



Länsstyrelsen  
Västernorrland

## Havsnivåer i dagens och framtidens klimat i Västernorrlands län



**Omslagsbild:** Vy över havet från fartyget R/V Svea  
**Fotograf:** Ola Kalén, SMHI

Länsstyrelsen Västernorrlands publikationsserie  
ISSN 1403-624X

**Publikationsnummer:** 2022:2

**Diarienummer:** 424-12085-2021

**Författare:** Maria Andersson, SMHI

**Granskare:** Elin Andrée, SMHI

Denna publikation går att beställa i alternativt format.

**Kontaktuppgifter:**

Länsstyrelsen Västernorrland

Postadress: 871 86 Härnösand

Telefon: 0611-34 90 00

E-post: [vasternorrland@lansstyrelsen.se](mailto:vasternorrland@lansstyrelsen.se)

Webb: [www.lansstyrelsen.se/vasternorrland](http://www.lansstyrelsen.se/vasternorrland)

## Sammanfattning

På uppdrag av Länsstyrelsen Västernorrland har SMHI tagit fram uppgifter om havsnivåer i dagens och framtidens klimat inom länet. Framtida medelvattenstånd för kustkommunerna inom länet har tagits fram utifrån olika utsläppsscenarioer och för olika tidshorisonter, vilka valts av länsstyrelsen. Extrema havsnivåer (höga) med upp till 200 års återkomstperiod har beräknats gällande för öppna kusten. Därtill har skattningar av ytterligare vinduppstuvningseffekt utförts för ett antal fjärdar i länet.

Resultaten kan sammanfattas enligt följande:

- På kort sikt, fram till år 2050, förväntas medelvattenståndet i Västernorrlands län inte bli särskilt annorlunda från idag och det skiljer inte särskilt mycket mellan de olika klimatscenarierna.
- På längre sikt skiljer det mer mellan de olika scenarierna, särskilt bortom år 2100. Det är framförallt under det mycket höga utsläppscenariot som framtida medelvattenstånd i länet kan bli högre, särskilt då osäkerheterna beaktas. Under övriga scenarier förväntas snarare ett lägre medelvattenstånd i länet jämfört med idag.
- Extremnivåer beräknade utifrån olika mätserier inom länet ger liknande resultat för de olika återkomstperioderna. Vattenstånd med 100 och 200 års återkomsttid har beräknats till ca 125 cm respektive 135 cm i RH 2000 utifrån en längre mätserie vid öppna kusten i södra delen av länet. Det kan vara värdefullt att beakta tillhörande konfidensintervall för att få en uppfattning om osäkerheten i värdena.
- Extremnivåer antas inte bli mer extrema eller mer frekventa i ett framtida klimat utan istället antas att dessa händelser överlagras medelvattenståndet. Till följd av ett förändrat medelvattenstånd ändras utgångsläget för tillfälliga högvattenhändelser. Detta medför att extremnivåerna i länet blir ungefär desamma som idag på kort sikt. På längre sikt blir extremnivåerna lägre än idag under ett lågt och medelhögt scenario, men högre än idag under ett mycket högt scenario (osäkerheter ej beaktade).
- För extremnivåer representativa längst in i fjärdar bör ytterligare vinduppstuvningseffekt beaktas i tillägg till extremnivåer representativa för öppna kusten. Vid exponerad kust bör även vågeffekter beaktas.

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 (prop. 2017/18:163) är att vid riskvärdering och planering av anpassningsåtgärder bör ett framtida klimat analyseras utifrån olika utsläppsscenarioer och beakta flera möjliga utfall utifrån dessa (Boverket, 2020).

Vilken extremnivå som är lämplig att använda vid samhällsplanering kan variera. 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 till nya förutsättningar. Det ingår inte i SMHI:s 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 medelvattenstånd. De uppgifter om framtida havsnivåer som anges i denna rapport kommer därmed att behöva uppdateras i takt med att kunskapsläget utvecklas. SMHI rekommenderar att länsstyrelsen fortlöpande följer denna kunskapsutveckling.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Ordlista</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund och syfte</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Havsvattenstånd</b>	<b>10</b>
3.1	Mätstationer i Västernorrlands län .....	10
3.2	Medelvattenstånd och höjdsystem .....	12
3.3	Höga havsvattenstånd .....	13
3.3.1	Extrema havsvattenstånd och återkomsttider .....	14
3.4	Vinduppstuvning .....	15
3.5	Högvattenhändelser i Västernorrlands län .....	15
3.6	Jämförelse av vattenstånd vid Lunde och Spikarna/Skagsudde .....	20
3.7	Global havsnivåhöjning .....	22
3.8	Landhöjning.....	27
<b>4</b>	<b>Metodik</b>	<b>29</b>
4.1	Framtida medelvattenstånd.....	29
4.2	Extrema havsvattenstånd.....	31
4.2.1	Extrema havsvattenstånd i framtida klimat .....	33
4.3	Vinduppstuvning .....	34
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>36</b>
5.1	Havsnivåförändring i Västernorrlands län .....	36
5.2	Framtida medelvattenstånd i Västernorrlands län.....	39
5.2.1	Sundsvall kommun .....	40
5.2.2	Timrå kommun .....	41
5.2.3	Härnösand kommun.....	42
5.2.4	Kramfors kommun .....	43
5.2.5	Örnsköldsvik kommun .....	44
5.3	Extrema havsvattenstånd i Västernorrlands län .....	45
5.4	Vinduppstuvning i fjärdar.....	50
<b>6</b>	<b>Diskussion och slutsatser</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Bilaga</b>	<b>57</b>
8.1	Datatillgänglighet.....	57
8.2	Havsnivåförändring i Västernorrlands län .....	59
8.2.1	Timrå kommun .....	59
8.2.2	Härnösand kommun.....	61
8.2.3	Kramfors kommun .....	63
8.2.4	Örnsköldsvik kommun .....	65

# 1 Ordlista

<b>IPCC</b>	IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - är FN:s mellanstatliga klimatpanel. IPCC utför ingen egen forskning utan sammanställer det rådande vetenskapliga kunskapsläget kring klimatförändringar, konsekvenser, sårbarhet och möjliga lösningar. I augusti 2021 publicerade IPCC sammanställningen AR6 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden, med uppdaterade projektioner för framtida medelvattenstånd (Masson-Delmotte, o.a., 2021). Rapporten är Arbetsgrupps 1 bidrag till den sjätte utvärderingsrapporten (AR6).
<b>Projektion</b>	En projektion beskriver hur klimatet reagerar på en viss framtida påverkan utifrån olika antaganden.
<b>Klimatscenario</b>	Klimatscenario är en beskrivning av en tänkbar klimatutveckling i framtiden med hjälp av antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser.
<b>Växthusgas</b>	Atmosfären som omger jorden har förmågan att bevara energin från solen så att jordytan blir varmare än vad den skulle varit om atmosfären inte fanns. Den så kallade naturliga växthuseffekten bygger på naturlig förekomst av en viss mängd vattenånga och koldioxid i atmosfären. Vattenånga och koldioxid är de viktigaste växthusgaserna. Atmosfärens sammansättning har sedan den förindustriella tiden successivt förändrats på grund av mänsklig aktivitet. De vanligaste växthusgaserna som vi människor släpper ut är koldioxid, metan, dikväveoxid (lustgas) och ozon, men även en rad industrigaser spelar roll.
<b>Strålningsdrivning</b>	Strålningsdrivningen är skillnaden mellan hur mycket energi solinstrålningen som träffar jorden innehåller och hur mycket energi som jorden strålar ut i rymden igen. Denna energi mäts i enheten watt per kvadratmeter, W/m <sup>2</sup> . Strålningsdrivningen ökar då mängden växthusgaser ökar i atmosfären, vilket resulterar i en global ökning av temperaturen på jorden. För att studera framtida klimat finns ett antal scenarier utifrån strålningsdrivning att utgå ifrån, så kallade RCP-scenarier.

## **RCP**

RCP - Representative Concentration Pathways - är ett antal scenarier som beskriver möjliga utvecklingsvägar för strålningsbalansen och ger information om klimatförändringarna vid olika halter av växthusgaser i atmosfären. RCP-scenarierna benämns utifrån den nivå av strålningsdrivning i  $W/m^2$  som uppnås år 2100. I det lägsta RCP-scenariot handlar det om 1,9 och i det högsta 8,5  $W/m^2$ . RCP-scenarierna är inte klimatpolitiska scenarier utan kan nås genom en mängd olika kombinationer av ekonomiska, teknologiska, demografiska och politiska utvecklingar.

## **SSP**

SSP - Shared Socioeconomic Pathways - är ett antal scenarier som beskriver olika socioekonomiska utvecklingar och som används i klimatmodeller. SSP-scenarierna bygger på fem olika spår som ger ett litet urval av olika möjliga framtida världar. Urvalet är ämnat att omfatta ett brett spektrum av framtida samhällsutvecklingar. I projektionerna för framtida utsläpp tas hänsyn till implementering av klimatpolitik som syftar till att minska utsläppen av växthusgaser. På så sätt har klimatscenarierna en koppling till när eller om vi når specifika utsläppsnivåer av växthusgaser. De olika SSP-scenarierna skiljer sig åt bland annat gällande befolkningsutveckling, jämlikhet, energianvändning och globala koldioxidutsläpp. I IPCC:s sjätte utvärderingsrapport har SSP-scenarierna kombinerats med RCP-scenarierna utifrån förväntad strålningsdrivning år 2100. Sammantaget representerar de lägre klimatscenarierna en framtida utveckling där vi når nettonollutsläpp inom de kommande årtiondena, medan de högre scenarierna representerar en kraftig fortsatt utsläppsökning.

## **Återkomsttid**

Återkomsttid är ett mått på hur ofta förekomsten av extrema naturliga händelser kan förväntas. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Ett värde som har en återkomsttid på 100 år uppnås eller överträffas i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten är en (1) procent varje enskilt år. Eftersom man exponeras för händelsen under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärt större, exempelvis blir den ackumulerade sannolikheten 63 procent att 100-årshändelsen överskrids minst en gång under en 100-årsperiod.

**Konfidensintervall** Konfidensintervall är en skattning av osäkerheten associerad med beräkningar utifrån en begränsad mängd data. Konfidensintervallet bestäms för en given konfidensgrad, exempelvis 90 procent. Storleken av konfidensintervallet påverkas exempelvis av den underliggande dataseriens längd, vald konfidensgrad samt variabiliteten av dataunderlaget.



## 2 Bakgrund och syfte

Länsstyrelsen Västernorrland har behov av regionalt underlag om havsnivåer, såväl framtida medelvattenstånd som extremnivåer. Underlaget behövs bland annat vid granskning av kommunala planer och andra önskemål om byggnation vid havet. SMHI har därför, på uppdrag av länsstyrelsen, tagit fram ett regionalt underlag avseende havsnivåer för Västernorrlands län i dagens och framtidens klimat.

IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) är FN:s mellanstatliga klimatpanel. IPCC utför ingen egen forskning utan sammanställer det vetenskapliga kunskapsläget kring klimatförändringar, konsekvenser, sårbarhet och möjliga lösningar. Detta görs bland annat i form av rapporter med hjälp av underlag från tusentals forskare och experter världen över.

I augusti 2021 publicerade IPCC sammanställningen AR6 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden (Masson-Delmotte, o.a., 2021). Uppgifter om havsnivåer i framtida klimat för Västernorrlands län baseras på information från denna sammanställning.

Länsstyrelsen Västernorrland har valt klimatscenarierna SSP1-2.6, SSP2-4.5 och SSP5-8.5 för tidshorisonterna 2050, 2100 respektive 2150. Varken IPCC eller SMHI gör någon bedömning av sannolikheten av de olika utsläppsscenarierna eftersom det beror på politiska beslut och människors agerande framöver.

### 3 Havsvattenstånd

Havsvattenståndet på en plats är effekten av många faktorer som verkar med olika kraft och variation över tiden. Vindar, lufttryck, landhöjning och världshavens vattenstånd är de viktigaste faktorerna som påverkar vattenståndet. Längs de svenska kusterna är det framförallt lufttrycket och vindarna över Nordsjön, Västerhavet och Östersjön som påverkar vattenståndet på kort sikt, men även periodiska svängningar i havsbassängerna, så kallad vattenpendling.

Generellt är havsvattenståndet ofta högt under höst och vinter då det passerar många lågtryck, och lågt under vår och sommar då det ofta är högtryck och svagare vindar. Vädersystem kan medföra att vatten pressas in i eller ut ur Östersjön via Öresund och Bälten om en stabil tryckskillnad föreligger mellan Östersjön och Västerhavet. Det kan även orsaka en snedställning av hela Östersjön med relativt stora nivåskillnader mellan nord och syd eller mellan väst och öst.

#### 3.1 Mätstationer i Västernorrlands län

SMHI och Sjöfartsverket har pågående mätningar av havsvattenstånd vid tre mätstationer inom Västernorrlands län; Spikarna, Lunde respektive Skagsudde, se Figur 1. Stationernas position och driftperiod anges i Tabell 1.

SMHI:s mätningar vid Skagsudde påbörjades i maj 1982 och lades ner i juli 2018. Stationen lades ner eftersom även Sjöfartsverket har en mätstation vid Skagsudde, vilken driftsattes i april 2009 och är i drift även idag. Under några år i början av åttiotalet (1982-1987) och även under tidigt nittital (1990-1992) saknas tillförlitliga data, men därefter är tillgängligheten av tillförlitlig data god. Den sammanslagna mätserien vid Skagsudde utgör 31 år med data av tillförlitlig kvalitet.

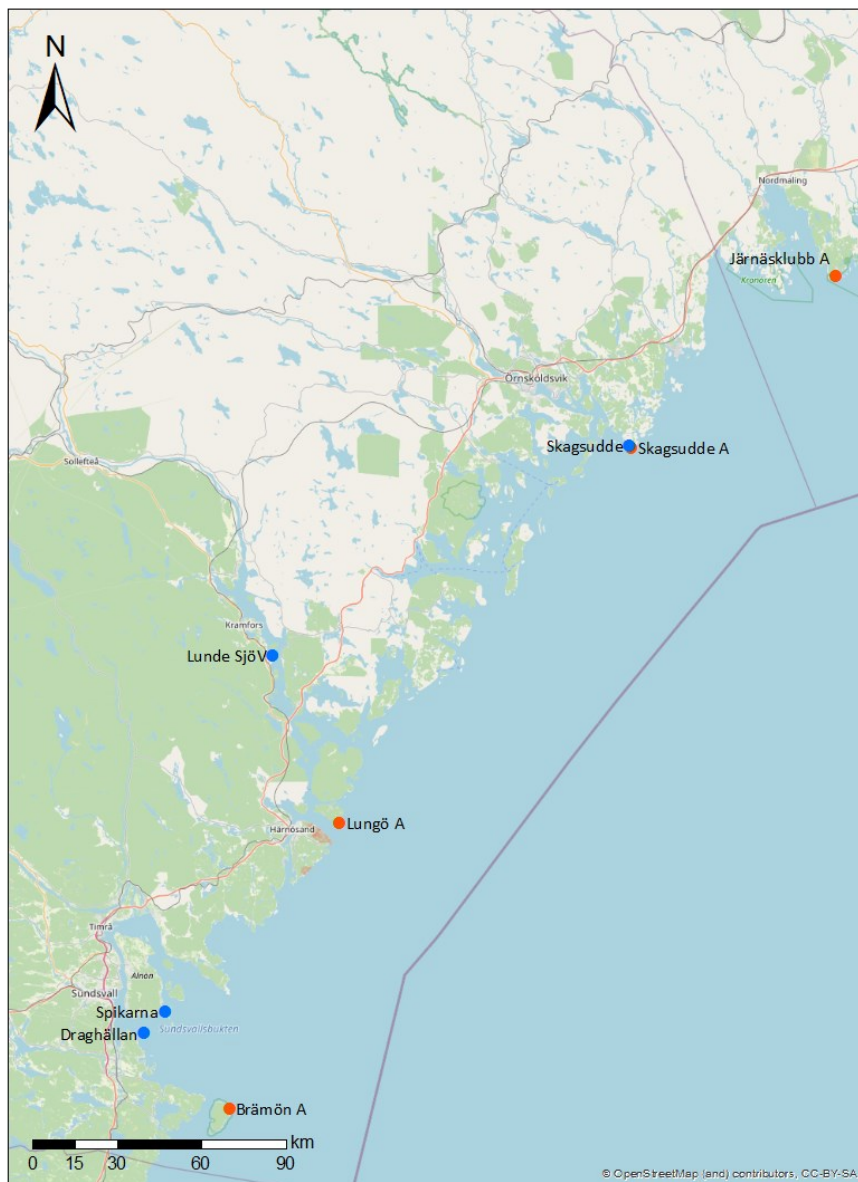
SMHI:s mätningar vid Spikarna startade i september 1968 och pågår idag. Dessförinnan mättes havsvattenståndet vid stationen Draghällan som startade redan i oktober 1897. Mätstationen i Draghällan lades ner i juni 1969 efter att mätningar utförts parallellt en tid vid Spikarna och stationen kunde ersättas. Den sammanslagna mätserien Draghällan och Spikarna utgör 122 år med data av tillförlitlig kvalitet, vilket utgör ett gott underlag statistiskt sett. Mätserien vid Spikarna utgör 54 år med data av tillförlitlig kvalitet. Både den sammanslagna mätserien Draghällan och Spikarna och enbart mätserien från Spikarna har analyserats.

Sjöfartsverkets mätstation vid Lunde är placerad i Ramöfjärden på väg in mot Kramfors. Stationen driftsattes i mars 2019 och utgör inte en tillräckligt lång mätserie för att beräkna extrema havsvattenstånd utifrån. Mätserien har ändå analyserats och jämförts med mätserien vid Spikarna och Skagsudde för att få en uppfattning om hur vattenståndet inne i fjärden förhåller sig till vattenståndet vid öppna kusten, särskilt vid höga havsvattenstånd.

Utöver vattenståndsstationerna inom Västernorrlandslän har även uppgifter om havsvattenståndet vid mätstationerna i Ratan och Furuögrund, längre norrut

använts inom detta uppdrag för att få en uppfattning om vattenståndet längs kusten vid tillfälliga högvattenhändelser.

I Figur 1 visas även positioner av meteorologiska stationer varifrån uppgifter om vindhastighet och riktning samt lufttryck hämtats. Mätseriernas datatillgänglighet visas i Bilaga 8.1.



**Figur 1. Kartbild över vattenståndstationer (blå punkter) och meteorologiska stationer (orangea punkter) i Västernorrlands län som studerats i denna utredning.**

**Tabell 1. Stationsnummer, position och driftperiod av SMHI:s och Sjöfartsverkets mätstationer av havsvattenstånd inom Västernorrlands län.**

Mätstation	Stationsnummer	Position	Driftsatt	I drift till
Draghällan	2062	62,3333 17,4667	1897-10-10	1969-06-01
Spikarna	2061	62,3633 17,5311	1968-09-24	Aktiv
Lunde SjöV	35209	62,8865 17,8764	2019-03-25	Aktiv
Skagsudde	2321	63,1906 19,0125	1982-05-26	2018-07-11
Skagsudde SjöV	35138	63,1906 19,0119	2009-04-23	Aktiv

## 3.2 Medelvattenstånd och höjdsystem

Tillsammans med Sjöfartsverket mäter SMHI vattenståndet vid ett sextiotal platser längs den svenska kusten. Vattenståndet mäts och observationer presenteras i Sveriges nationella höjdsystem, Rikets Höjdsystem 2000 (RH 2000), men kan också anges relativt ett platsspecifikt medelvattenstånd som varierar över tid.

Årets medelvattenstånd används som referensnivå när vattenstånd anges relativt medelvattenståndet. När medelvattenståndet beräknas filtreras mellanårsvariationer och långsamma trender som havsnivåhöjning och landhöjning bort.

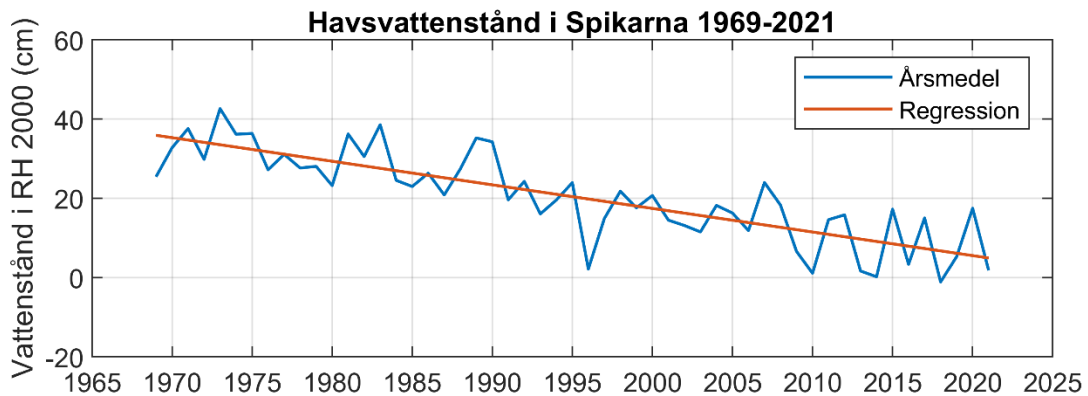
SMHI tar regelbundet fram årets medelvattenstånd för varje mätstation längs Sveriges kust. Medelvattenstånden representerar havets genomsnittliga nivå över åren och utgör en relativ referensnivå. Höga och låga vattenstånd som inträffar under året pendlar kring den nollnivå som definieras av årets beräknade medelvattenstånd.

Årets medelvattenstånd är inte samma sak som beräknat årsmedelvärde. Årsmedelvärdet är det statistiska medelvärdet av alla observationer vid en station under ett år. Årets medelvattenstånd, eller medelvattenståndet om inte ett specifikt år avses, är istället ett värde längs en regressionslinje som applicerats på samtliga års årsmedelvärden.

Genom att använda regressionslinjen som referens för medelvattenståndet istället för det statistiska årsmedelvärdet eller ett fast höjdsystem som exempelvis RH 2000 går det att jämföra extrema händelser som inträffat olika år med varandra på ett helt annat sätt, även i områden där landhöjningen är stor.

I Figur 2 visas beräknade årsmedelvärden i RH 2000 och tillhörande regressionslinje för havsvattenståndet vid mätstation i Spikarna. Figuren visar skillnaden mellan de varierande årsmedelvärdena och den raka regressionslinjen som beskriver medelvattenståndet. Vissa år är årsmedelvärdet betydligt högre än medelvattenståndet, andra år lägre. Att det blir så beror på storskaliga regionala variationer i vädret som har längre tidskalor än ett år.

Regressionslinjens lutning och höjdnivå är beroende av vilken tidsperiod som väljs, i exemplet nedan har hela mätseriens längd använts. Att havsvattenståndet i Spikarna i RH 2000 sjunker över tid beror på att takten på nuvarande havsnivåhöjning är lägre än den pågående landhöjningen vid Spikarna.



