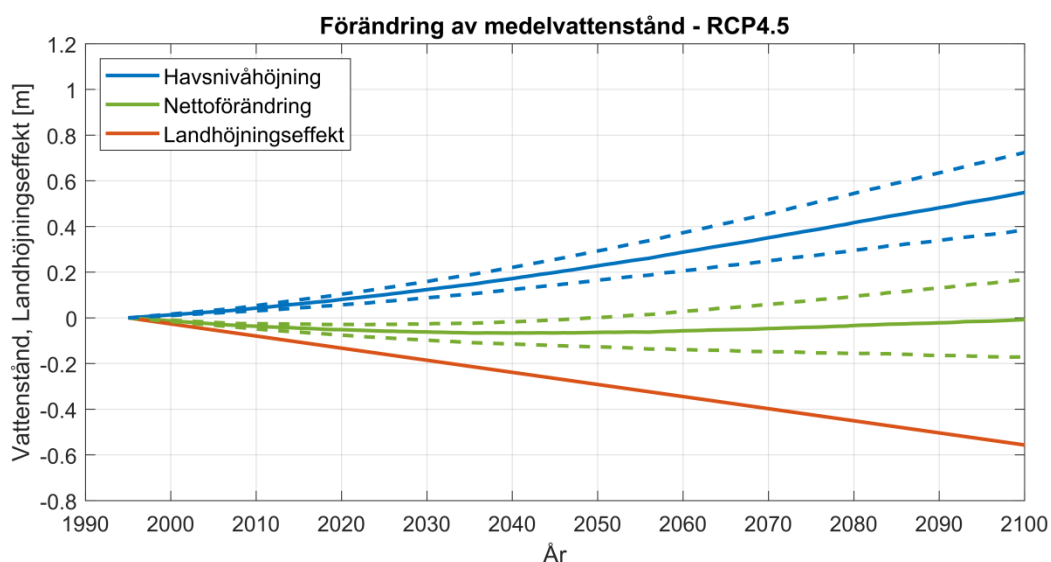
Vidare kan vi från figurerna utläsa ungefär när i tiden en given nettoförändring av medelvattenståndet kan komma att inträffa utifrån respektive utsläppsscenario. Enligt RCP2,6 ser vi att den övre gränsen av det sannolika intervallet ger en nettoförändring på ± 0 cm ungefär 2060 medan medianen och den nedre gränsen av det sannolika intervallet är lägre än ± 0 cm hela seklet.

På motsvarande sätt ser vi att vi får en nettoförändring på ± 0 cm ungefär 2100 om vi följer medianen för RCP4,5, medan den övre gränsen av det sannolika intervallet ger en nettoförändring på ± 0 cm ungefär 2050.

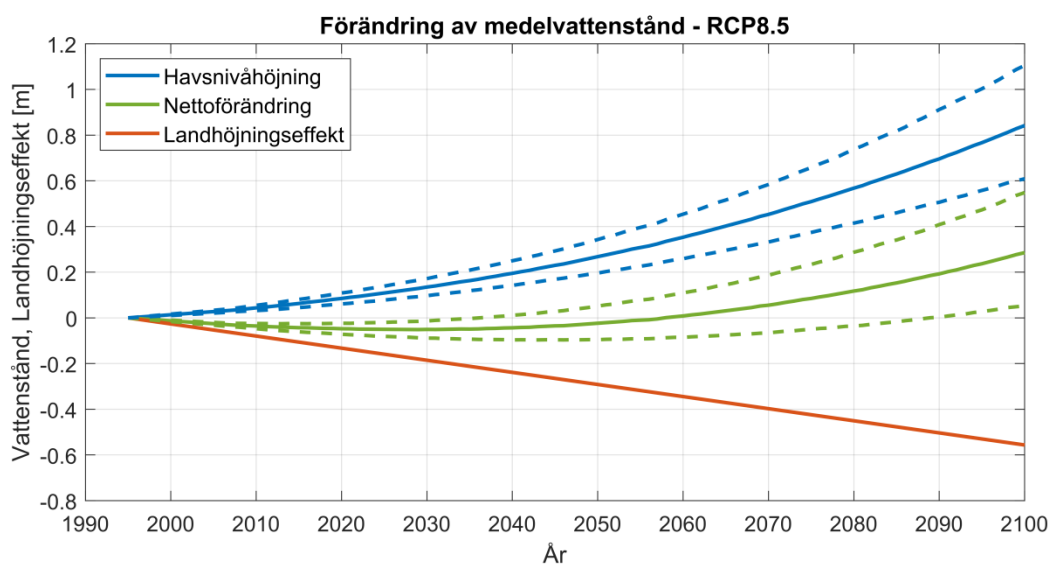
Om vi följer utvecklingen enligt RCP8,5 får vi en nettoförändring av medelvattenståndet på ± 0 cm ungefär 2055 utifrån medianen, medan det sannolika intervallet ger denna förändring mellan år 2035 och 2085, alltså ett spann på 50 år.