**Figur 2. Tidsserie över årsmedelvärden av havsvattenståndet i Spikarna i cm i RH 2000 samt en regressionslinje. Att vattenståndet i Spikarna i RH 2000 sjunker över tid beror på att takten på havsnivåhöjningen är lägre än landhöjningen.**

Medelvattenståndet i cm vid mätstationerna Spikarna, Skagsudde, Ratan och Furuögrund år 2022 relativt medelvattenståndet och i höjdsystemet RH 2000 listas i Tabell 2. Tabellen visar att det endast skiljer några cm mellan RH 2000 och relativt medelvattenståndet. För att räkna om en uppgift av havsvattenståndet angivet relativt medelvattenståndet till höjdsystemet RH 2000 skall, exempelvis 1,2 cm subtraheras för Skagsudde år 2022.

**Tabell 2. Medelvattenståndet vid Spikarna, Skagsudde, Ratan och Furuögrund år 2022 angivet i cm relativt medelvattenståndet (MV) samt i RH 2000.**

Mätstation	Relativt MV	RH 2000
Spikarna	0	-0,1
Skagsudde	0	-1,2
Ratan	0	1,6
Furuögrund	0	-0,3

### 3.3 Höga havsvattenstånd

Tillfälligt höga havsvattenstånd inträffar vanligen vid djupa lågtryckspassager då det ofta är kraftiga vindar. Vindens hastighet och riktning samt dess varaktighet och även hur kusten är utformad är faktorer som påverkar hur högt havsvattenståndet tillfälligt stiger vid en lågtryckspassage. Stora lokala variationer förekommer.

Hur högt havsvattenståndet blir tillfälligt beror även på hur högt vattenståndet är innan det börjar blåsa. Vid blåsiga och lågtrycksbetonade höstar brukar Östersjön långsamt att fyllas allt mer och när det därefter passerar ytterligare ett lågtryck har havsvattenståndet ett högre utgångsläge vilket leder till att det totala vattenståndet blir högre än om det hade startat från ett lägre utgångsläge. Många av Östersjöns vattenståndsrekord har inträffat under perioder då det generella havsvattenståndet varit förhöjt.

Efter perioder med friska till hårda vindar kan vattnet i Östersjön sättas i gungning, likt vattnet i ett badkar som skvalpar fram och tillbaka, vilket kan förstärka hög- eller lågvattenhändelser ytterligare. Svängningarna ger störst utslag vid Östersjöns ändar, alltså i Bottenviken och norra Bottenhavet och i södra Östersjön. Havsvattenståndet längs Västernorrlands län vid Bottenhavet påverkas alltså av dessa tillfälliga långperiodiska svängningar i Östersjön.

### 3.3.1 Extrema havsvattenstånd och återkomsttider

Hur vanlig eller ovanlig en händelse är kan beskrivas med hjälp av begreppet återkomsttid. Begreppet används ofta vid dimensionering, då en byggnad eller konstruktion ska anpassas för att klara av ett visst havsvattenstånd eller ett visst flöde. Återkomsttider kan beräknas för olika parametrar, förutsatt att det finns relevanta mätdata. Det kan exempelvis vara havsvattenstånd, vindhastighet, regnmängd eller vattenflöde.

Återkomsttid är alltså ett mått på hur ofta förekomsten av extrema naturliga händelser kan förväntas. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Återkomsttider kan beräknas med statistiska metoder genom extremvärdesanalys av långa serier av kontinuerliga mätningar.

Vilken återkomsttid som är lämplig att använda beror på vad som planeras, objektets planerade livslängd, vilka konsekvenser ett överskridande av värdet får och vilken risk som bedöms vara acceptabel. Det måste avgöras från fall till fall och sammanvägas med de kostnader en högre säkerhetsmarginal innebär kontra de kostnader exempelvis en översvämning skulle kunna orsaka.

En händelse med exempelvis 100 års återkomsttid uppnås eller överträffas i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten är  $1/100 = 1$  procent varje enskilt år. Eftersom en konstruktion exponeras för en händelse under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärt större. För en konstruktion med en beräknad livslängd på 100 år blir den ackumulerade sannolikheten hela 63 procent att 100-årshändelsen överskrids någon gång under 100 år, se Tabell 3. Det är alltså mer troligt att konstruktionen kommer att utsättas för en sådan händelse under sin beräknade livslängd på 100 år än att den inte gör det. Dessutom är det inte otänkbart att en händelse med 100 års återkomsttid uppkommer två år i följd. Att en 100-årshändelse inträffat ett specifikt år påverkar inte sannolikheten att det inträffar nästföljande år, eftersom dessa händelser får antas vara oberoende av varandra.

Vid planering av kritiska konstruktioner eller verksamheter efterfrågas ibland mått på händelser som är mycket ovanliga. Att beräkna extremvärden med mycket låg sannolikhet utifrån mätdata medför dock stora osäkerheter eftersom den underliggande mätserien sällan är mer än cirka 100 år lång. En begränsning vid beräkning av återkomstvärden utifrån mätningar är att endast händelser som har inträffat under mätperioden påverkar värdena. Risken att en avvikande händelse med 1000 års återkomsttid inte inträffat under en period på 100 år är hela 90 procent (se Tabell 3). Sannolikheten att en så pass ovanlig händelse

inträffat under de år då mätningar utförts är alltså låg och därför kan det beräknade extremvärdet bli missvisande.

Beräknade återkomstvärden baserade på en begränsad mätserie är förknippade med osäkerheter. Ju kortare underliggande mätserie desto större osäkerheter i beräknade värden. Som mått på osäkerheten av beräknade återkomstvärden anges vanligen ett tillhörande konfidensintervall på exempelvis 90 eller 95 procent.

**Tabell 3. I tabellen visas sannolikheten att en händelse med en viss återkomsttid överskrids varje enskilt år samt den ackumulerade sannolikheten att en händelse överskrids minst en gång under en period av år.**

Återkomst- tid (år)	Årlig sannolikhet (%)	Sannolikhet under 5 år (%)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
5	20	67	89	99,9	99,9
10	10	41	65	99	99,9
50	2	10	18	64	87
100	1	5	10	40	63
200	0,5	2	5	22	39
1000	0,1	0,5	1	5	10

### 3.4 Vinduppstuvning

Vid kraftiga pålandsvindar pressas vatten in mot kusten där vattnet ansamlas, vattenståndet stiger och en snedställning av vattenytan uppkommer, så kallad vinduppstuvning. Vinduppstuvningseffekten kan bli ännu större i en fjärd eller vik än längs den öppna kusten. Ju högre vindhastighet i fjärdens riktning desto större vinduppstuvningseffekt. Vinduppstuvningen blir större i en långgrund fjärd med bred mynning än i en djup fjärd med smal mynning.

I början av förloppet kan vattenytan svänga i en lång vågrörelse. Vid en varaktig vind nås ett jämviktstillstånd mellan vindens skjuvkrafter mot ytan och vattenytans lutning, som håller i sig så länge vinden varar. Under insvängningsförloppet kan vinduppstuvningen i fjärden kortvarigt nå nivåer som är högre än jämviktstillståndet.

De flesta av SMHI:s mätstationer av havsvattenstånd är placerade vid öppna kusten, som exempelvis mätstationerna Spikarna och Skagsudde i Västernorrlands län. Vid tillfälliga högvattenhändelser längs Västernorrlands kust kan vattenståndet i fjärdar bli ytterligare högre än vid mätstationerna vid Spikarna och Skagsudde.

### 3.5 Högvattenhändelser i Västernorrlands län

För att få en förståelse av vilka väderförhållanden som ger upphov till tillfälliga högvattenhändelser har ett antal högvattenhändelser från mätstationerna vid Spikarna och Skagsudde studerats i kombination med vindhastighet och vindriktning från närliggande meteorologiska stationer. Tre av de högsta högvattenhändelserna som inträffat i länet har valts, februari 2002, december

2011 och januari 1984. Utöver vattenståndet vid Spikarna och Skagsudde visas även vattenståndet vid Ratan och Furuögrund som ligger längre norrut.

Vattenståndet vid Spikarna, Skagsudde, Ratan och Furuögrund samt vindens hastighet och riktning vid Skagsudde A under lågtryckspassagen i februari 2002 visas i Figur 3. Rekordhöga vattenstånd noterades vid flera mätstationer i området vid detta tillfälle, däribland vid Skagsudde där vattenståndet uppmättes till 131 cm över medelvattenståndet, vilket är toppnoteringen för mätstationen. Även vid Spikarna noterades höga vattenstånd på ca 120 cm över medelvattenståndet. Vidare längre norrut, vid Ratan och Furuögrund, var vattenståndet ca 140 cm över medelvattenståndet, vilket är rekordnoteringen för Ratan. Sydliga till sydostliga vindar med en hastighet på ca 20 m/s rådde då högsta vattenstånden uppnåddes. När vinden klingar av sjunker vattenståndet snabbt.

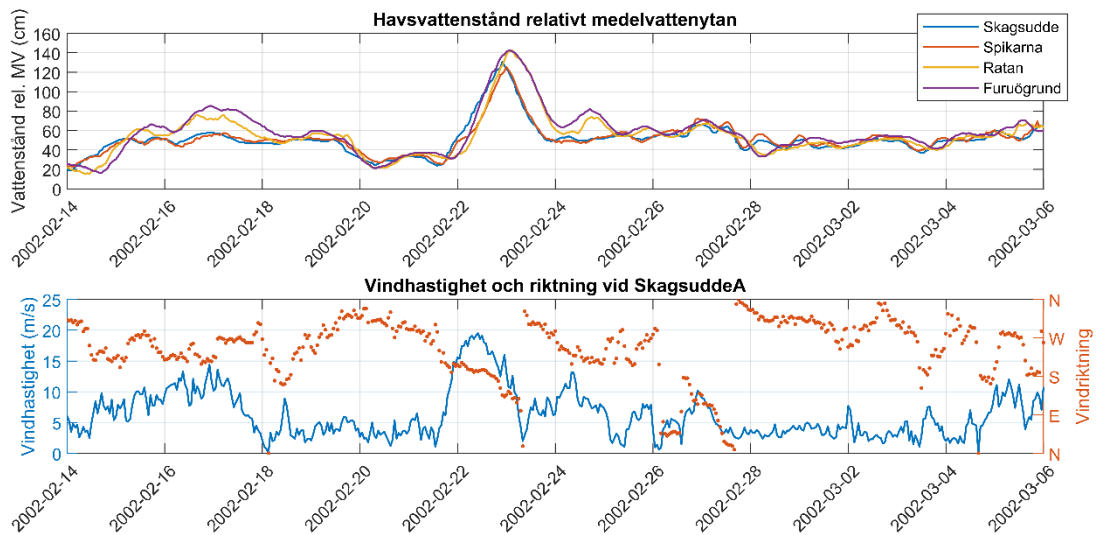
Lågtryckets bana samt lufttrycket vid tidpunkten för det högsta uppmätta vattenståndet i februari 2002 visas Figur 4. Lågtrycket rörde sig på en nordlig bana från strax norr om Island till Nordnorge. Samtidigt bildades ett dellågtryck över Svealand som rörde sig upp mot Norra Kvarken. Detta medförde kraftiga sydliga till sydostliga vindar över Bottniska viken och delvis även över Östersjön under 1-1,5 dygn. Dellågtrycket som bildades var mycket djupt, cirka 955 hPa i centrum, vilket bidrog till de höga vattenstånden.

I Figur 5 visas vattenståndet vid Spikarna, Skagsudde, Ratan och Furuögrund samt vindens hastighet och riktning vid Skagsudde A under lågtryckspassagen i december 2011. Höga havsvattenstånd på cirka 120 cm över medelvattenståndet noterades både vid Skagsudde och Spikarna. Vindar mellan syd och ost med hastigheter på cirka 20 m/s rådde vid tillfället. Lågtrycket rörde sig med sitt centrum i gränsområdet mellan Ålands hav och Bottenhavet, se Figur 6. Norr om lågtrycket rådde kraftiga vindar i sektorn mellan syd och ost, vilket pressade vatten mot den svenska Bottenhavskusten.

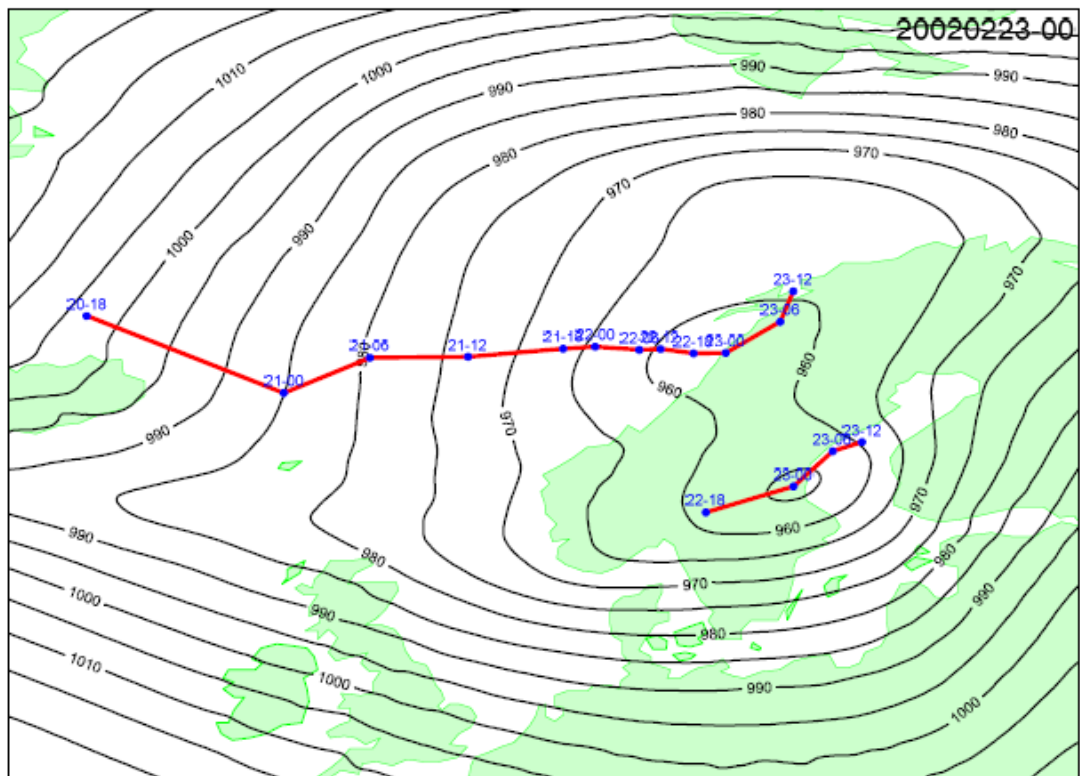
Det högsta uppmätta vattenståndet vid Spikarna uppmättes till 127 cm över medelvattenståndet och inträffade i januari 1984, se Figur 7. Även vid denna högvattenhändelse rådde vindar mellan syd och ost med topphastigheter uppemot 25 m/s. Två lågtryck passerade i området med några dygns mellanrum. Det första rörde sig norrut nära gränsen mellan Sverige och Norge. Det andra rörde sig på en sydligare bana från Nordsjön mot sydligaste Finland, se Figur 8. Högsta uppmätta vattenstånd noterades även i Kalix och Furuögrund vid dessa lågtryckspassager.

Extremt höga vattenstånd i havet är relativt kortvariga, med en varaktighet på upptill 12 till 24 timmar. En högvattenhändelses varaktighet beror i stor utsträckning på lågtryckets förlopp.

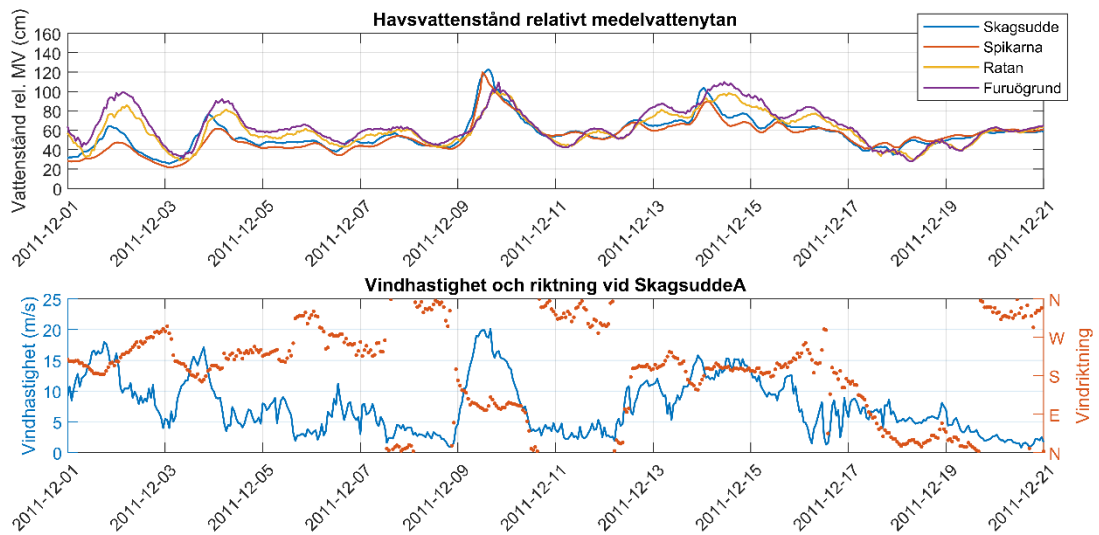




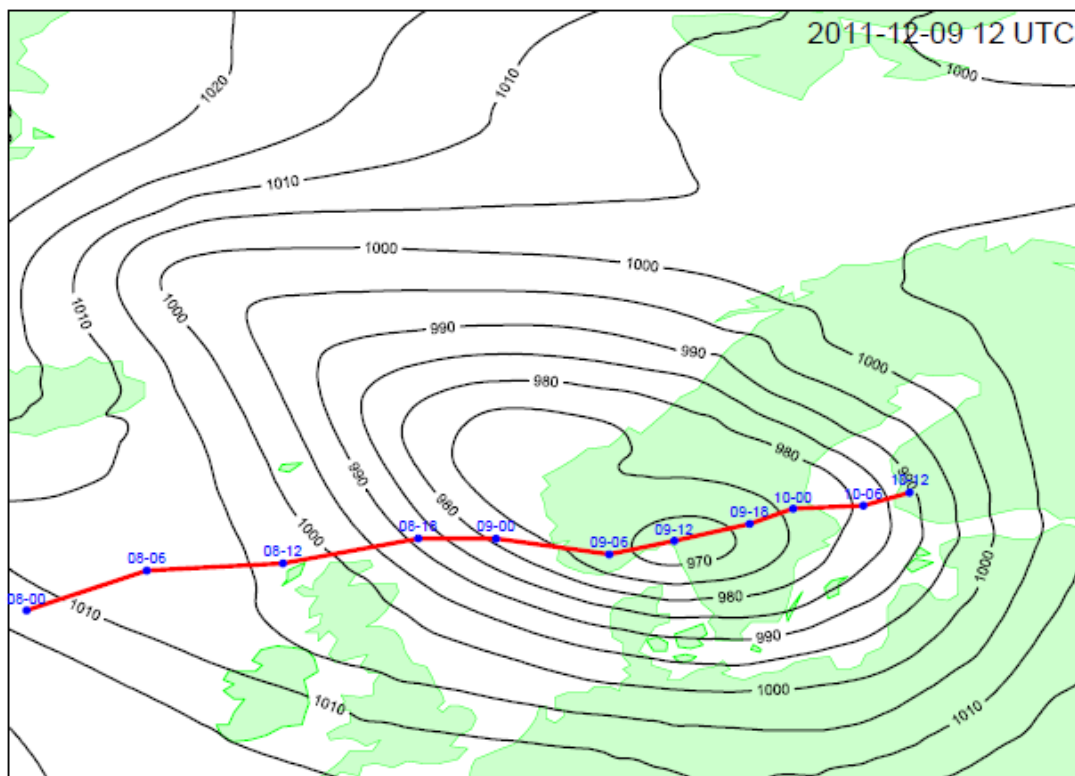
**Figur 3. Vattenstånd relativt medelvattenståndet vid Skagsudde, Spikarna, Ratan och Furuögrund (övre) samt vindens hastighet och riktning vid Skagsudde A (undre) under en lågtryckspassage i februari 2002.**



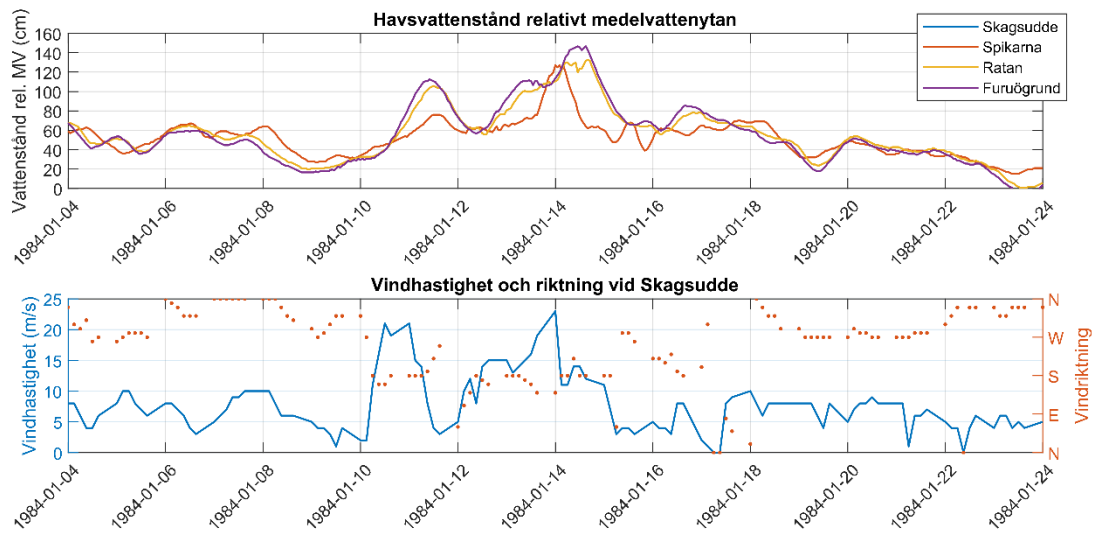
**Figur 4. Lågtrycket i februari 2002. Fälten visar lufttrycket vid tidpunkten för det högsta uppmätta vattenståndet. Den röda linjen visar banan för lågtryckets centrum och de blå siffrorna anger dag och klockslag. Figuren baseras på data från återanalysmodellen EURO4M.**



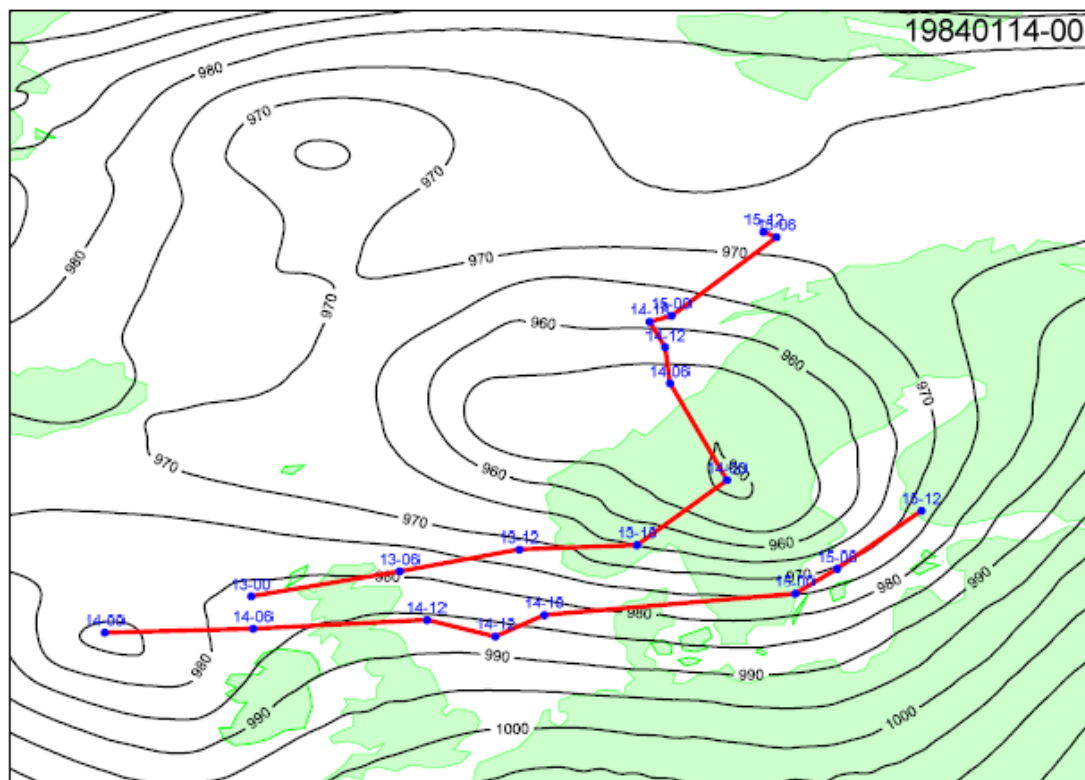
**Figur 5. Vattenstånd relativt medelvattenståndet vid Skagsudde, Spikarna, Ratan och Furuögrund (övre) samt vindens hastighet och riktning vid Skagsudde A (undre) under en lågtryckspassage i december 2011.**



**Figur 6. Lågtrycket i december 2011. Fälten visar lufttrycket vid tidpunkten för det högsta uppmätta vattenståndet. Den röda linjen visar banan för lågtryckets centrum och de blå siffrorna anger dag och klockslag. Figuren baseras på data från återanalysmodellen EURO4M.**



**Figur 7. Vattenstånd relativt medelvattenståndet vid Spikarna, Ratan och Furuögrund (övre) samt vindens hastighet och riktning vid Skagsudde A (undre) under lågtryckspassagera i januari 1984. Vindobservationerna har lägre upplösning i tiden denna period jämfört med de mer moderna perioderna.**



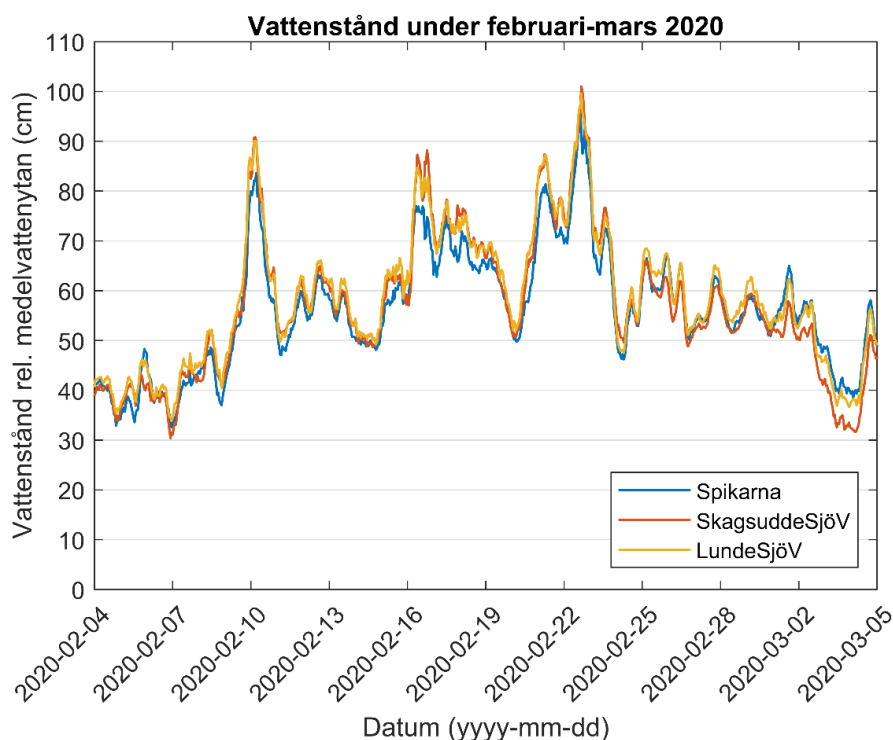
**Figur 8. Lågtrycket i januari 1984. Fälten visar lufttrycket vid tidpunkten för det högsta uppmätta vattenståndet. Den röda linjen visar banan för lågtryckets centrum och de blå siffrorna anger dag och klockslag. Figuren baseras på data från återanalysmodellen EURO4M.**

### 3.6 Jämförelse av vattenstånd vid Lunde och Spikarna/Skagsudde

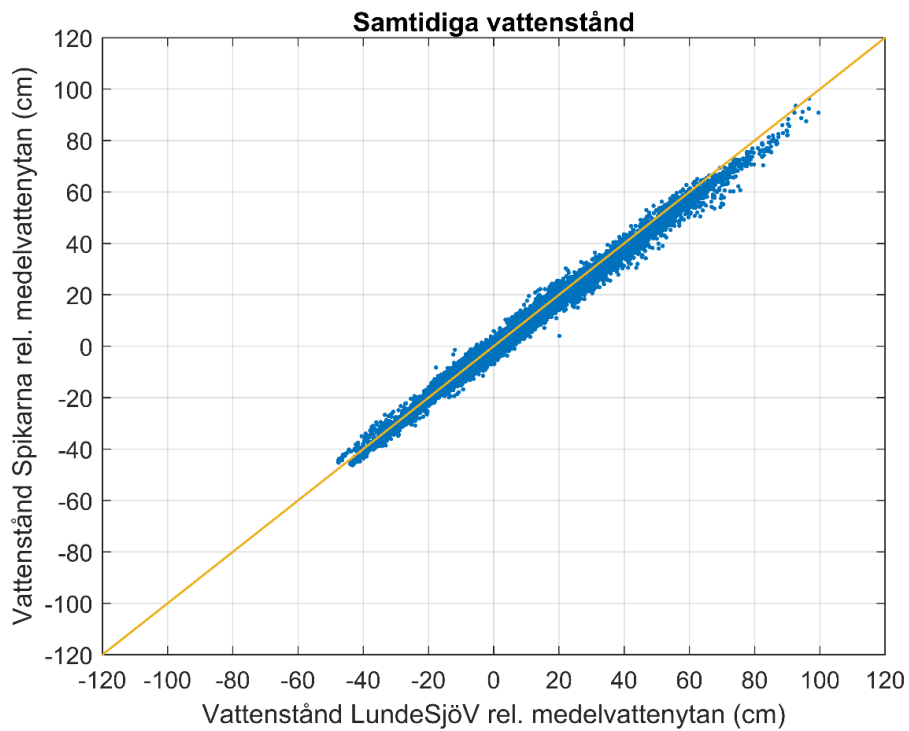
Mätstationerna vid Spikarna och Skagsudde är placerade vid öppna kusten. Vid tillfälliga högvattenhändelser kan vattenståndet inne i fjärdar och vikar bli högre på grund av ytterligare vinduppstuvning in mot land. Sjöfartsverkets mätstation vid Lunde är placerad i Ramöfjärden på väg in mot Kramfors. Mätserien är för kort för att utgöra ett gott underlag statistiskt sett. Genom att jämföra vattenståndsobservationerna från Lunde med observationerna vid Spikarna och Skagsudde, fås en uppfattning om hur vattenståndet inne i fjärden förhåller sig till vattenståndet vid öppna kusten, med särskilt fokus på höga havsvattenstånd.

Ett exempel från mätserierna under en period med högvattenhändelser i februari-mars 2020 visas i Figur 9. Vattenståndet vid mätstationerna visar hög samvariation. Skillnaden mellan vattenståndet i Skagsudde och Lunde är mycket liten, särskilt vid högvattentopparna. Vattenståndet vid Lunde är 5-10 cm högre än vid Spikarna vid högvattenhändelserna.

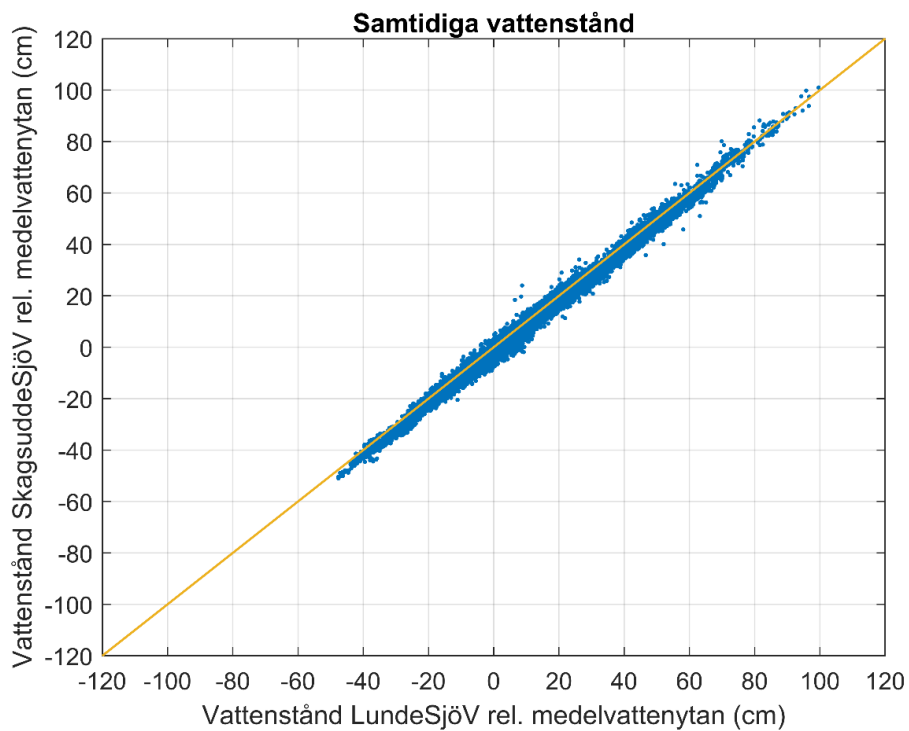
Samtidiga vattenståndsobservationer vid Spikarna och Lunde, respektive vid Skagsudde och Lunde visas i Figur 10 respektive Figur 11. Vid exakt överrensstämmelse hamnar observationerna på den räta linjen. Sammantaget bekräftar figurerna att vattenståndet vid Lunde är aningen högre än vattenståndet vid Spikarna vid högvattenhändelser (sambandet avviker från den räta linjen vid vattenstånd högre än ca 60 cm) och marginell skillnad jämfört med vattenståndet i Skagsudde.



**Figur 9. Vattenståndet i cm relativt medelvattenståndet vid Spikarna (blå), Skagsudde (röd) och Lunde (orange) under högvattenhändelser i februari-mars 2020.**



**Figur 10. Vattenstånd vid Lunde mot samtidiga vattenstånd vid Spikarna för perioden från mars 2019 till februari 2022. Tillfällen med exakt samma vattenstånd vid båda stationerna ligger på den orangea linjen.**



**Figur 11. Vattenstånd vid Lunde mot samtidiga vattenstånd vid Skagsudde för perioden från mars 2019 till februari 2022. Tillfällen med exakt samma vattenstånd vid båda stationerna ligger på den orangea linjen.**

### 3.7 Global havsnivåhöjning

Till följd av högre temperaturer i atmosfären stiger medelvattenståndet i havet globalt sett. Det är framförallt två faktorer som bidrar till att havsnivån höjs, dels på grund av att havet tar mer plats när det värms upp (termisk expansion) och dels på grund av att inlandsisar och glaciärer smälter vilket ökar mängden vatten i havet. Havet stiger redan idag och kommer att fortsätta stiga i hundratals till tusentals år framöver. Detta gäller även om den globala uppvärmningen skulle begränsas till 1,5 eller 2°C eftersom havet reagerar mycket långsammare än atmosfären.

Historiskt sett har den genomsnittliga globala havsnivån stigit med cirka 0,20 m mellan år 1901 och 2018. Den genomsnittliga takten på havsnivåhöjningen var cirka 1,3 mm/år mellan 1901 och 1971, för att därefter öka till cirka 1,9 mm/år mellan 1971 och 2006, och ytterligare öka till cirka 3,7 mm/år mellan 2006 och 2018. Mänsklig påverkan var mycket sannolikt den huvudsakliga orsaken till dessa ökningarna, sedan åtminstone 1971 (Masson-Delmotte, o.a., 2021).

FN:s mellanstatliga klimatpanel, IPCC, etablerades 1988 med syftet att sammanställa det vetenskapliga kunskapsläget kring klimatförändringar, konsekvenser, sårbarhet och möjliga lösningar (IPCC, 2022). 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.

IPCC:s femte utvärderingsrapport AR5 2013-2014 (Stocker, o.a., 2013) använder fyra så kallade RCP-scenarier för att beskriva framtida klimatförändringar. 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 strålningsdrivning som uppnås år 2100 i  $W/m^2$ . Det lägsta respektive det högsta RCP-scenariot, RCP2,6 och RCP8,5, innebär att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären genererar en strålningsdrivning på 2,6  $W/m^2$  respektive 8,5  $W/m^2$  år 2100, jämfört med förindustriell nivå. Det gjordes ingen värdering om vilket scenario som var mest troligt. För mer information om RCP-scenarier hänvisas till SMHI:s hemsida om klimatmodeller och scenarier (SMHI, 2013).

Under klimatpanelens arbete med den femte utvärderingsrapporten (AR5) identifierades havet och kryosfären som ett område där en särskild genomlysning behövdes. Hösten 2019 publicerades specialrapporten Havet och kryosfären i ett förändrat klimat (Pörtner, o.a., 2019). I specialrapporten beskrivs framtida klimatförändringar utifrån tre av RCP-scenarierna. Specialrapporten bekräftade i stort resultatet från AR5 med avseende på global havsnivåhöjning, med undantag av projektioner för utsläppsscenario 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 augusti 2021 publicerade IPCC sammanställningen AR6 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden (Masson-Delmotte, o.a., 2021). Rapporten är

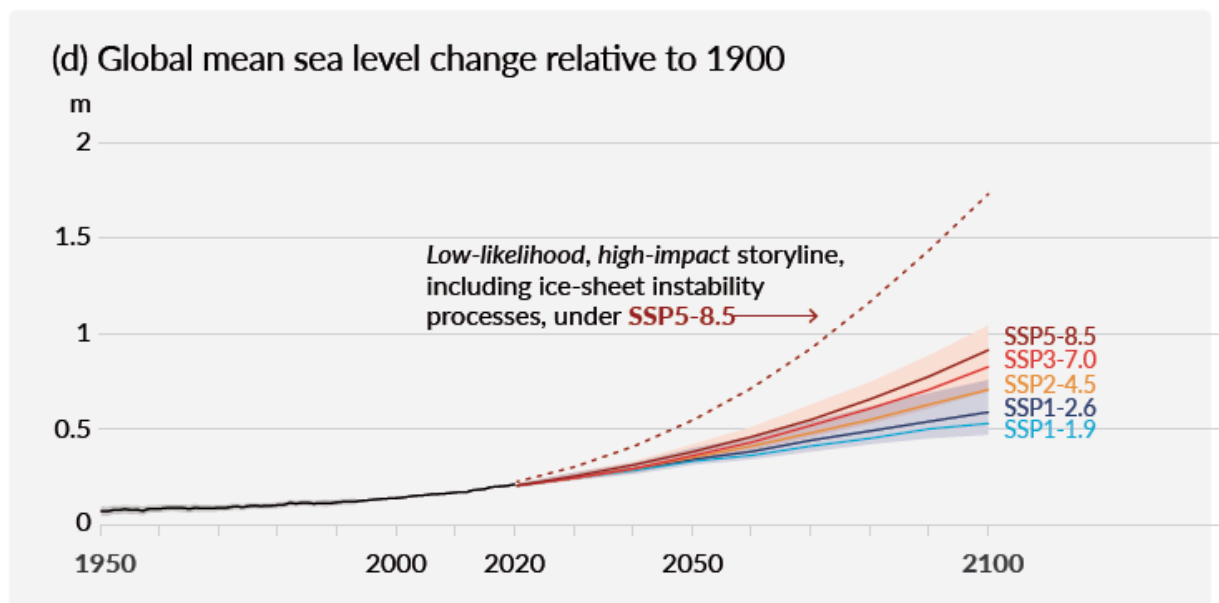
Arbetsgrupp 1 bidrag till den sjätte utvärderingsrapporten (AR6) och är en omfattande sammanställning av det rådande vetenskapliga kunskapsläget kring klimatmätningar, klimatsystemet, klimatmodeller och scenarier.

I IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 - Den naturvetenskapliga grunden beskrivs klimatförändringarna utifrån så kallade SSP-scenarier. SSP står för Shared Socioeconomic Pathways och är ett antal scenarier som beskriver olika socioekonomiska utvecklingar, och som används för att ta fram utsläppsscenarier med olika klimatpolicyer. SSP bygger på fem olika spår som tillsammans ger en bild av ett antal olika möjliga framtida världar. De olika SSP-scenarierna skiljer sig åt bland annat gällande befolkningsutveckling, jämlikhet, energianvändning och globala koldioxidutsläpp. I samtliga SSP-scenarier växer den globala ekonomin. Inget av SSP-scenarierna kan bedömas som mest sannolikt. Snarare kan världen utvecklas på flera olika sätt beroende på beslut inom en rad olika områden, där olika vägval är möjliga. För mer information om de olika SSP-scenarierna hänvisas till SMHI:s hemsida om klimatmodeller och scenarier (SMHI, 2022).

I IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 - Den naturvetenskapliga grunden har SSP-scenarierna kombinerats med RCP-scenarierna för att studera klimatförändringar, relaterade klimatteffekter, sårbarheten inför dessa och möjliga åtgärder. Rapporten utvärderar klimatresponsen utifrån fem scenarier över ett spann av möjlig framtida utveckling av mänsklig klimatpåverkan. De fem scenarierna är: SSP1-1,9, SSP1-2,6, SSP2-4,5, SSP3-7,0 och SSP5-8,5. Den genomsnittliga förändringen av den globala havsnivån utifrån de fem olika scenarierna (medianvärden) relativt år 1900 fram till 2100, visas i Figur 12. För utsläppsscenarierna SSP1-2,6 och SSP3-7,0 visas även tillhörande sannolikt intervall. Med sannolikt intervall avses det intervall i vilket värdet ligger med en sannolikhet på 66 procent. Detta innebär att det är 34 procent sannolikhet att värdet ligger utanför det sannolika intervallet och att det är 17 procent sannolikhet att det ligger över respektive under den övre respektive nedre gränsen av det sannolika intervallet för varje utsläppscenario.

Den streckade linjen i Figur 12 visar den 83:e percentilen av beräkningar under SSP5-8,5 där särskilda processer i inlandsisarna har inkluderats. Konfidensnivån är låg för beräkningar av dessa processer men effekterna av dessa processer skulle bli stora och de kan inte uteslutas.

Skillnaden mellan huvudprojektionerna, som bedömts ha medelhög konfidens, och projektionen med låg konfidens kommer från att avsmältningen från Antarktis och Grönland har hanterats olika. I huvudprojektionerna nyttjas stora ensembler av ismodeller, (Levermann, o.a., 2020), (Seroussi, o.a., 2020), (Goelzer, o.a., 2020). I projektionen med låg sannolikhet baseras estimaten av Antarktis och Grönlands avsmältning på en intervjustudie med glaciologer (SEJ - Structured Expert Judgement) samt en enskild ismodell (DeConto & Pollard, 2016) med en parametrisering för kollaps av marina isväggar (MICI - Major Ice Cliff Instability), (Bamber, Oppenheimer, Kopp, Aspinall, & Cooke, 2019) respektive (DeConto & Pollard, 2016). Dessa två estimat tillhör de allra högsta som publicerats i den vetenskapliga litteraturen.



**Figur 12.** Det globala medelvattenståndets förändring i meter relativt år 1900 fram till år 2100. Historiska förändringar är från observationer och framtida förändringar, projektioner, visas för fem olika utsläppsscenarioer (medianvärden). För utsläppsscenarioerna SSP1-2,6 och SSP3-7,0 visas även tillhörande sannolikt intervall. Den streckade linjen visar den 83:e percentilen av beräkningar under SSP5-8,5 där särskilda processer i inlandsisarna har inkluderats. Konfidensnivån är låg för beräkningar av dessa processer men effekterna av dessa processer skulle bli stora och de kan inte uteslutas. Figuren och figurtexten är ett utsnitt av SPM.8 (Masson-Delmotte, o.a., 2021).

Projektioner av det globala medelvattenståndets förändring i meter för tre SSP-scenarioer, relativt referensperioden 1995-2014 visas i Tabell 4. Global havsnivåhöjning visas som medianvärden och bedömt sannolikt intervall inom parentes. Uppgifter visas även för SSP-8.5 med låg konfidens där särskilda processer i inlandsisarna har inkluderats, där intervallet visar den 17:e-83:e percentilen men ej bedömts som sannolikt av IPCC. Uppgifterna om global havsnivåhöjning är hämtade från IPCC:s AR6 Delrapport 1 – Den Naturvetenskapliga grunden från 2021 (Fox-Kemper, o.a., 2021).

Notera att uppgifterna om global havsnivåhöjning i Tabell 4 anges relativt referensperioden 1995-2014 medan förändringar visas relativt år 1900 i Figur 12. Förändringar jämfört med 1900 har beräknats genom att lägga till 0,158 meter (vilket motsvarar den observerade genomsnittliga globala havsnivåhöjningen från 1900 till 1995-2014) till beräknade och observerade värden som är relativa 1995-2014 (Masson-Delmotte, o.a., 2021).