Figur 2. Illustration av medelvattenståndets förändring i Stockholm relativt referensåret 1995 till år 2100 utifrån global havsnivåhöjning enligt RCP2,6, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets nettoförändring för Stockholm visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).



Figur 3. Illustration av medelvattenståndets förändring i Stockholm relativt referensåret 1995 till år 2100 utifrån global havsnivåhöjning enligt RCP4,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets nettoförändring för Stockholm visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).



Figur 4. Illustration av medelvattenståndets förändring i Stockholm relativt referensåret 1995 till år 2100 utifrån global havsnivåhöjning enligt RCP8,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets nettoförändring för Stockholm visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).

8.2 Medelvattenståndet i RH2000

Beräknat medelvattenstånd i Stockholm enligt RCP2,6, RCP4,5 respektive RCP8,5 från IPCCs specialrapport *Havet och kryosfären i ett förändrat klimat* från 2019 listas i Tabell 4 till Tabell 6. Värden ges utifrån medianvärdet och det sannolika intervallet och anges i meter i höjdsystemet RH2000. Värdena har avrundats till närmsta decimeter. Värdena bortom 2100 är mycket osäkra. För 2150 har ett interpolerat värde av den globala havsnivåhöjningen använts.

Vi kan exempelvis se att det beräknade medelvattenståndet i Stockholm år 2200 enligt medianvärdet blir ca + 0,1 meter med ett sannolikt intervall från - 0,2 till + 0,5 m om vi följer utvecklingen enligt RCP4,5.

Enligt RCP8,5 blir det beräknade medelvattenståndet i Stockholm år 2200 ca 1,2 m enligt medianvärdet och med ett sannolikt intervall från 0,4 till 2,0 m.

Tabell 4 Beräknat medelvattenstånd i Stockholm utifrån medianvärde och sannolikt intervall av den globala havsnivåhöjningen enligt RCP2,6 för år 2050, 2100, 2150, 2200 och 2300. Värdena anges i meter i höjdsystemet RH2000.

År	2050	2100	2150	2200	2300
Medianvärde	0.1	0.1	-0.1	-0.2	-0.6
Sannolikt intervall	0.1 till 0.2	-0.1 till 0.2	-0.3 till 0.1	-0.4 till 0	-0.8 till -0.4

Tabell 5. Beräknat medelvattenstånd i Stockholm utifrån medianvärde och sannolikt intervall av den globala havsnivåhöjningen enligt RCP4,5 för år 2050, 2100, 2150, 2200 och 2300. Värdena anges i meter i höjdsystemet RH2000.

År	2050	2100	2150	2200	2300
Medianvärde	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
Sannolikt intervall	0.1 till 0.2	0 till 0.4	-0.1 till 0.4	-0.2 till 0.5	-0.4 till 0.7

Tabell 6. Beräknat medelvattenstånd i Stockholm utifrån medianvärde och sannolikt intervall av den globala havsnivåhöjningen enligt RCP8,5 för år 2050, 2100, 2150, 2200 och 2300. Värdena anges i meter i höjdsystemet RH2000.

År	2050	2100	2150	2200	2300
Medianvärde	0.2	0.5	0.8	1.2	2.3
Sannolikt intervall	0.1 till 0.2	0.2 till 0.7	0.3 till 1.4	0.4 till 2.0	0.9 till 3.9

På uppdrag av Länsstyrelsen i Stockholms län har SMHI tagit fram uppgifter om extremvattenstånd i Stockholms län (Johansson, 2020). Uppgifter om medelvattenstånd och återkomstvärde för

återkomsttiderna 100 och 200 år redovisas för år 2100 och 2200 baserade på uppgifter från IPCC 2019 enligt klimatscenario RCP8,5. Val av klimatscenario gjordes av Stockholms Länsstyrelse.

Återkomstvärdena eller extremvärdena beskriver, i detta fall, en högvattenhändelse som återkommer med en bestämd sannolikhet. Exempelvis har extremvärdet med en återkomsttid på 100 år en årlig sannolikhet på 1/100, dvs. 1 %.

Både extremvärden och framtida medelvattenstånd är behäftade med osäkerheter. I Johansson 2020 anges medelvattenstånd och återkomstvärden med ett tillhörande konfidensintervall på 95 %. Det angivna konfidensintervallet på 95 % uttrycker osäkerheten i värdena och ska tolkas som att sannolikheten är 95 % att konfidensintervallet innehåller det riktiga värdet. Det innebär samtidigt att det är 5 % sannolikhet att värdet ligger utanför konfidensintervallet.