Till år 2050 är skillnaden av den genomsnittliga globala havsnivåhöjningen mellan de olika scenarierna relativt liten och beräknas till 0,16-0,25 meter i scenariot med låga utsläpp av växthusgaser (SSP1-2,6) och till 0,20-0,29 meter i scenariot med mycket höga utsläpp av växthusgaser (SSP5-8,5), relativt referensperioden 1995-2014.



Den genomsnittliga globala havsnivåhöjningen till år 2100 beräknas till 0,32-0,62 meter i scenariot med låga utsläpp av växthusgaser (SSP1-2,6) och till 0,63-1,01 meter i scenariot med mycket höga utsläpp av växthusgaser (SSP5-8,5), jämfört med referensperioden 1995-2014. Till år 2150 beräknas höjningen till 0,46-0,99 meter i scenariot med låga utsläpp av växthusgaser (SSP1-2,6), och till 0,98-1,88 meter i scenariot med mycket höga utsläpp av växthusgaser (SSP5-8,5), jämfört med perioden 1995-2014.

En höjning av den genomsnittliga globala havsnivån som överstiger det sannolika intervallet – och närmar sig 2 meter till år 2100 och 5 meter till år 2150 under ett scenario med mycket höga utsläpp av växthusgaser (SSP5-8,5 Låg konfidens) - kan inte uteslutas på grund av djup osäkerhet relaterad till processer i inlandsisar (Masson-Delmotte, o.a., 2021).

**Tabell 4. Projektioner av det globala medelvattenståndets förändring i meter för tre SSP-scenarier, relativt referensperioden 1995-2014. Uppgifter visas som medianvärden och bedömt sannolikt intervall inom parentes. Uppgifter visas även för SSP5-8.5 med låg konfidens där intervallet visar den 17:e-83:e percentilen baserade på Structured Expert Judgement (SEJ) och Major Ice Cliff Instability (MICI) snarare än ett bedömt sannolikt intervall. Uppgifterna är hämtade från IPCC:s AR6 Delrapport 1 - Den naturvetenskapliga grunden från 2021 (Fox-Kemper, o.a., 2021).**

Scenario	År 2050	År 2100	År 2150
SSP1-2,6	0,19 (0,16 till 0,25)	0,44 (0,32 till 0,62)	0,68 (0,46 till 0,99)
SSP2-4,5	0,20 (0,17 till 0,26)	0,56 (0,44 till 0,76)	0,92 (0,66-1,33)
SSP5-8,5	0,23 (0,20 till 0,29)	0,77 (0,63 till 1,01)	1,32 (0,98 till 1,88)
SSP5-8,5 Låg Konfidens	0,24 (0,20 till 0,40)	0,88 (0,63 till 1,60)	1,98 (0,98 till 4,82)

I ett längre perspektiv kommer havsnivån fortsätta att stiga under århundraden till årtusenden på grund av fortsatt uppvärmning av djuphavet och avsmältning av inlandsisar, och förbli högt under tusentals år. Under de kommande 2000 åren kommer den genomsnittliga globala havsnivån att stiga med omkring 2-3 meter om den globala uppvärmningen begränsas till 1,5°C och 2-6 meter om uppvärmningen begränsas till 2°C (Masson-Delmotte, o.a., 2021).

Den genomsnittliga globala havsnivån har varierat historiskt sett. Beräkningar för flertusenårig höjning av den globala havsnivån överensstämmer med rekonstruerade nivåer under tidigare varma klimatperioder. För exempelvis cirka 125 000 år sedan, när den globala medeltemperaturen mycket sannolikt var 0,5-1,5°C högre än under perioden 1850-1900, var den genomsnittliga globala havsnivån sannolikt 5-10 meter högre än idag (Masson-Delmotte, o.a., 2021).

För att få en uppfattning om hur uppgifterna om det globala medelvattenståndets förändring presenterade i IPCC:s AR6 Delrapport 1 - Den naturvetenskapliga grunden från 2021 förhåller sig till tidigare uppgifter presenterade av IPCC, visas det globala medelvattenståndets förändring för tre RCP-scenarier från IPCC:s specialrapport Havet och Kryosfären i ett förändrat klimat från 2019

(Oppenheimer, o.a., 2019) i Tabell 5 och från IPCC:s AR5 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden från 2013 (Church, o.a., 2013) i Tabell 6.

Scenarierna är inte helt jämförbara, exempelvis baseras de nya beräkningarna på klimatmodeller från den sjätte fasen (CMIP6)<sup>1</sup>, som har nya och förbättrade representationer av fysikaliska, kemiska och biologiska processer samt högre upplösning än de klimatmodeller som beaktats i IPCC:s tidigare utvärderingsrapporter. Därtill anges det globala medelvattenståndets förändring för RCP-scenarierna relativt referensperioden 1986-2005 medan uppgifterna för SSP-scenarierna anges relativt 1995-2014. Detta till trots överensstämmer projektionerna mycket väl, vilket visar att resultaten är relativt robusta. Projektionerna med låg konfidens har ingen motsvarighet i AR5 eller i specialrapporten.

**Tabell 5. Projektioner av det globala medelvattenståndets förändring i meter för tre RCP-scenarier, relativt referensperioden 1986-2005. Uppgifter visas som medianvärden och bedömt sannolikt intervall inom parentes. Uppgifterna är hämtade från IPCC:s specialrapport Havet och Kryosfären i ett förändrat klimat från 2019 (Oppenheimer, o.a., 2019).**

Scenario	År 2050	År 2100
RCP2,6	0,22 (0,15 till 0,28)	0,44 (0,29 till 0,59)
RCP4,5	0,23 (0,17 till 0,29)	0,55 (0,39 till 0,72)
RCP8,5	0,27 (0,20 till 0,34)	0,84 (0,61 till 1,11)

**Tabell 6. Projektioner av det globala medelvattenståndets förändring i meter för tre RCP-scenarier, relativt referensperioden 1986-2005. Uppgifter visas som medianvärden och bedömt sannolikt intervall inom parentes. Uppgifterna är hämtade från IPCC:s AR5 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden från 2013 (Church, o.a., 2013).**

Scenario	År 2050	År 2100
RCP2,6	0,22 (0,16 till 0,28)	0,44 (0,28 till 0,61)
RCP4,5	0,23 (0,17 till 0,29)	0,53 (0,36 till 0,71)
RCP8,5	0,25 (0,19 till 0,32)	0,74 (0,53 till 0,98)

---

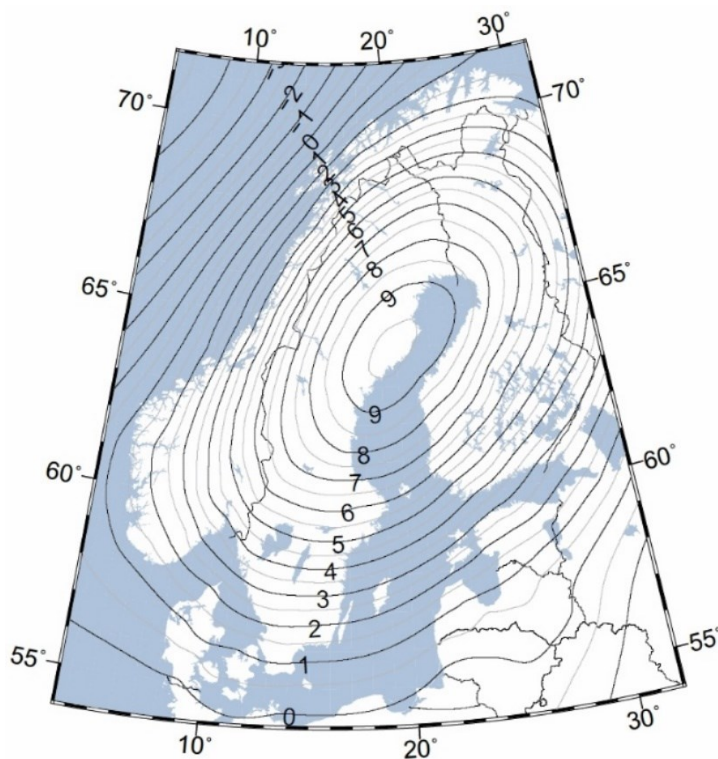
<sup>1</sup> CMIP-Coupled Model Intercomparison Project

### 3.8 Landhöjning

I Sverige motverkas effekten av havsnivåhöjningen av landhöjningen. Eftersom landhöjningen är olika stor i olika delar av landet förändras medelvattenståndet olika. Med landhöjning avses jordskorpan återgång till sitt jämviktsläge efter att under den senaste istiden varit belastad med kilometertjock is. När isen började smälta för cirka 20 000 år sedan lättade trycket på jordskorpan och landet började höja sig. För cirka 10 000 år sedan försvann den sista isen från Skandinavien. På grund av jordens trögflytande inre tar det dock mycket lång tid innan den återgått till sitt jämviktsläge. Hittills har landet höjt sig flera hundra meter och många tiotals meter återstår (Lantmäteriet, utan årtal). Landhöjningen varierar och är störst i norra Sverige vid Bottenvikskusten (cirka 10 mm/år) och minst i Skåne (cirka 1 mm/år).

År 2016 lanserade Nordiska kommissionen för geodesi (NKG) landhöjningsmodellen NKG2016LU (Vestøl, Ågren, Steffen, Kierulf, & Tarasov, 2019). Den används som officiell landhöjningsmodell i såväl Sverige som i de övriga nordiska och baltiska länderna. Modellen är baserad på upprepade precisionsavvägningar och data från fasta referensstationer för GNSS (Global Navigation Satellite Systems), (Lantmäteriet, utan årtal).

I Figur 13 visas avvägd landhöjning enligt landhöjningsmodellen NKG2016LU. Med avvägd landhöjning avses landhöjningen relativt den av klimateffekter opåverkade havsytan (geoiden), (Lantmäteriet, utan årtal).



**Figur 13. Visar avvägd landhöjning (mm/år) enligt landhöjningsmodellen NKG2016LU. Med avvägd landhöjning avses landhöjningen relativt den av klimateffekter opåverkade havsytan (geoiden). Källa: Lantmäteriet.**

Landhöjningen från modellen NKG2016LU innehåller en elastisk komponent, som för Skandinavien primärt är en konsekvens av dagens avsmältning från

Grönland och större glaciärer (Kierulf, o.a., 2021). Det har visats att den elastiska delen av landhöjningen ger ett ganska substantiellt bidrag på ca 0,6-0,7 mm per år längs Sveriges kust (Kierulf, o.a., 2021). Dessutom ingår den elastiska landhöjningskomponenten redan i projektionerna av framtida havsnivåhöjning, därför subtraheras denna från den avvägda landhöjningen.

## 4 Metodik

### 4.1 Framtida medelvattenstånd

Uppgifter om framtida medelvattenstånd för kustkommunerna i Västernorrlands län har hämtats från SMHI:s beräkningar, vilka redovisas för Sveriges samtliga kustkommuner och för varje årtionde från 2030 till 2150 på SMHI:s hemsida om framtida medelvattenstånd (SMHI, 2022). På samma sida finns uppgifterna även som nedladdningsbara CSV-filer. Uppgifterna baseras på IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden som publicerades 2021.

Beräkningarna utgår från fem olika utsläppsscenarier; SSP1-1,9, SSP1-2,6, SSP2-4,5, SSP3-7,0 samt SSP5-8,5. Utöver dessa finns uppgifter om framtida medelvattenstånd baserade på projektioner med låg konfidens, SSP1-2,6 låg konfidens och SSP5-8,5 låg konfidens, eftersom de inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet. Alla projektionerna tar hänsyn till storskaliga regionala variationer i havsnivåhöjning som gör att havet inte stiger lika mycket överallt på jorden (Hieronymus & Kalén, 2020).

Framtida medelvattenstånd redovisas enligt medianvärde och tillhörande sannolikt intervall. Det sannolika intervallet begränsas av den 17:e och 83:e percentilen och utgör således varken en nedre eller övre gräns, se Figur 14 för illustration av sannolikhetsfördelning av framtida medelvattenstånd. De uppgifter som baseras på projektioner med låg konfidens redovisas för samma percentiler men intervallet har ej bedömts vara sannolikt av IPCC.

Beräkningarna baseras på följande:

- Regional havsnivåhöjning från IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 - Den naturvetenskapliga grunden (Masson-Delmotte, o.a., 2021).
- Landhöjning från modellen NKG2016LU (Vestøl, Ågren, Steffen, Kierulf, & Tarasov, 2019) och elastisk landhöjningskomponent (Kierulf, o.a., 2021).
- Beräknade medelvattenstånd för referensperioden 1995-2014 utifrån mätdata från 23 vattenståndsstationer längs Sveriges kust, vilka därefter interpolerats för att få fram uppgifter längs hela kusten.

Det framtida medelvattenståndet för en kustkommun,  $MV_{\text{år}}$ , har beräknats enligt följande ekvation:

$$MV_{\text{år}} = MV_{\text{ref}} + \Delta MV_{\text{SSP}}(\text{år}) - LH \times (\text{år} - 2005)$$

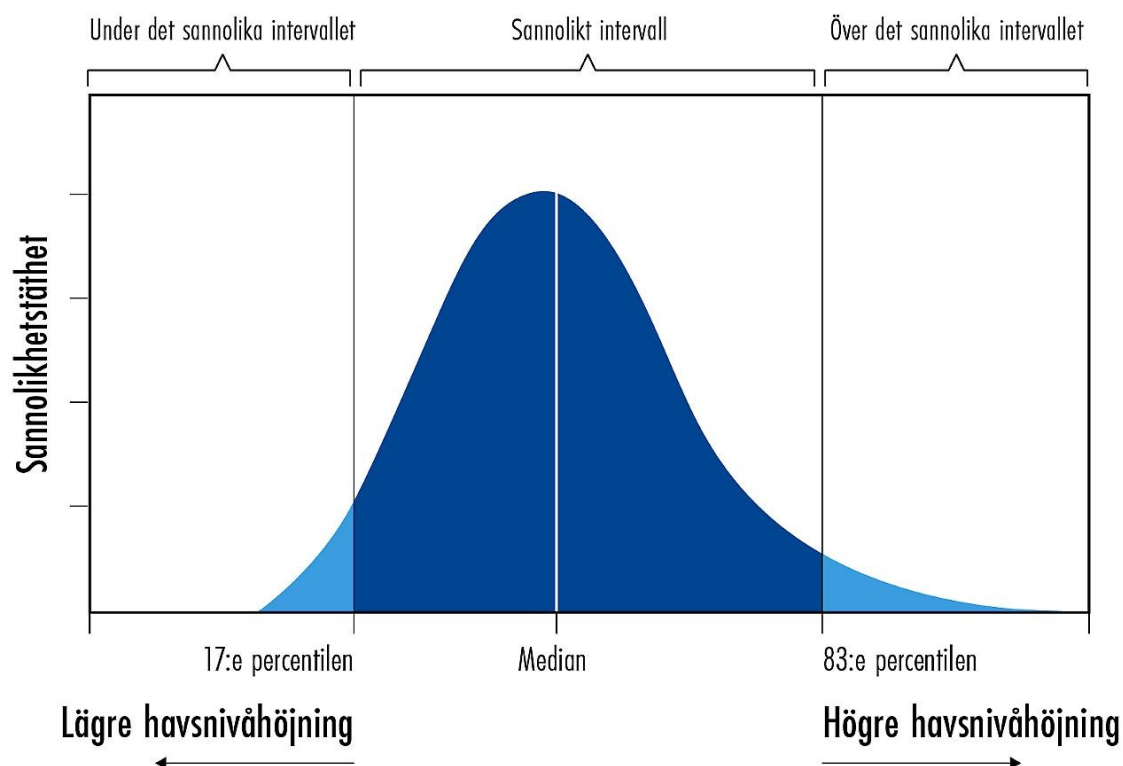
Där  $MV_{\text{ref}}$  är medelvattenståndet under referensperioden 1995-2014 och  $\Delta MV_{\text{SSP}}$  är förändringen av medelvattenståndet relativt referensperioden för ett visst SSP-scenario. LH är landhöjningens hastighet (avvägd minus elastisk landhöjning), 2005 är det årtal som utgör referensperiodens mitt och  $\text{år}$  är det årtal som det

framtida medelvattenståndet ska beräknas för, exempelvis 2050 eller 2100. Den avvägda landhöjningens hastighet antas vara konstant fram till år 2150. Referensperioden är densamma som används i IPCC AR6. För mer detaljer kring beräkningarna hänvisas till SMHI:s hemsida om framtida medelvattenstånd (SMHI, 2022).

Medelvattenståndet under referensperioden 1995-2014, landhöjning samt elastisk komponent, som ingår i beräkningarna av framtida medelvattenstånd, listas för de fem kustkommunerna inom Västernorrlands län i Tabell 7.

**Tabell 7. Medelvattenstånd i RH 2000 under referensperioden 1995-2014, landhöjning och elastisk komponent för respektive kustkommun inom Västernorrlands län.**

Kommun	Medelvattenstånd 1995-2014 i RH 2000 (cm)	Landhöjning/varav elastisk komponent (cm/år)
Sundsvall	13	0,890/0,072
Timrå	13	0,899/0,072
Härnösand	13	0,913/0,072
Kramfors	13	0,927/0,074
Örnsköldsvik	13	0,948/0,074



**Figur 14. Illustration som visar ett exempel på hur en sannolikhetsfördelning för framtida medelvattenstånd kan se ut. Sannolikhetstätheten på Y-axeln indikerar hur sannolika olika medelvattenståndsförändringar är. Det är till största delen bidragen till havsnivåhöjningen från inlandsisarna som ger skevheten i kurvan med en långsträckt svans mot högre havsnivåhöjning.**

## 4.2 Extrema havsvattenstånd

Extrema havsvattenstånd med återkomstperioder på upp till 200 år har beräknats för höga vattenstånd genom statistisk extremvärdesanalys. Den viktigaste satsen inom extremvärdesteori är extremvärdessatsen, som, under vissa förutsättningar, tillåter oss att ansätta att årsmax-värdena följer en viss sannolikhetsfördelning. I princip måste årsmax-värdena vara oberoende och likafördelade, det vill säga årsmax år 1920 bör bete sig som årsmax år 1990.

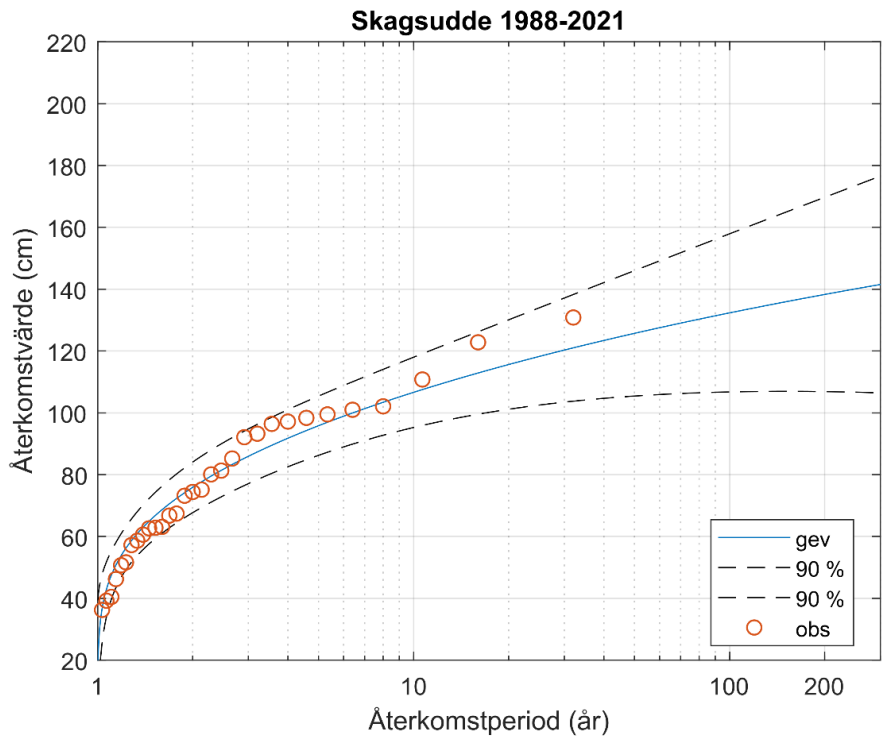
Det finns ett flertal sannolikhetsfördelningar som är vanligt förekommande vid extremvärdesanalys inom vetenskaplig litteratur. Extremvärdessatsen ger mest stöd åt Generalized Extreme Value, GEV, men även andra fördelningar kan vara aktuella (Coles, 2001). Det är viktigt att verifiera att den valda sannolikhetsfördelningen passar till dataunderlaget. För att avgöra detta kan ett så kallat goodness-of-fit-test utföras, som ger ett numeriskt mått på hur väl sannolikhetsfördelningen passar till data. Om testet underkänner fördelningen bör man inte använda den i analysen. Ofta kan flera fördelningar passa till samma dataunderlag, men ge olika återkomsttider.

I denna utredning har fyra sannolikhetsfördelningar utvärderats, men bara resultat från den fördelningsfunktion som bedömts passa bäst till dataunderlaget redovisas, vilken är GEV-fördelningen. För vidare fördjupning se vidare (Blom, Enger, Englund, & Grandell, 2005) eller (Coles, 2001).

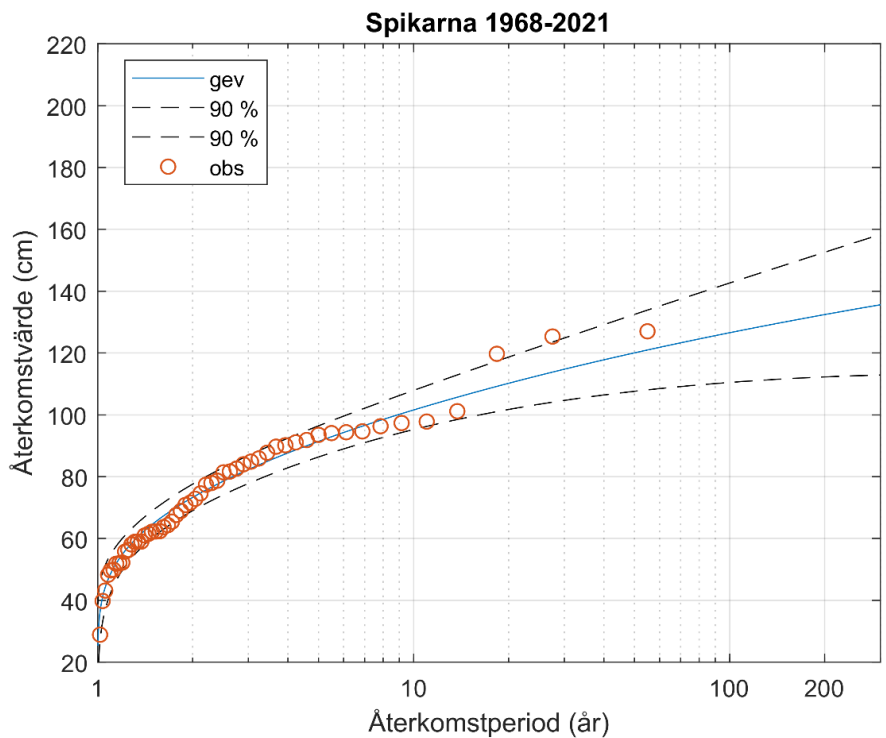
Extremvärdesanalys har utförts baserat på årsmax-värdena från mätserierna vid Skagsudde, Spikarna och den sammanslagna serien Draghällan och Spikarna. Eftersom årsmax-värdena måste vara oberoende av varandra har brutet år använts, det vill säga från juli till juni.

Återkomstvärden mot återkomstperioder för höga vattenstånd visas i Figur 15 baserat på mätserien från Skagsudde, utifrån mätserien från Spikarna i Figur 16 och utifrån den sammanslagna mätserien Draghällan och Spikarna i Figur 17. Från figurerna kan exempelvis följande utläsas:

- **Skagsudde:** Återkomstvärdet med 100 års återkomsttid har beräknats till 131 cm relativt medelvattenståndet med tillhörande 90 procent konfidensintervall från 106 till 156 cm.
- **Spikarna:** Återkomstvärdet med 100 års återkomsttid har beräknats till 127 cm relativt medelvattenståndet med tillhörande 90 procent konfidensintervall från 110 till 143 cm.
- **Draghällan och Spikarna:** Återkomstvärdet med 100 års återkomsttid har beräknats till 125 cm relativt medelvattenståndet med tillhörande 90 procent konfidensintervall från 108 till 141 cm.

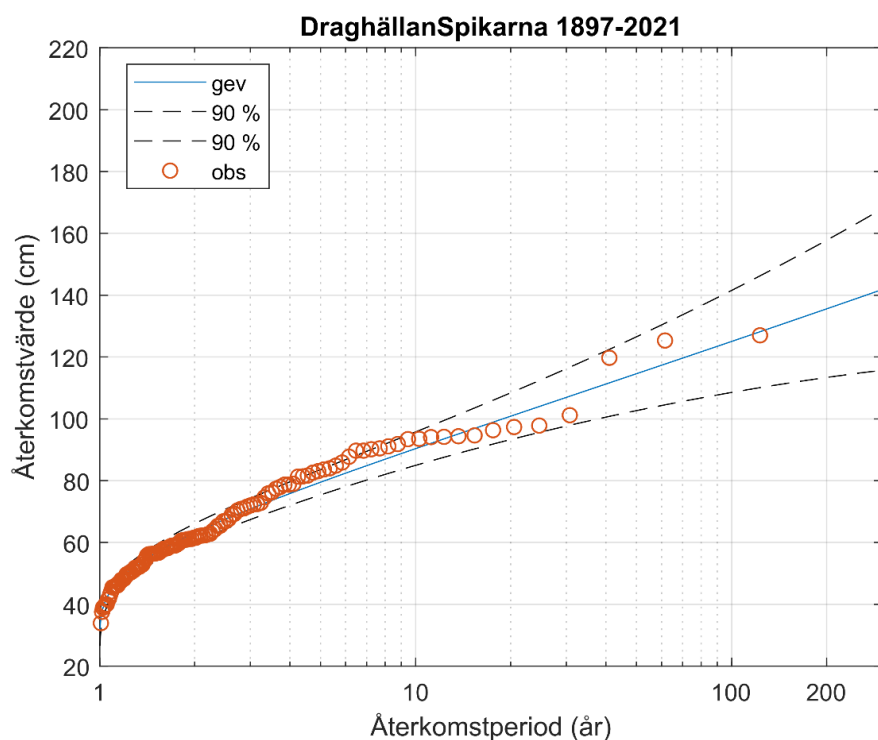


**Figur 15. Beräknade återkomstvärden vid olika återkomstperioder (blå linje) baserat på data från Skagsudde för perioden 1988-2021. Streckade linjer anger tillhörande 90 procent konfidensintervall och cirklarna visar observerade årsmax-värden. Återkomstvärdena anges relativt medelvattenståndet.**



**Figur 16. Beräknade återkomstvärden vid olika återkomstperioder (blå) baserat på data från Spikarna för perioden 1968-2021. Streckade linjer anger tillhörande 90 procent konfidensintervall och cirklarna visar observerade årsmax-värden. Återkomstvärdena anges relativt medelvattenståndet.**





**Figur 17. Beräknade återkomstvärden vid olika återkomstperioder (blå) baserat på data från Draghällan och Spikarna för perioden 1897-2021. Streckade linjer anger tillhörande 90 procent konfidensintervall och cirklarna visar observerade årsmax-värden. Återkomstvärdena anges relativt medelvattenståndet.**

#### 4.2.1 Extrema havsvattenstånd i framtida klimat

Vid ett förändrat medelvattenstånd i havet i framtida klimat ändras utgångsläget för tillfälliga vattenståndshändelser. Med ett högre utgångsläge krävs ett mindre bidrag från vädret för att nå samma nivåer som vid dagens högvattenhändelser. Detta medför att nivåer som uppnås ganska sällan idag, kommer att uppnås oftare på de platser där medelvattenståndet blir högre i framtiden. Det omvända gäller på de platser där medelvattenståndet blir lägre i framtiden.

I de delar av Sverige där landhöjningen än så länge är större än havsnivåhöjningen upplevs ett sjunkande medelvattenstånd snarare än ett stigande. Längs dessa kuster blir de nivåer som upplevs vid dagens högvattenhändelser mindre vanligt förekommande i framtiden.

Extrema havsvattenstånd i framtida klimat har beräknats genom att kombinera beräknade extremvärden med uppgifter om framtida medelvattenstånd för aktuell plats och tidshorisont. Detta har gjorts genom att anta att extremnivåerna, beräknade baserade på historiska mätdata, överlagras framtida medelvattenstånd för valda utsläppsscenarioer och tidshorisonter.

Därtill antas att fördelningen av extrema vattenstånd är densamma idag som i framtiden. Det är liktydigt med att anta att vädret, i synnerhet det väder som orsakar högvattenhändelser, kommer att ha samma statistiska egenskaper som idag. Det vill säga lågtryckens styrkor, banor och utveckling antas vara liknande som idag. Antagandet är rimligt eftersom klimatsceneriernas projektioner inte

utvisar någon tydlig trend för våra breddgrader vad gäller exempelvis stormarnas frekvens, banor, utbredning och vindstyrkor (Seneviratne, o.a., 2021).

Både beräknade extremvärden och framtida medelvattenstånd är behäftade med osäkerheter. För att kunna ange ett konfidensintervall för extrema havsvattenstånd i framtida klimat skattas den kombinerade osäkerheten. Den kombinerade osäkerheten består av både osäkerheten i extremvärdet och osäkerheten i klimatprojektioner samt även en mätosäkerhet. Den kombinerade osäkerheten beräknas utifrån de olika bidragens standardavvikelse och ett konfidensintervall på 90 procent anges.

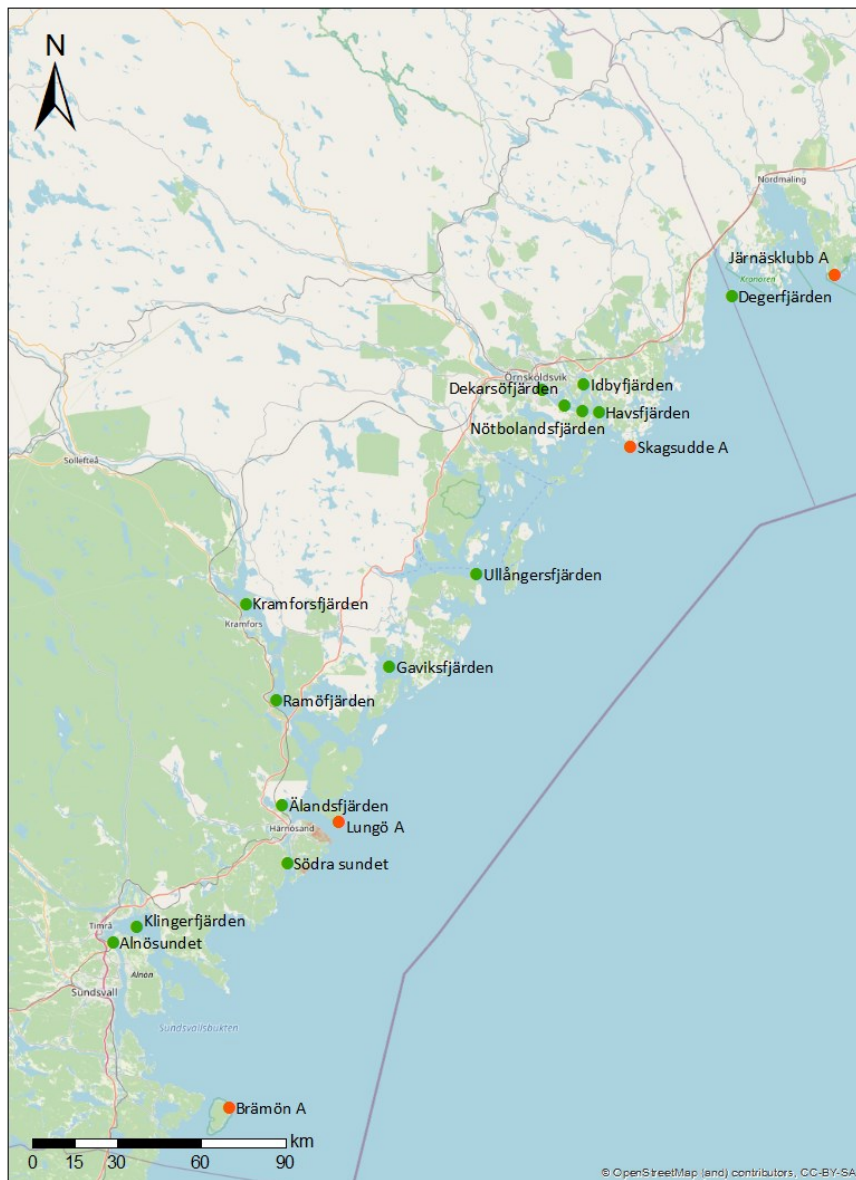
Klimatprojektionens standardavvikelse beräknas utifrån det sannolika intervallet på 66 procent genom att anta att det framtida medelvattenståndet följer en normalfördelad sannolikhetsfördelning och att medianvärdet är väntevärdet. Detta är en förenkling. Sannolikhetsfördelningen för framtida medelvattenstånd har en viss skevhet mot högre havsnivåhöjning. Denna skevhet indikerar att högre havsnivåhöjningar är mer sannolika än lägre havsnivåhöjningar. Detta medför att den övre konfidensgränsen av den kombinerade osäkerheten underskattas.

För att kunna ta fram en mer korrekt osäkerhet för klimatprojektionerna behövs tillgång till uppgifter om framtida vattenstånd utanför det sannolika intervallet. Data från IPCC innehållande percentiler utanför det sannolika intervallet har tillgängliggjorts men analys av denna data ryms inte inom detta uppdrag.

### 4.3 Vinduppstuvning

Vid tillfälliga högvattenhändelser kan vattenståndet i vikar och fjärdar bli högre jämfört med vid öppna kusten på grund av ytterligare vinduppstuvning in mot land. Kusten längs Västernorrlands län är komplex med flera fjärdar där vattenståndet alltså skulle kunna bli högre vid kraftiga pålandsvindar.

Vinduppstuvningen har beräknats för ett antal fjärdar i länet, se Figur 18, i den för fjärden mest ogynnsamma vindriktningen. Uppstuvningen i fjärdarna har beräknats med hjälp av enklare ekvationer för beräknade extremvindar. Beräkningarna är av överslagsmässig karaktär och beskriver det jämviktstillstånd som uppstår vid en varaktig vind. Faktorer som ingår i beräkningarna är fjärdens längd och medeldjup samt vindens hastighet. Fjärdarnas längd har mätts utifrån sjökort och uppgifter om fjärdarnas medeldjup har hämtats från en tabell över havsområdets karakteristik såsom medeldjup (Lindkvist, Andersson, Björkert, & Gyllander, 2003). Extremvindar med 5, 10, 50, 100, och 200 års återkomsttid i sydlig, sydostlig och östlig riktning har beräknats baserat på observationer från Skagsudde A för perioden 1965 till 2021.



**Figur 18. Fjärdar i Västernorrlands län för vilka vinduppstuvningsberäkningar utförts (gröna punkter) och meteorologiska stationer (orangea punkter) varifrån uppgifter om vindhastighet och riktning hämtats.**

## 5 Resultat

Framtida havsnivåförändring och framtida medelvattenstånd redovisas för de fem kustkommuner som ligger i Västernorrlands län; Sundsvall, Timrå, Härnösand, Kramfors och Örnsköldsvik kommun. Tidsutvecklingen av framtida havsnivåförändring fram till år 2150 visas relativt referensperioden 1995-2014 för scenarierna SSP1-2,6, SSP2-4,5 och SSP5-8,5, medianvärde och tillhörande sannolikt intervall på 66 procent, se Avsnitt 5.1. Det sannolika intervallet begränsas av den 17:e och den 83:e percentilen.

Framtida medelvattenstånd redovisas i RH 2000 utifrån medianvärde och sannolikt intervall för scenarierna SSP1-1,9, SSP1-2,6, SSP2-4,5, SSP3-7,0 och SSP5-8,5 för tidshorisonterna 2050, 2100 och 2150. Därtill redovisas uppgifter om framtida medelvattenstånd för SSP1-2,6 och SSP5-8,5 med låg konfidens, för samma tidshorisonter som övriga scenarier, se Avsnitt 5.2. Uppgifter utifrån scenarierna med låg konfidens redovisas för samma percentiler som övriga scenarier men intervallet bedöms ej som sannolikt av IPCC.

Beräknade extrema havsvattenstånd upp till 200 års återkomsttid redovisas utifrån mätserierna Skagsudde, Spikarna och den sammanslagna mätserien Draghallan och Spikarna. Värden anges i RH 2000 med ett tillhörande konfidensintervall på 90 procent. Utöver osäkerheten i själva extremvärdet innehåller konfidensintervallet även en osäkerhet i själva mätningarna, se Avsnitt 5.3.

Extrema vattenstånd i framtida klimat anges utifrån mätseriernas beräknade extremvärden överlagrat det framtida medelvattenståndet i tillhörande kommun. Värdena anges i RH 2000 med ett tillhörande konfidensintervall på 90 procent. Konfidensintervallet har beräknats utifrån kombinerade osäkerheter och innehåller osäkerheten i extremvärdet, osäkerheten i klimatprojektioner samt en mätosäkerhet. Uppgifter anges för scenarierna SSP1-2,6, SSP2-4,5 och SSP5-8,5 för tidshorisonterna 2050, 2100 och 2150, se Avsnitt 5.3.

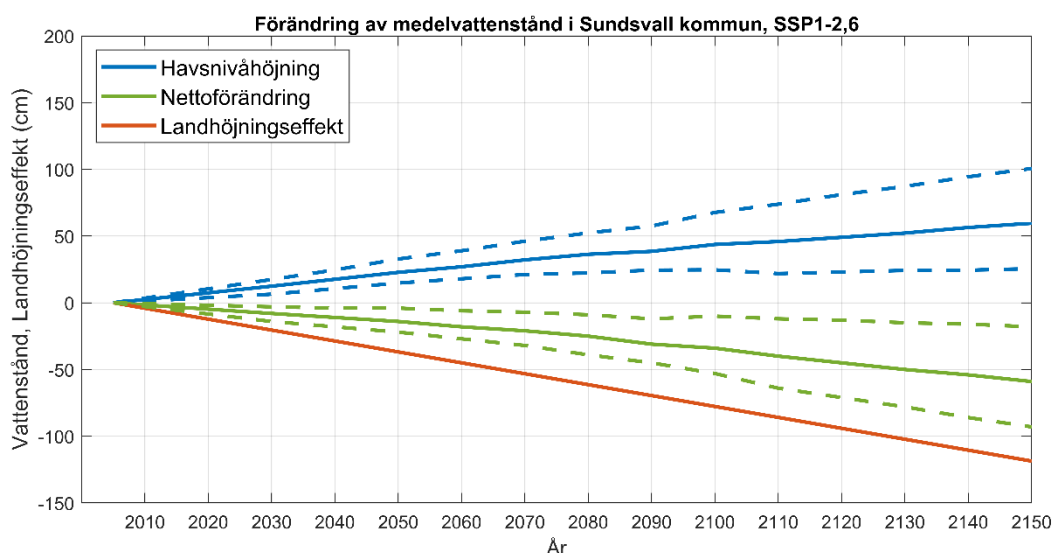
Vinduppstuvningseffekter redovisas för ett antal fjärdar i Västernorrlands län skattade utifrån beräknade extremvindar med upp till 200 års återkomsttid med tillhörande konfidensintervall på 90 procent i den för fjärden mest ogynnsamma vindriktningen, se Avsnitt 5.4.

### 5.1 Havsnivåförändring i Västernorrlands län

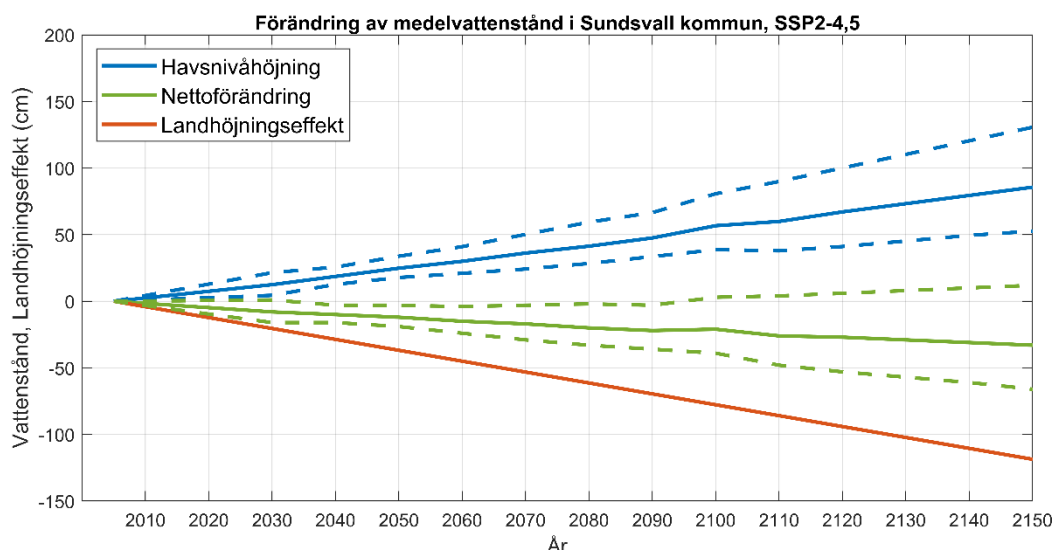
Tidsutvecklingen av framtida havsnivåförändring fram till år 2150 relativt referensperioden 1995-2014 illustreras för Sundsvall kommun i Figur 19, Figur 20 och Figur 21 för scenarierna SSP1-2,6, SSP2-4,5 respektive SSP5-8,5. Illustrationerna utgår från regional havsnivåhöjning för respektive scenario, medianvärde och sannolikt intervall. Landhöjningseffekten (avvägd minus elastisk komponent) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar havsnivåhöjningen. Då den regionala havsnivåhöjningen korrigeras för den lokala landhöjningseffekten fås medelvattenståndets förändring i Sundsvall kommun.

Utifrån illustrationerna kan exempelvis utläsas att medelvattenståndet i Sundsvall kommun sjunker under scenarierna med låga respektive medelhöga utsläpp (SSP1-2,6 respektive SSP2-4,5). Den övre konfidensgränsen under SSP2-4,5 ligger strax över noll, det vill säga en knapp höjning av medelvattenståndet, från ca 2100 och framåt. Även under scenariot med mycket höga utsläpp (SSP5-8,5) blir förändringen av medelvattenståndet liten då medianvärdet beaktas. Den övre konfidensgränsen skulle dock ge en höjning av medelvattenståndet på ca 30 cm fram till 2100 och drygt 60 cm till år 2150, relativt referensperioden. Den nedre konfidensgränsen däremot skulle ge en sänkning av medelvattenståndet med ca 25 cm fram till 2100 och ca 40 cm till år 2150. Antalet tillgängliga modellkörningar minskar efter år 2100. Det är denna förändring i underliggande data som orsakar en brytpunkt vid sekelskiftet.

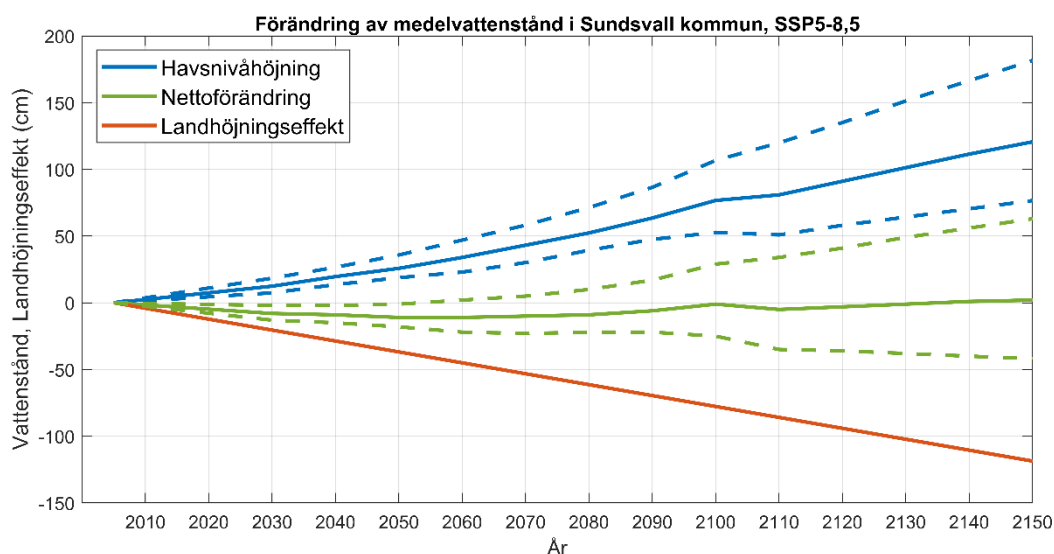
Tidsutvecklingen av medelvattenståndets förändring för övriga kustkommuner i Västernorrlands län är liknande som för Sundsvall. Men eftersom landhöjningseffekten är högre längre norrut i länet motverkas den regionala havsnivåhöjningen i större utsträckning jämfört med Sundsvall kommun. Motsvarande illustrationer för övriga kustkommuner i Västernorrlands län visas i Bilaga 8.2.