I Johansson 2020 har konfidensintervallet för återkomstvärdena i framtida klimat beräknats genom att kombinera osäkerheten i klimatscenariot med osäkerheten i extremvärdet.

I IPCC 2019 anges global havsnivåhöjning utifrån medianvärde och *sannolikt* intervall. Med *sannolikt* intervall avses det intervall i vilket värdet ligger med en sannolikhet på 66 %, se IPCC 2019 sidan 323, fotnot 1. Detta innebär att det är 34 % sannolikhet att värdet ligger utanför det sannolika intervallet.

I denna utredning har vi valt att använda det *sannolika* intervall som anges av IPCC som ett mått på osäkerheten av framtida medelvattenstånd. Dels för att använda samma terminologi som IPCC, ”*likely range*”, och dels för att vi inte behöver göra några ytterligare antaganden.

I Johansson 2020 anges framtida medelvattenstånd med ett konfidensintervall på 95 % som mått på osäkerheten, vilket bl.a. görs för att kunna ange en kombinerad osäkerhet för återkomstvärdena i framtida klimat. För att kunna ange en kombinerad osäkerhet görs bl.a. antagandet att det framtida medelvattenståndet är en normalfördelad stokastisk variabel med sannolikheten 66 % att det ligger inom intervallet. Det sannolika intervallet på 66 % som anges av IPCC räknas således om till ett konfidensintervall på 95 %. Både det sannolika intervallet på 66 % och konfidensintervallet på 95 % är mått på osäkerheten.

9 Jämförelse med de tidigare rapporterna

I de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) utgick man från bedömningen att en rimlig övre gräns för den globala havsnivåhöjningen var ungefär 1 meter fram till 2100. Därtill gjordes antagandena om en global havsnivåhöjning på 2 till 3 meter till år 2150 samt en global havsnivåhöjning på 2 till 4 meter till år 2200.

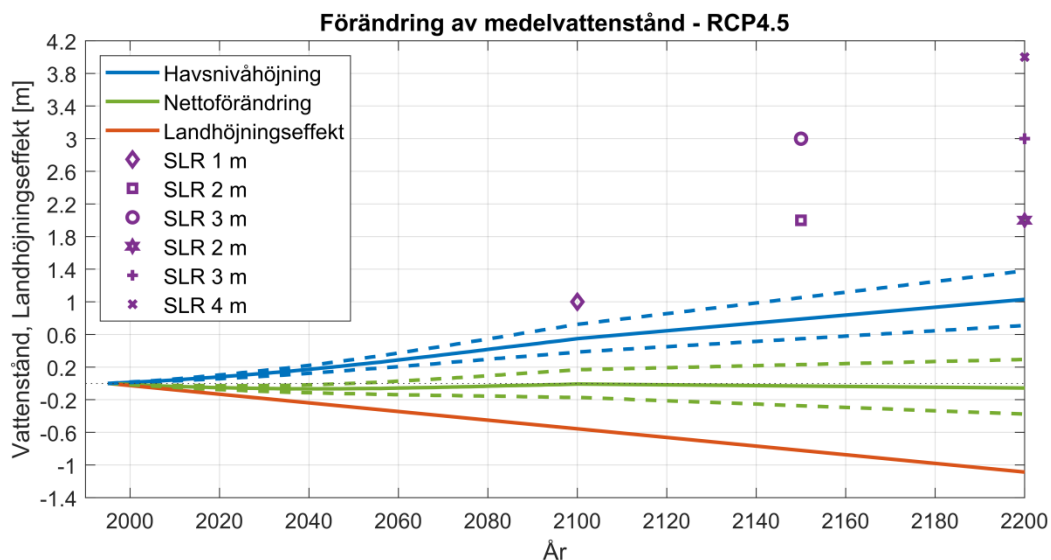
Den globala havsnivåhöjningen utifrån nuvarande kunskapsläge, dvs. IPCC 2019, och utifrån den bedömning och de antaganden som använts i de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) visas i Figur 5 enligt RCP4,5 och enligt RCP8,5 i Figur 6 fram till 2200. Figurerna illustrerar även medelvattenståndets förändring i Stockholm samt landhöjningseffekten på samma sätt som i Figur 3 och Figur 4 men nu förlängda fram till 2200.

Utifrån figurerna kan vi bl.a. se att bedömningen att den globala havsnivåhöjningen blir ungefär 1 m fram till 2100 hamnar ca 30 cm högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP4,5 men ca 10 cm lägre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP8,5.