**Figur 19. Illustration av medelvattenståndets förändring i Sundsvall kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP1-2,6, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för Sundsvall kommun visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**



**Figur 20. Illustration av medelvattenståndets förändring i Sundsvall kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP2-4,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för Sundsvall kommun visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**



**Figur 21. Illustration av medelvattenståndets förändring i Sundsvall kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP5-8,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för Sundsvall kommun visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**

## 5.2 Framtida medelvattenstånd i Västernorrlands län

Framtida medelvattenstånd för kustkommunerna i Västernorrlands län redovisas i cm i RH 2000 utifrån medianvärde och sannolikt intervall för scenarierna SSP1-1,9, SSP1-2,6, SSP2-4,5, SSP3-7,0 och SSP5-8,5 för tidshorisonerna 2050, 2100 och 2150 (se Tabell 8, Tabell 10, Tabell 12, Tabell 14 respektive Tabell 16). Det sannolika intervallet begränsas av den 17:e och den 83:e percentilen.

Därtill redovisas uppgifter om framtida medelvattenstånd för SSP1-2,6 och SSP5-8,5 med låg konfidens, för samma tidshorisoner som övriga scenarier (se Tabell 9, Tabell 11, Tabell 13, Tabell 15 och Tabell 17). Uppgifter utifrån scenarierna med låg konfidens redovisas för samma percentiler som övriga scenarier men intervallet bedöms ej som sannolikt av IPCC.

Medelvattenståndet under referensperioden 1995-2014 var 13 cm i RH 2000 i de aktuella kustkommunerna och år 2022 har medelvattenståndet i länet beräknats till ungefär -1 till 0 cm i RH 2000 (utifrån linjär regression).

På kort sikt, fram till år 2050, förväntas medelvattenståndet i Västernorrlands län inte bli särskilt annorlunda från idag och det skiljer inte särskilt mycket mellan de olika scenarierna. På längre sikt skiljer det mer mellan de olika scenarierna, särskilt bortom 2100. Det är framförallt under det mycket höga utsläppsscenarioet SSP5-8,5 som framtida medelvattenstånd i länet kan bli högre, särskilt då konfidensintervallet beaktas. Under övriga scenarier är det snarare ett lägre medelvattenstånd som beräknats för länet.

Hur havsnivån stiger på längre sikt påverkas både av hur utsläppen utvecklas framöver, men också av hur inlandsisarna svarar på uppvärmningen. Det mycket höga utsläppsscenarioet med låg konfidens visar att samhället har mycket att vinna på att minska utsläppen för att undvika en allt större och snabbare höjning av havsnivån.

## 5.2.1 Sundsvall kommun

**Tabell 8. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för fem olika utsläppsscenarioer, från ett lågt till ett mycket högt.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-1,9 (Mycket lågt)	-1 (-8 till 7)	-23 (-42 till 0)	-46 (-77 till -8)
SSP1-2,6 (Lågt)	-1 (-9 till 9)	-21 (-40 till 3)	-46 (-80 till -5)
SSP2-4,5 (Medelhögt)	1 (-6 till 10)	-8 (-26 till 16)	-20 (-53 till 25)
SSP3-7,0 (Högt)	1 (-8 till 11)	0 (-22 till 28)	-3 (-47 till 52)
SSP5-8,5 (Mycket högt)	2 (-5 till 12)	12 (-12 till 42)	15 (-29 till 76)

**Tabell 9. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för ett lågt respektive mycket högt utsläppsscenario med låg konfidens då de inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-2,6 Låg konfidens (Lågt)	-1 (-10 till 9)	-22 (-43 till 3)	-44 (-80 till -5)
SSP5-8,5 Låg konfidens (Mycket högt)	2 (-7 till 13)	19 (-12 till 60)	78 (-29 till 380)



## 5.2.2 Timrå kommun

**Tabell 10. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för fem olika utsläppsscenarioer, från ett lågt till ett mycket högt.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-1,9 (Mycket lågt)	-2 (-8 till 6)	-24 (-43 till -1)	-47 (-78 till -9)
SSP1-2,6 (Lågt)	-1 (-10 till 9)	-22 (-41 till 2)	-47 (-82 till -6)
SSP2-4,5 (Medelhögt)	1 (-6 till 9)	-9 (-27 till 15)	-21 (-55 till 23)
SSP3-7,0 (Högt)	0 (-8 till 10)	-1 (-23 till 27)	-5 (-49 till 50)
SSP5-8,5 (Mycket högt)	2 (-6 till 11)	11 (-13 till 41)	14 (-31 till 75)

**Tabell 11. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för ett lågt respektive mycket högt utsläppsscenario med låg konfidens då de inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-2,6 Låg konfidens (Lågt)	-2 (-11 till 9)	-23 (-44 till 2)	-46 (-82 till -6)
SSP5-8,5 Låg konfidens (Mycket högt)	2 (-7 till 13)	18 (-13 till 59)	77 (-31 till 378)

### 5.2.3 Härnösand kommun

**Tabell 12. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för fem olika utsläppsscenarioer, från ett lågt till ett mycket högt.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-1,9 (Mycket lågt)	-3 (-9 till 6)	-25 (-44 till -2)	-49 (-81 till -11)
SSP1-2,6 (Lågt)	-2 (-10 till 8)	-23 (-42 till 1)	-49 (-84 till -8)
SSP2-4,5 (Medelhögt)	0 (-7 till 9)	-10 (-28 till 14)	-23 (-57 till 21)
SSP3-7,0 (Högt)	0 (-9 till 10)	-3 (-25 till 26)	-7 (-51 till 48)
SSP5-8,5 (Mycket högt)	1 (-6 till 11)	9 (-14 till 40)	12 (-33 till 73)

**Tabell 13. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för ett lågt respektive mycket högt utsläppsscenario med låg konfidens då de inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-2,6 Låg konfidens (Lågt)	-2 (-11 till 8)	-24 (-45 till 1)	-48 (-84 till -8)
SSP5-8,5 Låg konfidens (Mycket högt)	1 (-8 till 12)	17 (-14 till 58)	74 (-33 till 376)

## 5.2.4 Kramfors kommun

**Tabell 14. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för fem olika utsläppsscenarioer, från ett lågt till ett mycket högt.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-1,9 (Mycket lågt)	-3 (-9 till 5)	-26 (-46 till -3)	-51 (-83 till -13)
SSP1-2,6 (Lågt)	-2 (-11 till 7)	-24 (-44 till -1)	-52 (-86 till -10)
SSP2-4,5 (Medelhögt)	-1 (-8 till 8)	-11 (-30 till 12)	-25 (-59 till 19)
SSP3-7,0 (Högt)	-1 (-10 till 9)	-4 (-26 till 24)	-9 (-53 till 46)
SSP5-8,5 (Mycket högt)	1 (-7 till 10)	8 (-16 till 38)	9 (-36 till 70)

**Tabell 15. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för ett lågt respektive mycket högt utsläppsscenario med låg konfidens då de inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-2,6 Låg konfidens (Lågt)	-3 (-12 till 7)	-26 (-47 till -1)	-50 (-86 till -10)
SSP5-8,5 Låg konfidens (Mycket högt)	0 (-9 till 12)	15 (-16 till 56)	72 (-36 till 373)

## 5.2.5 Örnsköldsvik kommun

**Tabell 16. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för fem olika utsläppsscenarioer, från ett lågt till ett mycket högt.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-1,9 (Mycket lågt)	-4 (-10 till 4)	-29 (-48 till -5)	-54 (-86 till -16)
SSP1-2,6 (Lågt)	-4 (-12 till 6)	-26 (-46 till -3)	-55 (-90 till -13)
SSP2-4,5 (Medelhögt)	-2 (-9 till 7)	-13 (-32 till 10)	-29 (-62 till 16)
SSP3-7,0 (Högt)	-2 (-11 till 8)	-6 (-28 till 22)	-13 (-57 till 43)
SSP5-8,5 (Mycket högt)	0 (-8 till 9)	6 (-18 till 36)	6 (-39 till 67)

**Tabell 17. Beräknade framtida medelvattenstånd i cm i RH 2000 för år 2050, 2100 och 2150 för ett lågt respektive mycket högt utsläppsscenario med låg konfidens då de inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet.**

Scenario	2050	2100	2150
SSP1-2,6 Låg konfidens (Lågt)	-4 (-13 till 6)	-28 (-49 till -3)	-53 (-90 till -13)
SSP5-8,5 Låg konfidens (Mycket högt)	-1 (-10 till 10)	13 (-18 till 54)	69 (-39 till 370)

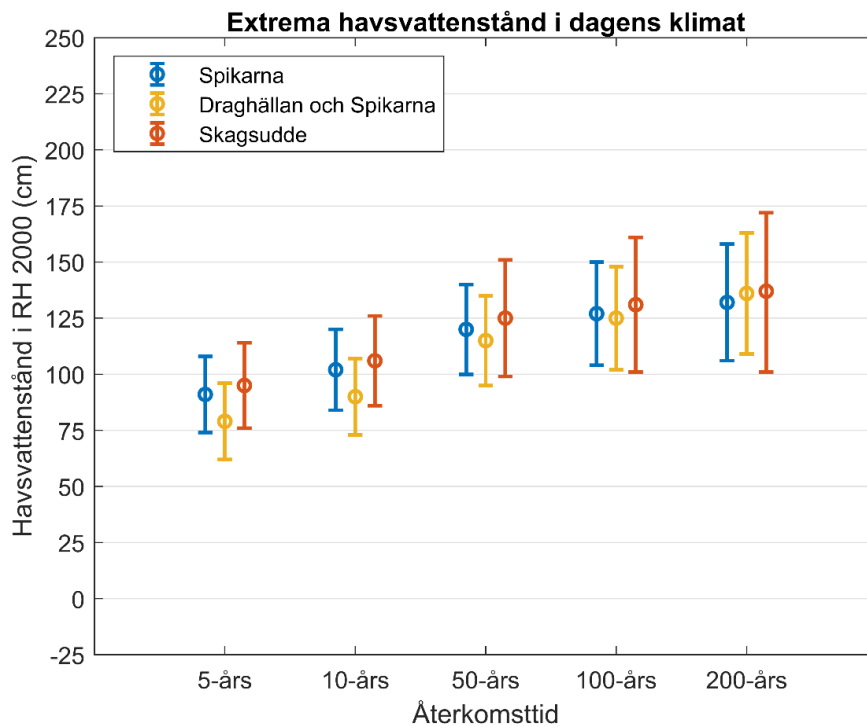
### 5.3 Extrema havsvattenstånd i Västernorrlands län

Beräknade extrema havsvattenstånd i dagens och framtidens klimat med upp till 200 års återkomsttid redovisas utifrån mätserierna vid Spikarna, den sammanslagna mätserien från Draghällan och Spikarna samt vid Skagsudde, se Tabell 18, Tabell 19 respektive Tabell 20. Framtida extremnivåer anges för scenarierna SSP1-2,6, SSP2-4,5 och SSP5-8,5 för tidshorisonterna 2050, 2100 och 2150, vilka har valts av länsstyrelsen.

För framtida klimat anges extrema vattenstånd utifrån mätseriernas beräknade extremvärden överlagrat det framtida medelvattenståndet i tillhörande kommun. Värdena anges i RH 2000 med ett tillhörande konfidensintervall på 90 procent. Konfidensintervallet har beräknats utifrån kombinerade osäkerheter och innehåller osäkerheten i extremvärdet, osäkerheten i klimatprojektioner samt en mätosäkerhet. Konfidensintervallet tillhörande värdena gällande för dagens klimat (år 2022) innehåller osäkerheten i extremvärdet och osäkerheten i själva mätningarna.

Beräknade extrema havsvattenstånd i dagens klimat, utifrån de olika mätserierna, illustreras i Figur 22. Det kan konstateras att extremvärdena beräknade utifrån de olika mätserierna ger liknande resultat för de olika återkomstperioderna. Den längre sammanslagna mätserien Draghällan och Spikarna ger något lägre extremvärden för de kortare återkomstperioderna. För de längre återkomstperioderna skiljer det 5-6 cm (skattade värden, konfidensintervall ej beaktade) mellan extremvärdena utifrån de olika mätserierna. Konfidensintervallen av extremvärdena utifrån mätserien från Skagsudde är större jämfört med de övriga, särskilt för de längre återkomstperioderna.

I Figur 23 och Figur 24 illustreras havsvattenståndet med 100 respektive 200 års återkomsttid utifrån Draghällan och Spikarna i dagens klimat och dess förändring i framtida klimat till följd av förändrat medelvattenstånd. Illustrationerna visar att på kort sikt (2050) blir extremnivåerna ungefär desamma som idag. På längre sikt blir extremnivåerna lägre än idag under det låga och medelhöga scenariot, SSP1-2,6 och SSP2-4,5, men högre än idag under det mycket höga scenariot SSP5-8,5 (skattade värden, konfidensintervall ej beaktade).



**Figur 22. Extrema havsvattenstånd i cm i RH 2000 i dagens klimat upp till 200 års återkomsttid utifrån mätserierna vid Spikarna (blå), Draghällan och Spikarna (orange) samt Skagsudde (röd). Skattade värden visas som cirklar och staplarna anger tillhörande konfidensintervall på 90 procent.**

**Tabell 18. Beräknade återkomstvärden i cm i RH 2000 med upp till 200 års återkomstperiod i dagens och framtidens klimat utifrån mätserien vid Spikarna. Siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 procent.**

Återkomsttid (år)	5	10	50	100	200	
Dagens klimat	2022	91 (74 till 108)	102 (84 till 120)	120 (100 till 140)	127 (104 till 150)	132 (106 till 158)
	2050	90 (67 till 113)	101 (78 till 124)	119 (94 till 144)	126 (98 till 154)	131 (101 till 161)
SSP1-2,6	2100	70 (31 till 109)	81 (42 till 120)	99 (59 till 139)	106 (64 till 148)	111 (68 till 154)
	2150	45 (-17 till 107)	56 (-6 till 118)	74 (11 till 137)	81 (17 till 145)	86 (21 till 151)
SSP2-4,5	2050	92 (70 till 114)	103 (81 till 125)	121 (97 till 145)	128 (101 till 155)	133 (104 till 162)
	2100	83 (46 till 120)	94 (57 till 131)	112 (73 till 151)	119 (79 till 159)	124 (82 till 166)
	2150	71 (8 till 134)	82 (18 till 146)	100 (36 till 164)	107 (42 till 172)	112 (46 till 178)
SSP5-8,5	2050	93 (71 till 115)	104 (82 till 126)	122 (98 till 146)	129 (102 till 156)	134 (105 till 163)
	2100	103 (57 till 149)	114 (68 till 160)	132 (85 till 179)	139 (90 till 188)	144 (94 till 194)
	2150	106 (22 till 190)	117 (33 till 201)	135 (50 till 220)	142 (56 till 228)	147 (61 till 233)

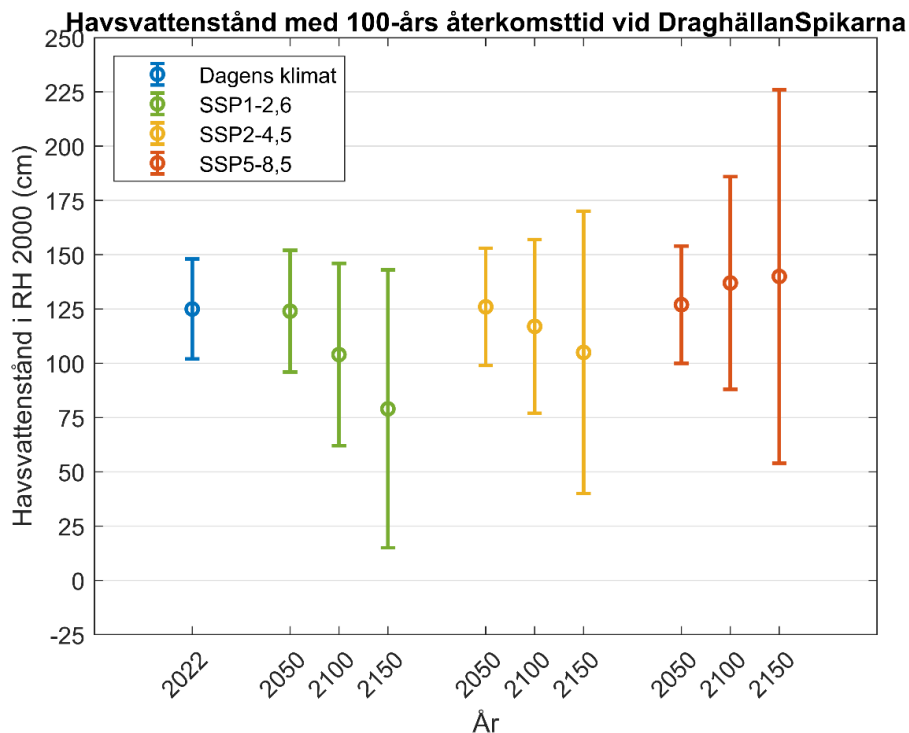
**Tabell 19. Beräknade återkomstvärden i cm i RH 2000 med upp till 200 års återkomstperiod i dagens och framtidens klimat utifrån den sammanslagna mätserien av Draghällan och Spikarna. Siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 procent.**

Återkomsttid (år)	5	10	50	100	200	
Dagens klimat	2022	79 (62 till 96)	90 (73 till 107)	115 (95 till 135)	125 (102 till 148)	136 (109 till 163)
	2050	78 (56 till 100)	89 (66 till 112)	114 (89 till 139)	124 (96 till 152)	135 (104 till 166)
SSP1-2,6	2100	58 (19 till 97)	69 (30 till 108)	94 (54 till 134)	104 (62 till 146)	115 (71 till 159)
	2150	33 (-29 till 95)	44 (-18 till 106)	69 (6 till 132)	79 (15 till 143)	90 (25 till 155)
SSP2-4,5	2050	80 (59 till 101)	91 (69 till 113)	116 (92 till 140)	126 (99 till 153)	137 (107 till 167)
	2100	71 (34 till 108)	82 (45 till 119)	107 (68 till 146)	117 (77 till 157)	128 (85 till 171)
	2150	59 (-4 till 122)	70 (7 till 133)	95 (31 till 159)	105 (40 till 170)	116 (49 till 183)
SSP5-8,5	2050	81 (60 till 102)	92 (70 till 114)	117 (93 till 141)	127 (100 till 154)	138 (108 till 168)
	2100	91 (45 till 137)	102 (56 till 148)	127 (80 till 174)	137 (88 till 186)	148 (97 till 199)
	2150	94 (10 till 178)	105 (21 till 189)	130 (45 till 215)	140 (54 till 226)	151 (64 till 238)

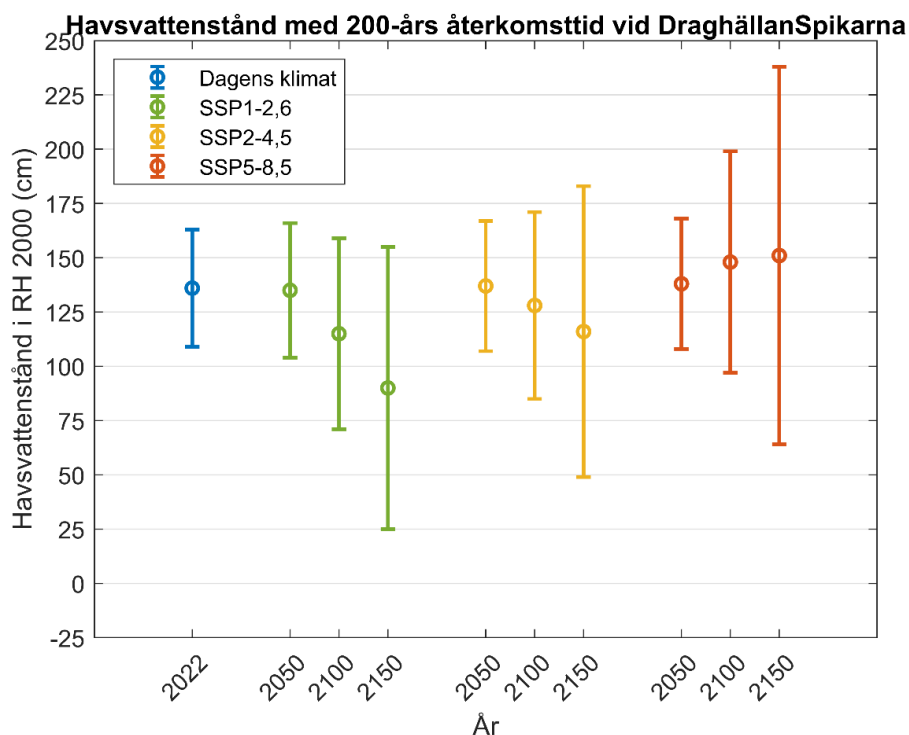
**Tabell 20. Beräknade återkomstvärden i cm i RH 2000 med upp till 200 års återkomstperiod i dagens och framtidens klimat utifrån mätserien vid Skagsudde. Siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 procent.**

Återkomsttid (år)	5	10	50	100	200	
Dagens klimat	2022	95 (76 till 114)	106 (86 till 126)	125 (99 till 151)	131 (101 till 161)	137 (101 till 172)
	2050	92 (68 till 116)	103 (78 till 128)	122 (92 till 152)	128 (95 till 161)	134 (96 till 172)
SSP1-2,6	2100	70 (30 till 110)	81 (41 till 121)	100 (57 till 143)	106 (60 till 152)	112 (62 till 162)
	2150	41 (-23 till 105)	52 (-12 till 116)	71 (5 till 137)	77 (9 till 145)	83 (12 till 154)
SSP2-4,5	2050	94 (71 till 117)	105 (81 till 129)	124 (95 till 153)	130 (97 till 163)	136 (98 till 174)
	2100	83 (45 till 121)	94 (55 till 133)	113 (71 till 155)	119 (75 till 163)	125 (77 till 173)
	2150	67 (3 till 131)	78 (14 till 142)	97 (31 till 163)	103 (35 till 171)	109 (38 till 180)
SSP5-8,5	2050	96 (73 till 119)	107 (83 till 131)	126 (97 till 155)	132 (99 till 165)	138 (100 till 176)
	2100	102 (55 till 149)	113 (66 till 160)	132 (82 till 182)	138 (86 till 190)	144 (88 till 200)
	2150	102 (16 till 188)	113 (26 till 200)	132 (44 till 220)	138 (49 till 227)	144 (53 till 235)





**Figur 23.** Havsvattenstånd i cm i RH 2000 med 100 års återkomsttid i dagens och framtidens klimat utifrån den sammanslagna mätserien vid Draghällan och Spikarna.



**Figur 24.** Havsvattenstånd i cm i RH 2000 med 200 års återkomsttid i dagens och framtidens klimat utifrån den sammanslagna mätserien vid Draghällan och Spikarna.

## 5.4 Vinduppstuvning i fjärdar

Skattad vinduppstuvningseffekt i ett antal fjärdar inom Västernorrlands län visas i Tabell 21. Uppgifter har tagits fram utifrån beräknade extremvindar med upp till 200 års återkomsttid i den mest ogynnsamma vindriktningen för respektive fjärd. Uppgifterna avser uppstuvningseffekten längst in i respektive fjärd. Örnsköldsviksfjärden inkluderar även Dekarsöfjärden, Nötblandsfjärden och Havsfjärden.