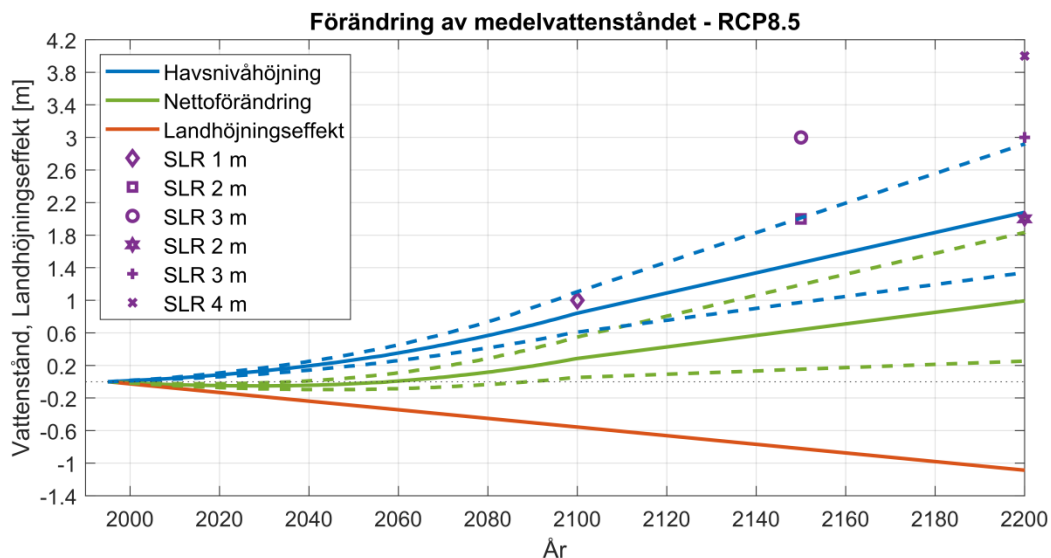
Vidare så kan vi se att antagandena om en global havsnivåhöjning på 2-3 meter till år 2150 samt 2-4 meter till 2200 ligger över det sannolika intervallet enligt RCP4,5. För RCP8,5 däremot hamnar de lägre antagandena inom det sannolika intervallet medan de högre antagandena även för RCP8,5 ligger över det sannolika intervallet. Hur den tidigare bedömningen och antagandena förhåller sig till nuvarande forskningsläge sammanfattas i Tabell 7 för RCP4,5 och i Tabell 8 för RCP8,5.

Sammantaget visar jämförelsen att den bedömning och de antaganden som ligger till grund för skattningar av framtida havsnivåer i de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) ligger närmast de framtida havsnivåhöjningar som följer RCP8,5 IPCC 2019.

I de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) ges ingen sannolikhet eller sannolikt intervall av den globala havsnivåhöjningen som använts. En global havsnivåhöjning på 1 meter fram till 2100 utgör snarare en bedömning utifrån då rådande kunskapsläge och övriga nivåer bortom 2100 var antaganden som gjordes för att få en bild av havsnivåhöjningen i ett längre tidsperspektiv. Det framgår inte heller om eller hur de använda uppgifterna om framtida havsnivåhöjning gäller under ett särskilt klimatscenario.



Figur 5. Illustration av medelvattenståndets förändring i Stockholm relativt referensåret 1995 till år 2100 utifrån global havsnivåhöjning enligt RCP4,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets nettoförändring för Stockholm visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad). SLR (Sea level rise) anger den globala havsnivåhöjningen utifrån tidigare bedömning och antaganden (lila symboler).



Figur 6. Illustration av medelvattenståndets förändring i Stockholm relativt referensåret 1995 till år 2100 utifrån global havsnivåhöjning enligt RCP8,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets nettoförändring för Stockholm visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad). SLR (Sea level rise) anger den globala havsnivåhöjningen utifrån tidigare bedömning och antaganden (lila symboler).

Tabell 7. Jämförelse mellan den bedömning och de antaganden som använts i de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) och nuvarande kunskapsläge enligt **RCP4,5 IPCC 2019**.

Tidigare bedömning/antaganden	Nuvarande kunskapsläge
1 m global havsnivåhöjning fram till 2100	Ca 30 cm högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP4,5 IPCC, 2019
2 m global havsnivåhöjning fram till 2150	Ca 95 cm högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP4,5 IPCC, 2019
3 m global havsnivåhöjning fram till 2150	Ca 1,95 m högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP4,5 IPCC, 2019
2 m global havsnivåhöjning fram till 2200	Ca 60 cm högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP4,5 IPCC, 2019
3 m global havsnivåhöjning fram till 2200	Ca 1,60 m högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP4,5 IPCC, 2019
4 m global havsnivåhöjning fram till 2200	Ca 2,60 m högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP4,5 IPCC, 2019

Tabell 8. Jämförelse mellan den bedömning och de antaganden som använts i de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) och nuvarande kunskapsläge enligt **RCP8,5 IPCC 2019**.

Tidigare bedömning/antaganden	Nuvarande kunskapsläge
1 m global havsnivåhöjning fram till 2100	Ca 10 cm lägre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP8,5 IPCC, 2019.
2 m global havsnivåhöjning fram till 2150	Nära den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP8,5 IPCC, 2019.
3 m global havsnivåhöjning fram till 2150	Ca 1 m ovanför den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP8,5 IPCC, 2019.
2 m global havsnivåhöjning fram till 2200	Nära medianvärdet enligt RCP8,5 IPCC, 2019.
3 m global havsnivåhöjning fram till 2200	Ca 10 cm högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP8,5 IPCC, 2019.
4 m global havsnivåhöjning fram till 2200	Ca 1,1 m högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt RCP8,5 IPCC, 2019.

Marginella skillnader

Utöver skillnader mellan tidigare antaganden om framtida havsnivåer och nuvarande kunskapsläge så utgår skattningar dels från en annan referensperiod/referensår än tidigare och dels används ny information om landhöjningen.

Vid de tidigare antagandena utgick skattningarna av framtida medelvattenstånd från referensåret 1990. Idag utgår SMHI från år 1995 vilket är ungefär i mitten av perioden 1986-2005, vilken är den period som utgör referensen för de underliggande modellkörningarna i IPCC 2019. Detta medför att vid dagens skattningar av framtida medelvattenstånd blir det en 5 år kortare period med vilken landhöjningen motverkar havsnivåhöjningen. För Stockholms del innebär detta att tidigare skattningar av framtida medelvattenstånd är ca 3 cm högre än vid dagens skattningar.

Utöver nytt referensår används idag uppgifter om landhöjningen från den nya landhöjningsmodellen NKG2016LU som lanserades 2016 och tillhandahålls av Lantmäteriet. Skattningar utförda innan denna lansering baserades på den absoluta landhöjningen, vilket är landhöjningen relativt jordens centrum, och skattningar utförda efter lanseringen baseras på den avvägda landhöjningen, vilket är landhöjning relativt den av klimateffekter opåverkade havsytan (geoiden). För Stockholms del innebär detta att tidigare skattningar av framtida medelvattenstånd blir ca 1 cm lägre jämfört med dagens skattningar på 100 års sikt.

Skillnader mellan referensår och landhöjning vid de tidigare antagandena jämfört med dagens skattningar av framtida havsvattenstånd utgör alltså en marginell skillnad.

10 Slutsatser och ståndpunkter

10.1 Fysiska förutsättningar

Kunskapsläget om framtida havsnivåer har ändrats sedan Länsstyrelsernas rapporter från 2011 och 2013 samt SMHIs rapport från 2014 togs fram. En global havsnivåhöjning på ungefär 1 meter från 1990 till 2100 kan inte, utifrån dagens kunskapsläge, ses som en övre gräns. Den tidigare bedömningen om en global havsnivåhöjning på 1 m som en övre gräns baserades på dåvarande kunskapsläge. Framförallt har forskningen ökat förståelsen för processerna som förknippas med avsmältningen av istäcket på Grönland och Antarktis.

En global havsnivåhöjning på 1 meter till 2100 ligger ca 30 cm högre än den övre gränsen av det sannolika intervallet enligt det lägre utsläppsscenarioet RCP4,5 (IPCC, 2019). Jämfört med utsläppsscenarioet RCP8,5, vilket är det utsläppsscenario som ger den högsta havsnivåhöjningen, ligger 1 meters global havsnivåhöjning till år 2100 strax under den övre gränsen av det sannolika intervallet (IPCC, 2019). Sannolikheten är dock 17 % att den globala havsnivåhöjningen blir högre än den övre gränsen för det sannolika intervallet, givet att utvecklingen följer ett visst utsläppsscenario. Därtill betonar IPCC att osäkerheten är stor och en global havsnivåhöjning med 2 meter till år 2100 inte kan uteslutas.

Den bedömning och de antaganden som ligger till grund för skattningar av framtida havsnivåer i de tidigare rapporterna (Länsstyrelserna, 2011; Frost m.fl., 2013; Andréasson m.fl., 2014) ligger närmast de framtida havsnivåhöjningar som följer RCP8,5 IPCC 2019.

I det längre tidsperspektivet hamnar de tidigare antagandena om en global havsnivåhöjning på 2-3 meter till år 2150 samt 2-4 meter till år 2200 över det sannolika intervallet enligt det lägre utsläppsscenarioet RCP4,5 (IPCC, 2019). Enligt det högsta utsläppsscenarioet RCP8,5 hamnar däremot de lägre nivåerna av de tidigare antagandena inom det sannolika intervallet medan de högre nivåerna ligger över det sannolika intervallet.

Den framtida ökningen av det globala medelvattenståndet är starkt beroende av hur mänskligheten lyckas begränsa de ökande utsläppen och vilket utsläppsscenario som följs. Vilka förändringar i klimatet som samhället kommer att behöva anpassa sig till beror i hög grad på hur politiker och beslutsfattare globalt lyckas hantera och begränsa utsläppen av växthusgaser.