Beräkningarna av vinduppstuvning är av överslagsmässig karaktär. Ett konfidensintervall på 90 procent anges men intervallet innehåller enbart osäkerheten i extremvinden. Osäkerheter av fjärdarnas medeldjup och längd är ej inräknade. Mer noggranna beräkningar av vinduppstuvningseffekter kan exempelvis göras med hjälp av en hydrodynamisk modell, där exempelvis hänsyn tas till ett varierat bottendjup.

Den skattade uppstuvningseffekten i Älandsfjärden, Gaviksfjärden och Ullångersfjärden är förhållandevis låg, uppemot ca 10 cm vid vindar med 200 års återkomsttid. Den förhållandevis låga uppstuvningseffekten beror på fjärdarnas stora djup, särskilt i Gaviks- och Ullångersfjärden.

Vid övriga fjärdar har uppstuvningseffekten skattats till mellan 15-30 cm utifrån vindar med 200 års återkomsttid och uppemot 40 cm då övre konfidensgränsen beaktas. Högst vinduppstuvning fås för Klingerfjärden och Alnösundet, som är förhållandevis lång och grund.

Uppstuvningseffekten i Södra sundet, in mot Härnösand, är troligen överskattad eftersom vattnet kan rinna genom sundet och vidare norrut. Viss uppstuvning torde ändå kunna uppstå vid pålandsvindar eftersom sundet är relativt smalt och grunt samt att vatten stuvats upp även norr om sundet in mot Älandsfjärden.

För att få mer representativa nivåer längst in i fjärdar bör vinduppstuvningens bidrag till vattenståndet beaktas, i tillägg till beräknade extremnivåer representativa för öppna kusten. Den uppskattade vinduppstuvningen ger en fingervisning om det ytterligare bidrag till extremvattenståndet som kan förväntas längst in i fjärden vid ogynnsam vindriktning.

**Tabell 21. Skattad vinduppstuvningseffekt i cm utifrån extremvindar med upp till 200 års återkomsttid. Siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 procent utifrån osäkerheten i extremvinden. Den mest ogynnsamma vindriktning för respektive fjärd/sund anges inom parentes.**

Återkomsttid (år)	5	10	50	100	200
<b>Fjärd/sund</b>					
<b>Klingerfjärden och Alnöundet (SO)</b>	13 (12 till 14)	16 (14 till 17)	21 (17 till 26)	24 (18 till 32)	28 (19 till 38)
<b>Södra sundet (S)</b>	9 (8 till 10)	11 (10 till 12)	13 (11 till 15)	14 (12 till 17)	16 (12 till 19)
<b>Älandsfjärden (S)</b>	5 (4 till 6)	6 (5 till 7)	7 (6 till 8)	8 (6 till 9)	8 (6 till 10)
<b>Kramfors- inkl. Ramöfjärden (SO)</b>	11 (10 till 12)	13 (12 till 14)	18 (14 till 22)	20 (15 till 26)	23 (16 till 32)
<b>Gaviksfjärden (SO)</b>	2 (1 till 3)	2 (1 till 3)	2 (1 till 3)	3 (2 till 4)	3 (2 till 4)
<b>Ullångersfjärden (O)</b>	3 (3 till 4)	4 (3 till 4)	5 (4 till 5)	5 (4 till 6)	5 (4 till 7)
<b>Örnsköldsviks- fjärden (SO)</b>	11 (10 till 12)	12 (11 till 14)	17 (14 till 21)	20 (15 till 25)	22 (15 till 31)
<b>Idbyfjärden inkl. Havsfjärden (SO)</b>	8 (7 till 9)	9 (8 till 10)	13 (10 till 16)	14 (11 till 19)	16 (11 till 23)
<b>Degerfjärden (SO)</b>	7 (6 till 8)	8 (7 till 9)	11 (9 till 14)	13 (10 till 17)	15 (10 till 20)

**Tabell 22. Beräknade extremvindar i m/s med 5, 10, 50, 100 och 200 års återkomsttid i sydlig, sydostlig respektive ostlig riktning baserat på observationer vid Skagsudde A från 1965 till 2021. Siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 procent.**

Återkomsttid (år)	5	10	50	100	200
<b>Riktning</b>					
<b>Sydlig (S)</b>	21 (20 till 22)	22 (21 till 23)	25 (23 till 27)	26 (23 till 28)	27 (24 till 30)
<b>Sydostlig (SO)</b>	19 (18 till 20)	20 (19 till 21)	24 (21 till 26)	25 (22 till 29)	27 (22 till 32)
<b>Ostlig (O)</b>	18 (17 till 19)	20 (19 till 21)	22 (20 till 24)	23 (21 till 25)	24 (21 till 26)

## 6 Diskussion och slutsatser

Framtida medelvattenstånd för kustkommunerna inom Västernorrlands län har tagits fram utifrån olika utsläppsscenarioer och för olika tidshorisonter. Därtill har extrema havsnivåer med upp till 200 års återkomstperiod beräknats gällande för öppna kusten. Även skattningar av ytterligare vinduppstuvningseffekt för ett antal fjärdar i länet har utförts. Val av scenario och tidshorisonter har gjorts av länsstyrelsen.

På kort sikt, fram till 2050, förväntas medelvattenståndet i Västernorrlands län inte bli särskilt annorlunda från idag och det skiljer inte särskilt mycket mellan de olika scenarierna. På längre sikt skiljer det mer mellan de olika scenarierna, särskilt bortom 2100. Det är framförallt under det mycket höga utsläppsscenarioet SSP5-8,5 som framtida medelvattenstånd i länet kan bli högre, särskilt då konfidensintervallet beaktas. Under övriga scenarier är det snarare ett lägre medelvattenstånd som beräknats för länet i framtida klimat.

Det har konstaterats att extremvärdena beräknade utifrån olika mätserier inom länet ger liknande resultat för de olika återkomstperioderna. För de längre återkomstperioderna skiljer det 5-6 cm (skattade värden, konfidensintervall ej beaktade) mellan extremvärden utifrån de olika mätserierna. Vattenstånd med exempelvis 100 och 200 års återkomsttid har beräknats till ca 125 cm respektive 135 cm i RH 2000 utifrån den längre sammanslagna mätserien (Draghällan och Spikarna). Uppgifter om extrema havsnivåer, i såväl dagens som framtidens klimat, anges med tillhörande konfidensintervall som kan vara värdefulla att beakta för att få en uppfattning om osäkerheten i värdena.

Till följd av ett förändrat medelvattenstånd i framtida klimat, ändras utgångsläget för tillfälliga högvattenhändelser, såsom exempelvis en 100-årshändelse. Extremnivåerna antas alltså inte bli mer extrema eller mer frekventa i sig utan antas överlagras medelvattenståndet. På kort sikt, fram till år 2050, blir extremnivåerna i länet ungefär desamma som idag. På längre sikt blir extremnivåerna i länet lägre än idag under det låga och medelhöga scenariot, SSP1-2,6 och SSP2-4,5, men högre än idag under det mycket höga scenariot SSP5-8,5 (skattade värden, konfidensintervall ej beaktade).

För representativa extremnivåer längst in i fjärdar bör ytterligare vinduppstuvning beaktas i tillägg till beräknade extremnivåer representativa för öppna kusten. Uppgifterna om havsnivåer innehåller inte vågor, vilket är det normala eftersom kortperiodiska vågor vanligen filtreras bort vid mätning av vattenstånd. Vid exponerad kust bör alltså även vågeffekter beaktas.

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 (prop. 2017/18:163) är att vid riskvärdering och planering av anpassningsåtgärder bör ett framtida klimat analyseras utifrån olika utsläppsscenarioer och beakta flera möjliga utfall utifrån dessa (Boverket, 2020).

Vilken extremnivå som är lämplig att använda vid samhällsplanering kan variera. 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 till nya förutsättningar. Det ingår inte i SMHI:s 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 medelvattenstånd. De uppgifter om framtida havsnivåer som anges i denna rapport kommer att behöva uppdateras i takt med att ny kunskap etableras och tillgängliggörs. SMHI rekommenderar att länsstyrelsen fortlöpande följer denna kunskapsutveckling.

## 7 Referenser

- 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 USA*, *116*(23), 11195-11200. doi:10.1073/pnas.1817205116
- Blom, G., Enger, J., Englund, G., & Grandell, J. (2005). *Sannolikhetssteori och statistisksteori med tillämpningar*. Lund: Studentlitteratur.
- Boverket. (den 22 december 2020). *PBL Kunskapsbanken - en handbok om plan- och bygglagen*. Hämtat från Klimataspekter och tidsperspektiv: [https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning\\_naturolyckor/tidsperspektiv/](https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/tidsperspektiv/) den 3 mars 2022
- Church, J., Clark, P., Cazenave, A., Gregory, J., Jevrejeva, S., Levermann, A., . . . Unnikrishnan, A. (2013). *Sea Level Change*. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., et al. (eds), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modelling of Extreme values*. London: Springer.
- DeConto, R. M., & Pollard, D. (2016). Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, *531*(7596), 591-7. doi:10.1038/nature17145
- Fox-Kemper, B., Hewitt, H., Xiao, C., Aðalgeirsdóttir, G., Drijfhout, S., Edwards, T., . . . Yu, Y. (2021). *Ocean, Cryosphere and Sea Level Change*. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].: Cambridge University Press, IPCC.
- Goelzer, H., Nowicki, S., Payne, A., Larour, E., Seroussi, H., Lipscomb, W. H., . . . Felikson, D. (2020). The future sea-level contribution of the Greenland ice sheet: a multi-model ensemble study of ISMIP6. *The Cryosphere*, *14*(9), 3071-3096. doi:10.5194/tc-14-3071-2020
- Hieronimus, M., & 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*, *49*, 1587-1600. doi:10.1007/s13280-019-01313-8
- IPCC. (2022). *About the IPCC*. Hämtat från <https://www.ipcc.ch/about/> den 3 mars 2022

- Kierulf, H. P., Steffen, H., Barletta, V. R., Lidberg, M., Johansson, J., Kristiansen, O., & Tarasov, L. (2021). A GNSS velocity field for geophysical applications in Fennoscandia. *Journal of Geodynamics*, *146*, 101845. doi:10.1016/j.jog.2021.101845
- Lantmäteriet. (utan årtal). *Landhöjning*. Hämtat från Landhöjning: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Landhojning/> den 3 mars 2022
- Levermann, A., Winkelmann, R., Albrecht, T., Goelzer, H., Golledge, N. R., Greve, R., . . . Calov, R. (2020). Projecting Antarctica's contribution to future sea level rise from basal ice shelf melt using linear response functions of 16 ice sheet models (LARMIP-2). *Earth System Dynamics*, *11*(1), 35-76. doi:10.5194/esd-11-35-2020
- Lindkvist, T., Andersson, J., Björkert, D., & Gyllander, A. (2003). *Djupdata för havsområden*. Oceanografi Nr. 73: SMHI.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S., Péan, C., Berger, S., . . . Zhou, B. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: IPCC.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S., Péan, C., Berger, S., . . . Zhou, B. (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: IPCC.
- Oppenheimer, M., Glavovic, B. C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A. K., Abd-Elgawad, A., . . . Sebesvari, Z. (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: IPCC.
- Pörtner, H.-O., Roberts, D., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., . . . Weyer, N. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. IPCC.
- Seneviratne, S., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., . . . Zhou, B. (2021). *Weather and climate extreme events in a changing climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews,

T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]:  
Cambridge University Press, IPCC.

Seroussi, H., Nowicki, S., Payne, A. J., Goelzer, H., Lipscomb, W. H., Abe-Ouchi, A., . . . Hatterman, T. (2020). ISMIP6 Antarctica: a multi-model ensemble of the Antarctic ice sheet evolution over the 21st century. *The Cryosphere*, 14(9), 3033-3070. doi:10.5194/tc-14-3033-2020

SMHI. (den 27 september 2013). *RCP scenarier*. Hämtat från RCP scenarier: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914> den 7 mars 2022

SMHI. (den 21 januari 2022). *Framtida medelvattenstånd*. Hämtat från Framtida medelvattenstånd: <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand-1.165493> den 28 februari 2022

SMHI. (den 27 januari 2022). *SSP-scenarier*. Hämtat från SSP-scenarier: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier> den 7 mars 2022

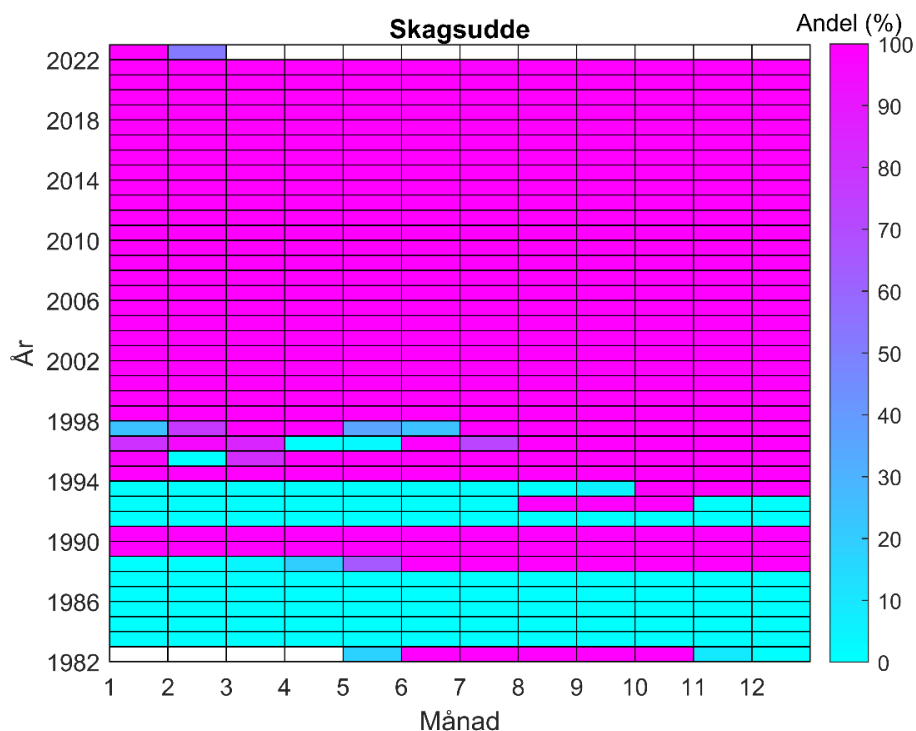
Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., . . . Midgley, P. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: IPCC.

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. doi:10.1007/s00190-019-01280-8

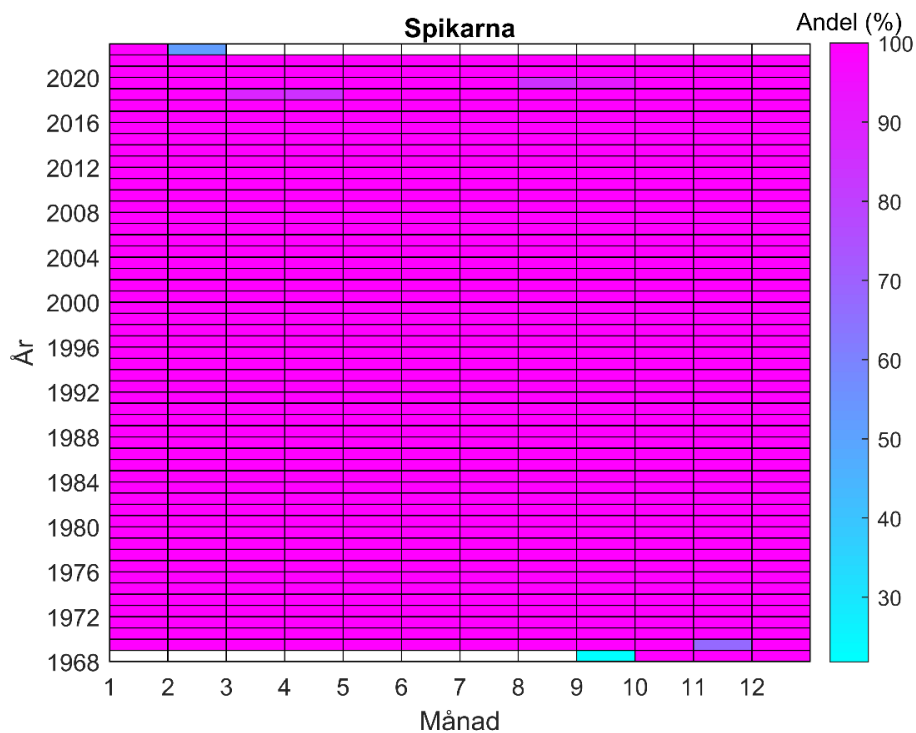


## 8 Bilaga

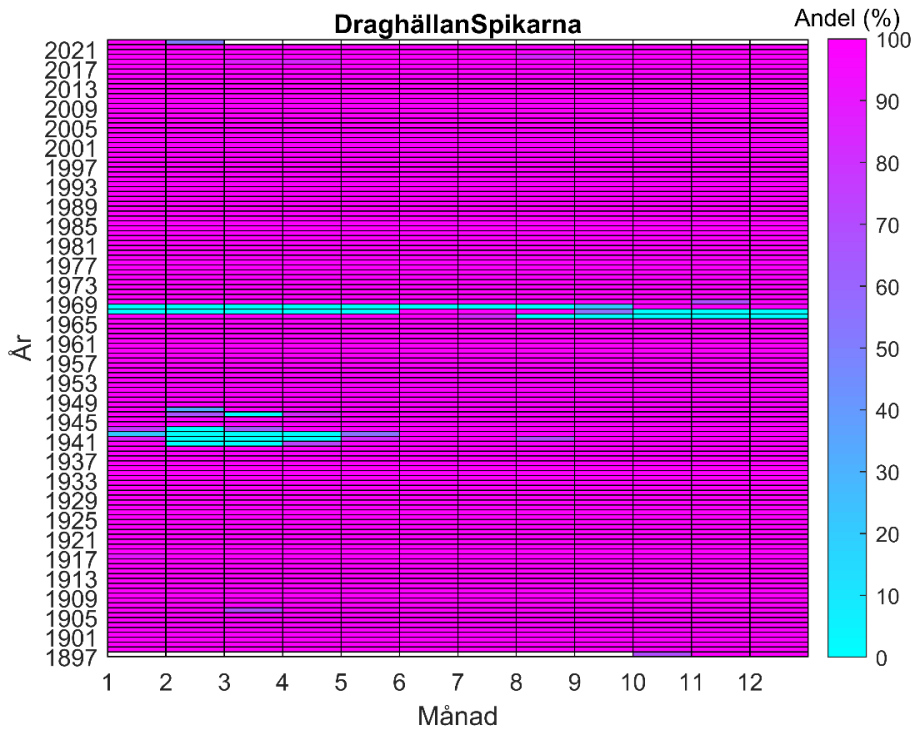
### 8.1 Datatillgänglighet



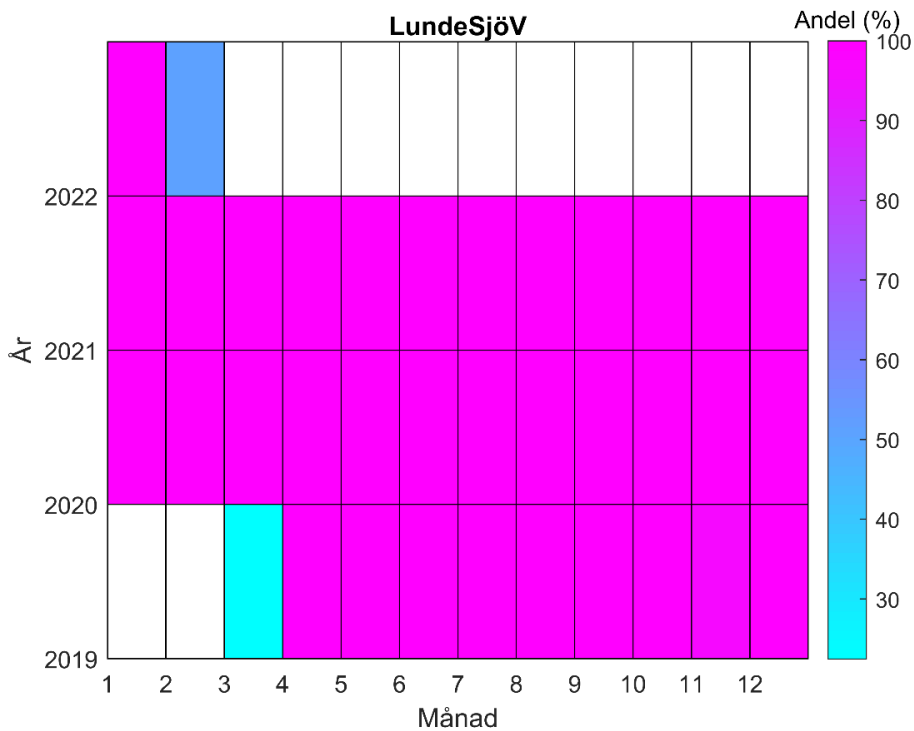
**Figur 25.** Andel i procent av antalet möjliga timobservationer per månad vid Skagsudde från maj 1982 till februari 2022.



**Figur 26.** Andel i procent av antalet möjliga timobservationer per månad vid Spikarna från september 1968 till februari 2022.