Varken IPCC eller SMHI bedömer sannolikheten att utvecklingen av växthusgaser skulle följa något av de olika RCP-scenarierna. SMHI lägger heller ingen värdering i vilket RCP-scenario som används vid planering. Därtill finns det inga nationella beslut om vilket scenario som ska ligga till grund för samhällets utveckling och anpassning i Sverige, men i propositionen Nationell strategi för klimatanpassning (prop. 2017/18:163) finns vägledande principer för klimatanpassningsarbetet. En av strategins vägledande principer är att vid riskvärdering och planering av anpassningsåtgärder bör ett framtida klimat analyseras utifrån olika utsläppsscenarier och beakta flera möjliga utfall utifrån dessa (Boverket, 2019).

Det råder fortsatt enighet om att havet stiger och kommer att fortsätta stiga långt bortom 2100. På grund av fortsatt värmeupptag i haven och massförlust av is på Grönland och Antarktis kommer nivåerna förbli höga i tusentals år.

Kunskapsutvecklingen är snabb och skattningar av framtida havsnivåer behöver uppdateras när ny konsensusbaserad information presenteras. SMHI bevakar fortlöpande kunskapsläget och tar fram nationell information om framtida havsnivåer. Nästa sammanställning från IPCC väntas redan nästa år.

10.2 Administrativa förutsättningar

När det gäller vilka initiativ som regeringen och nationella myndigheter har vidtagit sedan Länsstyrelserna skickade in den senaste skrivelsen kan följande konstateras:

Ingen av de identifierade uppdragen täcker på ett uppenbart sätt in riskerna kring Mälaren post -2100 eller beskriver behovet av åtgärder för att säkra regionens framtid inför den utmaning som ett stigande världshav innebär. Anledningarna till detta kan delas upp i följande grupperingar:

- **Fortsättningsuppdrag:** Uppdraget hänvisas vidare till annat uppdrag som ej inkluderat detta i sitt arbete, exempelvis:
 - Mälarlänens skrivelser till regeringen från 2012 samt 2015 hänfördes till Utredningen om ett stärkt arbete för anpassning till ett förändrat klimat (M 2015:04). Detta uppdrag resulterade i Vem har ansvaret? SOU 2017:42, men frågan behandlas ej i detta uppdrag.
 - Dricksvattenutredningen SOU 2016:32 föreslog uppdraget Kontrollstation 2020 Dricksvatten, men detta existerar ej.
- **Begränsat tidsperspektiv:** Uppdraget inkluderar ej havsnivåhöjning och dess konsekvenser för Mälaren post-2100, exempelvis:
 - Slussenprojektet Reviderat beslut
 - Förvaltningsplan för Norra Östersjöns vattendistrikt 2016–21
- **Indirekthet/otydighet:** Uppdraget kan möjligen *på sikt främja/indirekt påverka* att ett längre tidsperspektiv beaktas men det är *oklart* på vilket sätt eller *hur långt*, exempelvis:
 - Förordning (2018:1428) om myndigheters klimatanpassningsarbete
 - Nationell strategi för klimatanpassning Prop. 2017/18:163
 - Förändringar i PBL (ingår i Nationell strategi för klimatanpassning Prop. 2017/18:163)
- **Pågående arbete:** slutleverans för uppdraget i nuläget inte fastställd, exempelvis:
 - Boverket och Länsstyrelsernas uppdrag att ta fram tillsynsvägledning för detaljplaner
 - Uppdrag att identifiera särskilda riskområden för ras, skred, erosion och översvämning som är klimatrelaterade M2019/01241

I det stora hela kan sägas att samtliga uppdragsansvariga i sitt arbete verkar ha mött svårigheter i att omfamna frågorna om havsnivåhöjning generellt, om havsnivåhöjning post-2100 i synnerhet, och effekter av detta på Mälaren post-2100 specifikt. I vissa fall beror detta på otydliga instruktioner för uppdragen, i andra på att det hittills saknats konsensusbaserat underlag om havsnivåhöjning bortom år 2100. Därtill är det underlag om havsnivåhöjning som finns mycket begränsat och mycket osäker (Figur 1) och regionala nedskalningar i form av regionala klimatmodeller saknas. En fråga för framtiden blir då hur dessa svårigheter kan mildras, eftersom begränsad datatillgång och stora osäkerheter i tillgänglig data även i fortsättningen kommer att vara det som finns tillgängligt att arbeta med.

11 Referenser

- Andréasson, J., Gustavsson, H., och Bergström, S., (2011) *Projekt Slussen – Förslag till ny reglering av Mälaren*. SMHI-rapport 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.
- Bamber, J. L., Oppenheimer, M., Kopp, R. E., Aspinall, W. P., Cooke, R. M. (2019) *Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment*. Proc Natl Acad Sci. 116, 11195-11200. doi: 10.1073/pnas.1817205116. Epub 2019 May 20. PMID: 31110015; PMCID: PMC6561295.
- Bergström, S. (2012) *Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012*. SMHI Klimatologi nr 5, Norrköping
- Church, J. A., Gregory, J. M., Gornitz, V., Lowe, J. a, Noda, A., Oberhuber, J. M., et al. (2001). Changes in Sea Level. In J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, et al. (Eds.), IPCC Third Assessment Report - Climate Change (pp. 639–693). New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- 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 and A.S. Unnikrishnan (2013): *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.
- Copenhagen Diagnosis (2009), Updating the World on the Latest Climate Science. I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindshadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M.Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I.McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australian, 60pp.
- DeConto, R. M., and Pollard, D. (2016) *Contribution of Antarctica to past and future sea level rise*. Nature, 531(7596), 591-597.
- Deltacommissie (2008), *Working together with water – A living land build for its future*. Findings of the Deltacommissie 2008. <http://www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf>
- Feldmann, J., & Levermann, A. (2015). Collapse of the West Antarctic Ice Sheet after local destabilization of the Amundsen Basin. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(46), 14191-14196.
- Frederikse, T., Landerer, F., Caron, L., Adhikari, S., Parkes, D., Humphrey, V. W., Wu, Y. H. (2020). *The causes of sea level rise since 1900*. Nature, 584(7821), 393-397.
- Frost, C., Enander, M., & von Sydow, K. (2013). *Mälarens och Saltsjöns framtid i ett brett perspektiv - dricksvatten, bebyggelse, ekosystem*. Länsstyrelsen, ISBN 978-91-7281-561-2
- Garbe, J., Albrecht, T., Levermann, A. et al. (2020) *The hysteresis of the Antarctic Ice Sheet*. Nature 585, 538–544.
- Garner, A. J., Weiss, J. L., Parris, A., Kopp, R. E., Horton, R. M., Overpeck, J. T., & Horton, B. P. (2018). Evolution of 21st century sea level rise projections. Earth's Future, 6(11), 1603-1615.
- Golledge, N. R. et al. (2015) *The multi-millennial Antarctic commitment to future sea-level rise*. Nature 526, 421–425.
- Hieronimus, M. och Kalén, O. (2020). *Sea-level rise projections for Sweden based on the new IPCC special report: The ocean and cryosphere in a changing climate*. Ambio (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01313-8>

- Intergovernmental Panel on Climate Change., Houghton, J. T., Intergovernmental Panel on Climate Change., & World Meteorological Organization. (1990). IPCC first assessment report. Geneva: WMO.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, 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, 1535 pp
- IPCC (2019): *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Johansson, L. (2020). Extremvattenstånd i Stockholms län.
- Katsman, C.A., Sterl, A., Beersma, J.J., van den Brink, H.W. , Hazeleger, W. and 15 co-authors (2011) *Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta - the Netherlands as an example*, Climatic Change, 2011, doi:10.1007/s10584-011-0037-5.
- Levermann, A., Clark, P. U., Marzeion, B., Milne, G. A., Pollard, D., Radic, V., and Robinson, A. (2013). *The multimillennial sea-level commitment of global warming*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(34), 13745- 13750.
- Länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands, Västmanlands, Uppsala och Örebro län, (2011), *Mälaren om 100 år - förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden*, Länsstyrelsen, ISBN 978-91-7281-448-6.
- Meehl, G.A., Hu, A., Tebaldi, C., Arblaster, J.M., Washington. W.M., Teng, H., Sanderson, B.M., Ault, T., Strand, W.G. och White III, J.B. (2012) *Relative outcomes of climate change mitigation related to global temperature versus sea-level rise*. Nature Climate Change, Vol 2, August 2012, www.nature.com/natureclimatechange
- Meredith, M., M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M.M.C. Muelbert, G. Ottersen, H. Pritchard, and E.A.G. Schuur, (2019): *Polar Regions. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].
- Mitrovica, J. X., Tamisiea, M. E., Davis, J. L., and Milne, G. A. (2001) Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change. Nature, 409(6823), 1026-1029.
- Morlighem, M., Rignot, E., Binder, T., Blankenship, D., Drews, R., Eagles, G., & Goel, V. (2020). Deep glacial troughs and stabilizing ridges unveiled beneath the margins of the Antarctic ice sheet. Nature Geoscience, 13(2), 132-137.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S. Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. och Wilbanks, T.J. (2010) *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*. Nature, 463 (7282), 747-756.
- Naturvårdsverket (2013) *FN:s klimatpanel Klimatförändring 2013. Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare*. Bidrag från arbetsgrupp I (WG I) till den femte utvärderingen från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. Rapport 6592.

- Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, (2019): *Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities*. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press
- Pattyn, F., Ritz, C., Hanna, E., Asay-Davis, X., DeConto, R., Durand, G., and Munneke, P. K. (2018). *The Greenland and Antarctic ice sheets under 1.5° C global warming*. *Nature Climate Change*, 8(12), 1053-1061.
- Rummukainen, M., Johansson, D.J.A., Azar, C., Langner, J., Döscher, R. and Smith, H. (2011) *Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av naturvetenskapliga aspekter*. SMHI Klimatologi Nr. 4, ISSN: 1654-2258. http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.17826!RAPPORT_klimatologi%20nr%204.pdf
- Schaeffer, M., Hare, W., Rahmstorf, S. and Vermeer, M. (2012) Long-term sea-level rise implied by 1,5 °C and 2 °C warming levels. *Nature Climate Change* DOI: 10.1038/NCLIMATE1584 www.nature.com/natureclimatechange. Macmillan Publishers Limited.
- Schlegel, N.J., Seroussi, H., Schodlok, M. P., Larour, E. Y., Boening, C., Limonadi, D., Watkins, M. M., Morlighem, M., and van den Broeke, M. R. (2018): *Exploration of Antarctic Ice Sheet 100-year contribution to sea level rise and associated model uncertainties using the ISSM framework*, *The Cryosphere*, 12, 3511–3534, <https://doi.org/10.5194/tc-12-3511-2018>.
- SMHI (2017). *Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust*. SMHI Klimatologi Nr 41.
- Stensen, B., Andréasson, J., Bergström, J., Dahné, J., Eklund, D., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., Martinsson, S., Nerheim, S. och Wern, L. (2010). *Regional klimatsammanställning – Stockholms län*. SMHI Rapport Nr. 2010-78.
- Sweet, W.V., Horton, R., Kopp, R.E., LeGrande, A.N. and Romanou, A. (2017b) *Sea level rise*. In: *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I* [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 333-363, doi:10.7930/J0VM49F2
- Vestøl, O., Ågren, J., Steffen, H., Kierulf, H., & Tarasov, L. (2019). NKG2016LU: a new land uplift model for Fennoscandia and the Baltic Region. *Journal of Geodesy*, 93(9), 1759-1779.
- World Bank (2012) *Turn Down Heat the Heat – Why a 4° warmer World Must be Avoided*. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. November 2012, Washington DC.

11.1 Webbplatser

- Boverket. (den 28 februari 2019). *PBL Kunskapsbanken - en handbok om plan- och bygglagen*. Hämtat från https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/tidsperspektiv/ den 24 september 2020
- IPCC. (den 29 september 2020). *About the IPCC*. Hämtat från <https://www.ipcc.ch/about/>
- Klimatanpassning. (den 30 juni 2020). *Myndigheternas regeringsuppdrag 2020*. Hämtat från <https://www.klimatanpassning.se/vem-gor-vad/vad-gor-myndigheterna/myndigheternas-regeringsuppdrag-2020-1.157874> den 24 september 2020
- Klimatanpassning. (den 30 juni 2020). *Nationellt*. Hämtat från <https://www.klimatanpassning.se/vem-gor-vad/det-offentliga-ansvaret/nationellt-1.26917> den 24 september 2020
- Klimatanpassning. (den 12 mars 2020). *Om oss*. Hämtat från <https://www.klimatanpassning.se/om-oss/om-oss-1.156318> den 24 september 2020
- Klimatanpassning. (den 30 juni 2020). *Vem gör vad*. Hämtat från <https://www.klimatanpassning.se/vem-gor-vad/det-offentliga-ansvaret/nationellt-1.26917> den 24 september 2020
- Klimatanpassningsrådet. (u.d.). *Nationella expertrådet för klimatanpassning*. Hämtat från <https://klimatanpassningsradet.se/> den 24 september 2020
- Regeringskansliet. (u.d.). *Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI*. Hämtat från <https://www.regeringen.se/myndigheter-med-flera/sveriges-meteorologiska-och-hydrologiska-institut-smhi/> den 28 september 2020
- SMHI. (den 1 april 2020). *Fakta om Mälaren*. Hämtat från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/fakta-om-malaren-1.5089> den 24 september 2020
- SMHI. (u.d.). *IPCC Nationell kontaktpunkt*. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimat/ipcc/ipcc> den 24 september 2020
- SMHI. (u.d.). *Kunskapscentrum för klimatanpassning*. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhallet/nationellt-kunskapscentrum-for-klimatanpassning> den 24 september 2020
- Stockholms stad. (den 17 februari 2017). *Översvämningsriskerna i Mälaren*. Hämtat från <https://vaxer.stockholm/projekt/slussen/slussen-klimatanpassas/> den 28 september 2020

Denna sida är avsiktligt blank

SMHI

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