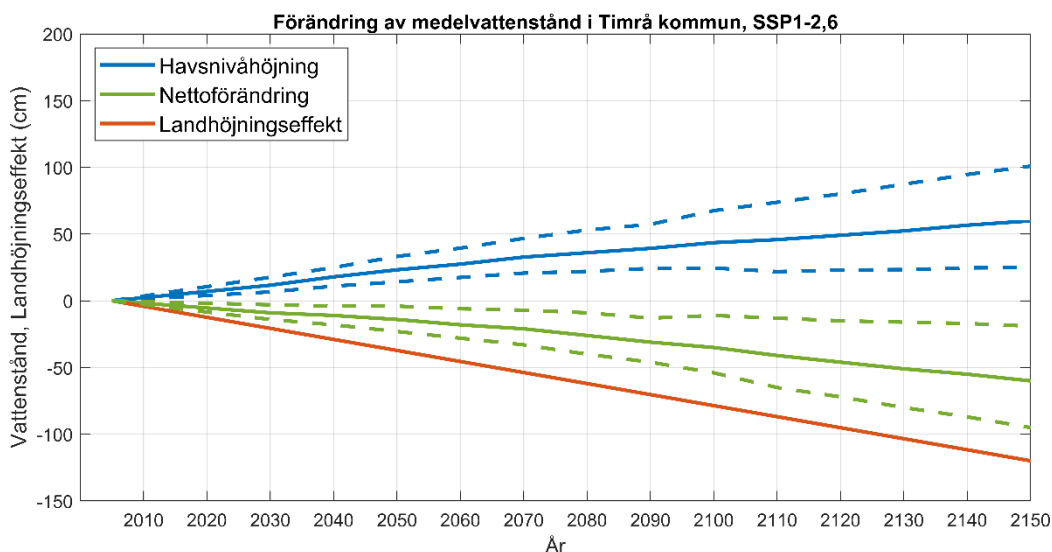
**Figur 27. Andel i procent av antalet möjliga timobservationer per månad av den sammanslagna mätserien Draghällan och Spikarna från oktober 1897 till februari 2022.**



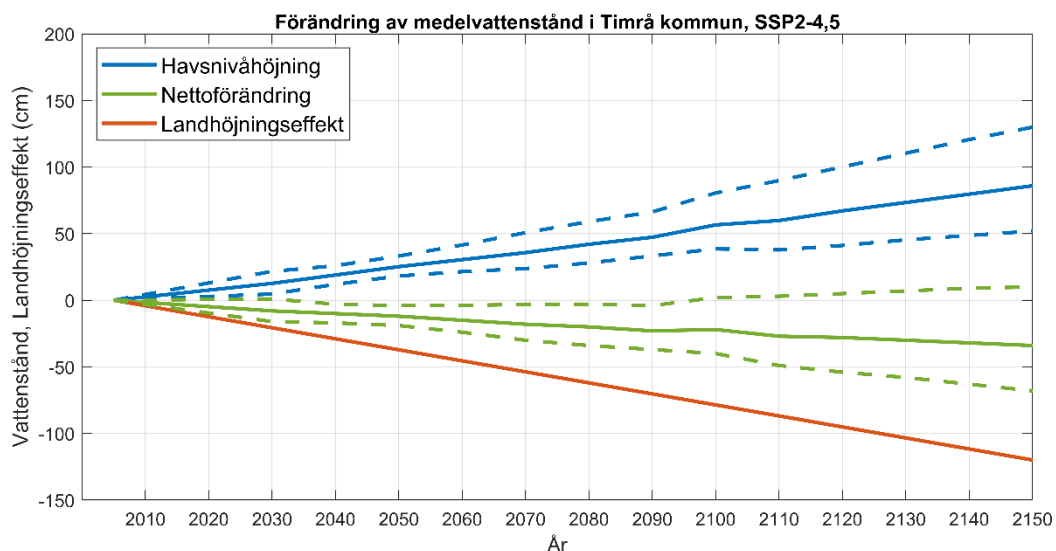
**Figur 28. Andel i procent av antalet möjliga timobservationer per månad vid Lunde från mars 2019 till februari 2022.**

## 8.2 Havsnivåförändring i Västernorrlands län

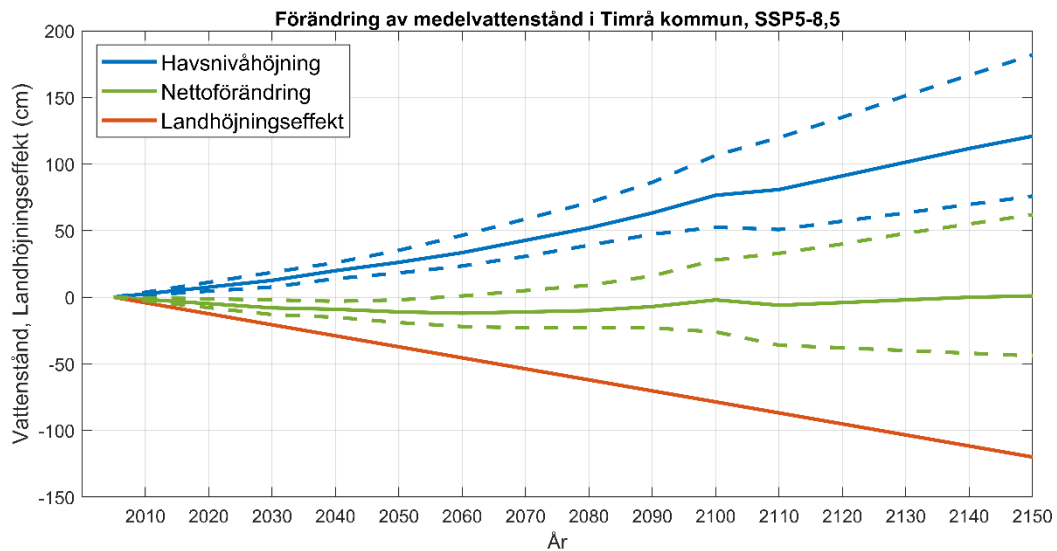
### 8.2.1 Timrå kommun



**Figur 29. Illustration av medelvattenståndets förändring i Timrå kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP1-2,6, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**

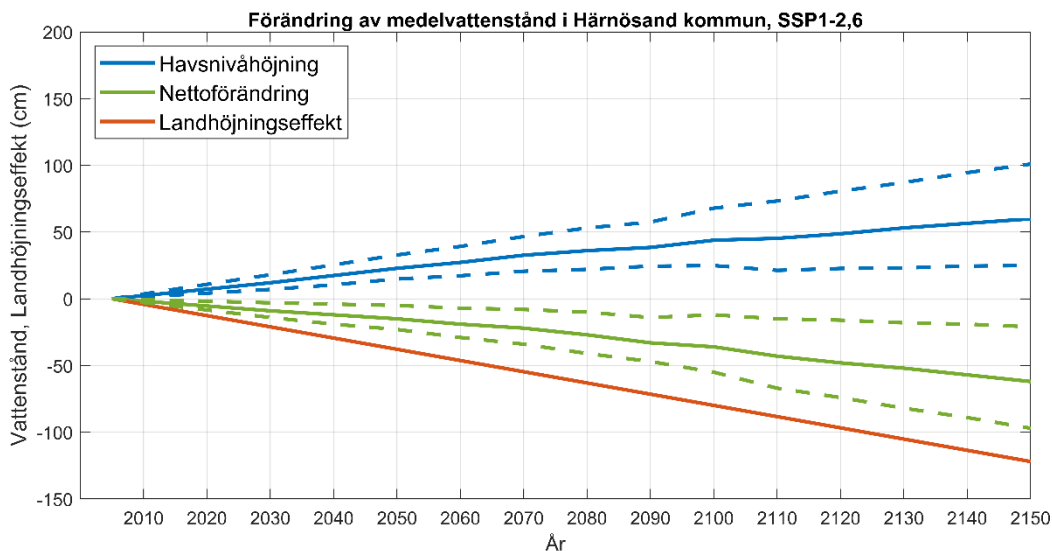


**Figur 30. Illustration av medelvattenståndets förändring i Timrå kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP2-4,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**

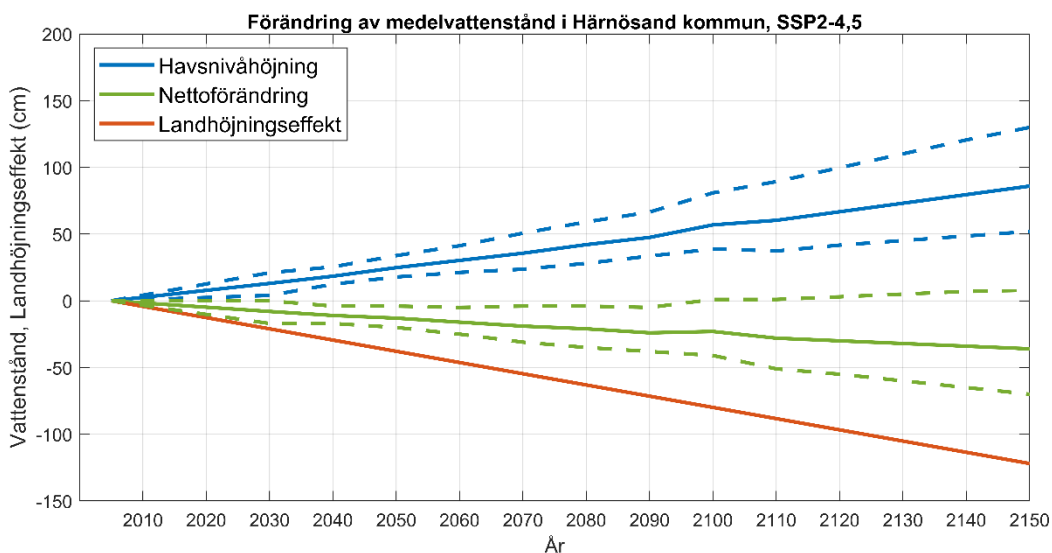


**Figur 31. Illustration av medelvattenståndets förändring i Timrå kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP5-8,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**

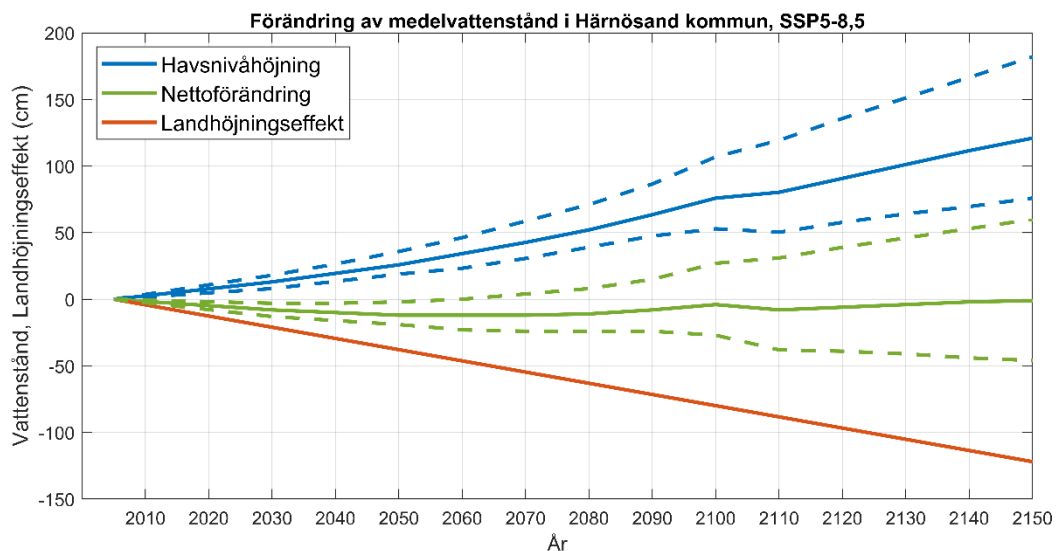
## 8.2.2 Härnösand kommun



**Figur 32. Illustration av medelvattenståndets förändring i Härnösand kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP1-2,6, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**

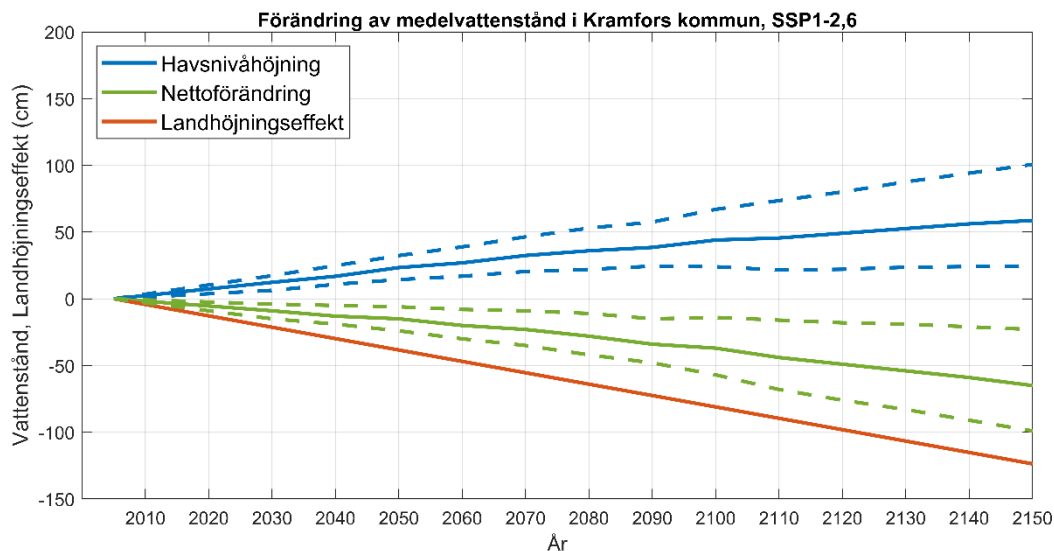


**Figur 33. Illustration av medelvattenståndets förändring i Härnösand kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP2-4,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**

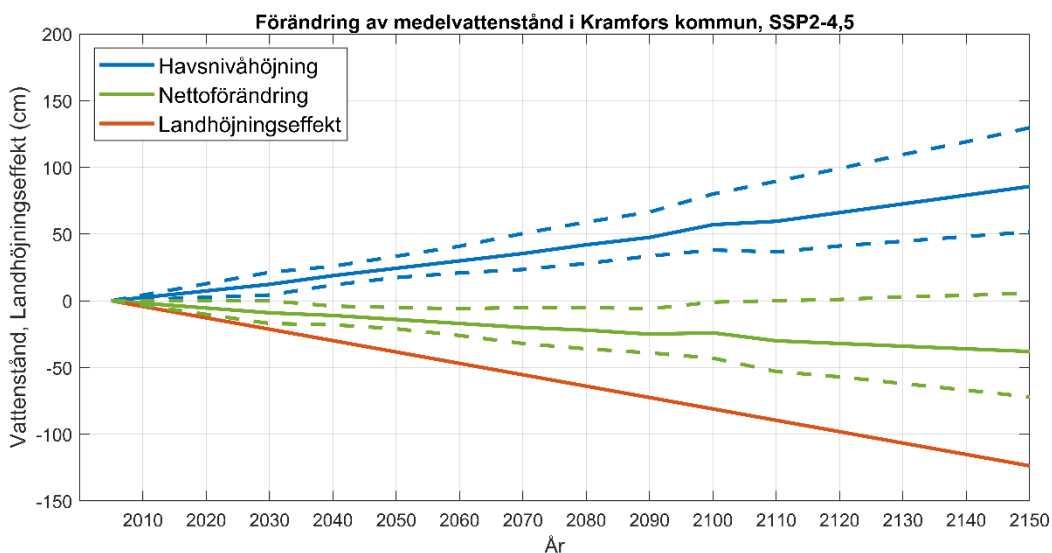


**Figur 34. Illustration av medelvattenståndets förändring i Härnösand kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP5-8,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**

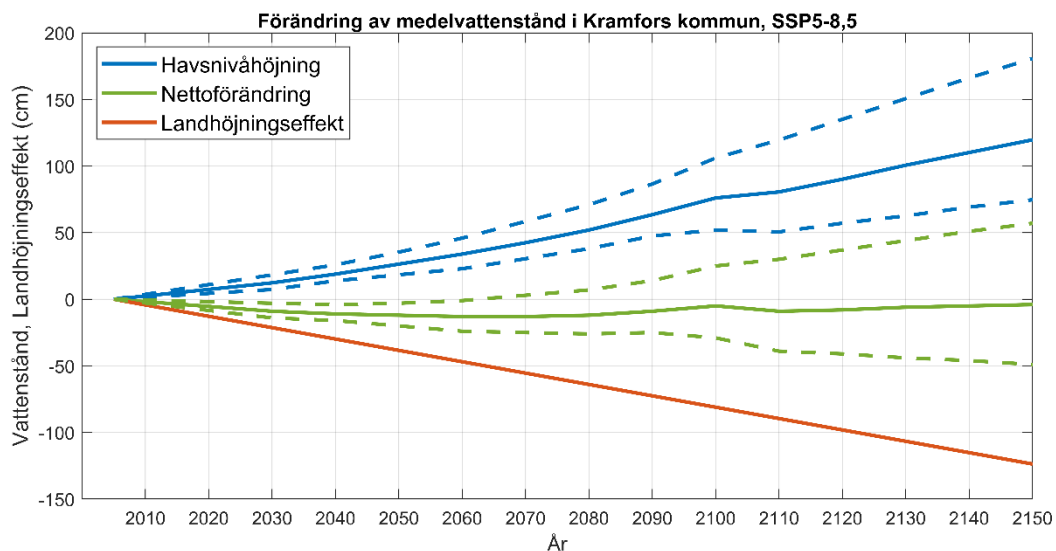
### 8.2.3 Kramfors kommun



**Figur 35. Illustration av medelvattenståndets förändring i Kramfors kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP1-2,6, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**



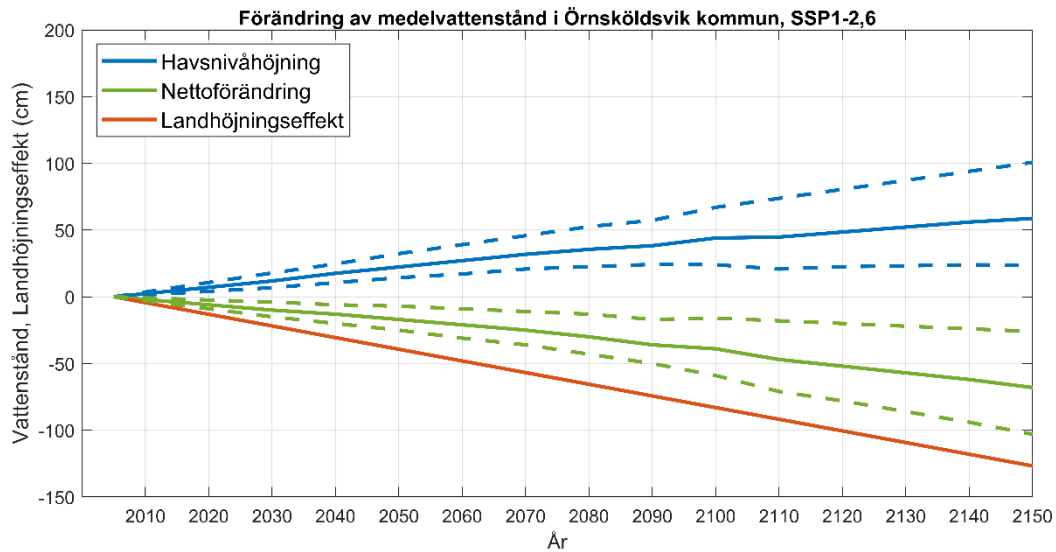
**Figur 36. Illustration av medelvattenståndets förändring i Kramfors kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP2-4,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**



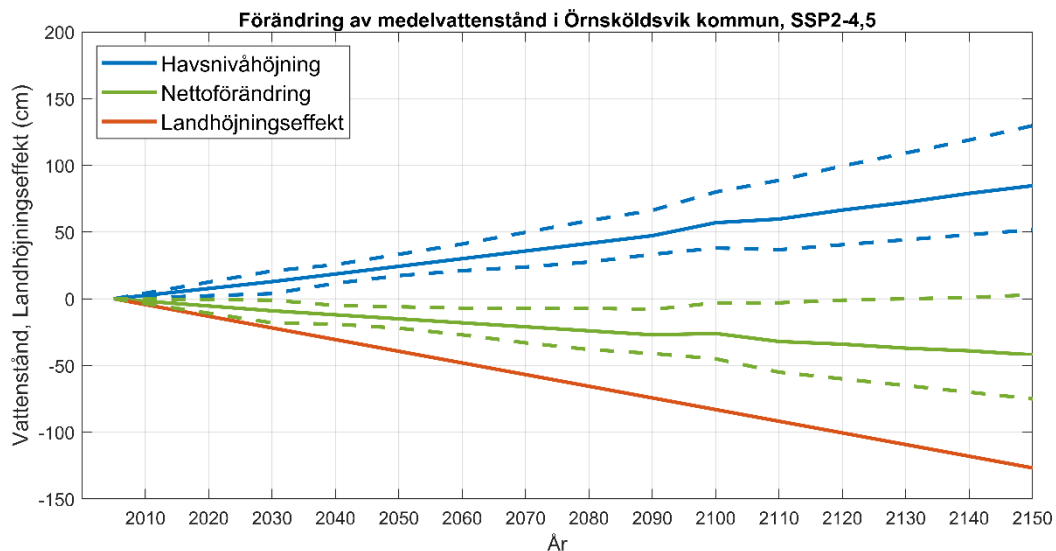
**Figur 37. Illustration av medelvattenståndets förändring i Kramfors kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP5-8,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**



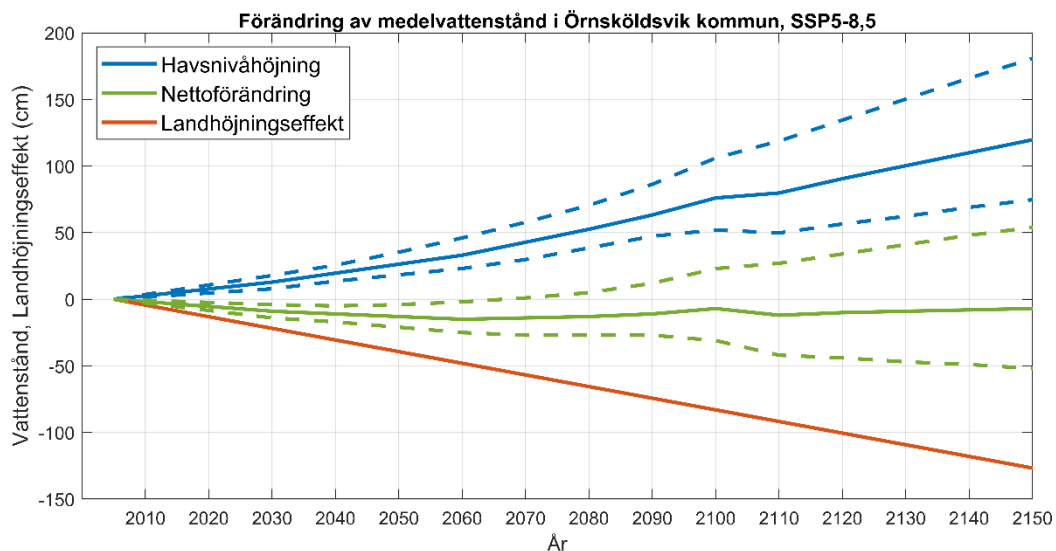
## 8.2.4 Örnsköldsvik kommun



**Figur 38. Illustration av medelvattenståndets förändring i Örnsköldsvik kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP1-2,6, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**



**Figur 39. Illustration av medelvattenståndets förändring i Örnsköldsvik kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP2-4,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**



**Figur 40. Illustration av medelvattenståndets förändring i Örnsköldsvik kommun relativt referensperioden 1995-2014 fram till år 2150 utifrån regional havsnivåhöjning under SSP5-8,5, medianvärde (blå) och sannolikt intervall (blå streckad). Landhöjningseffekten (röd) åskådliggörs negativ eftersom den motverkar den regionala havsnivåhöjningen. Medelvattenståndets förändring för i kommunen visas som medianvärde (grön) och sannolikt intervall (grön streckad).**