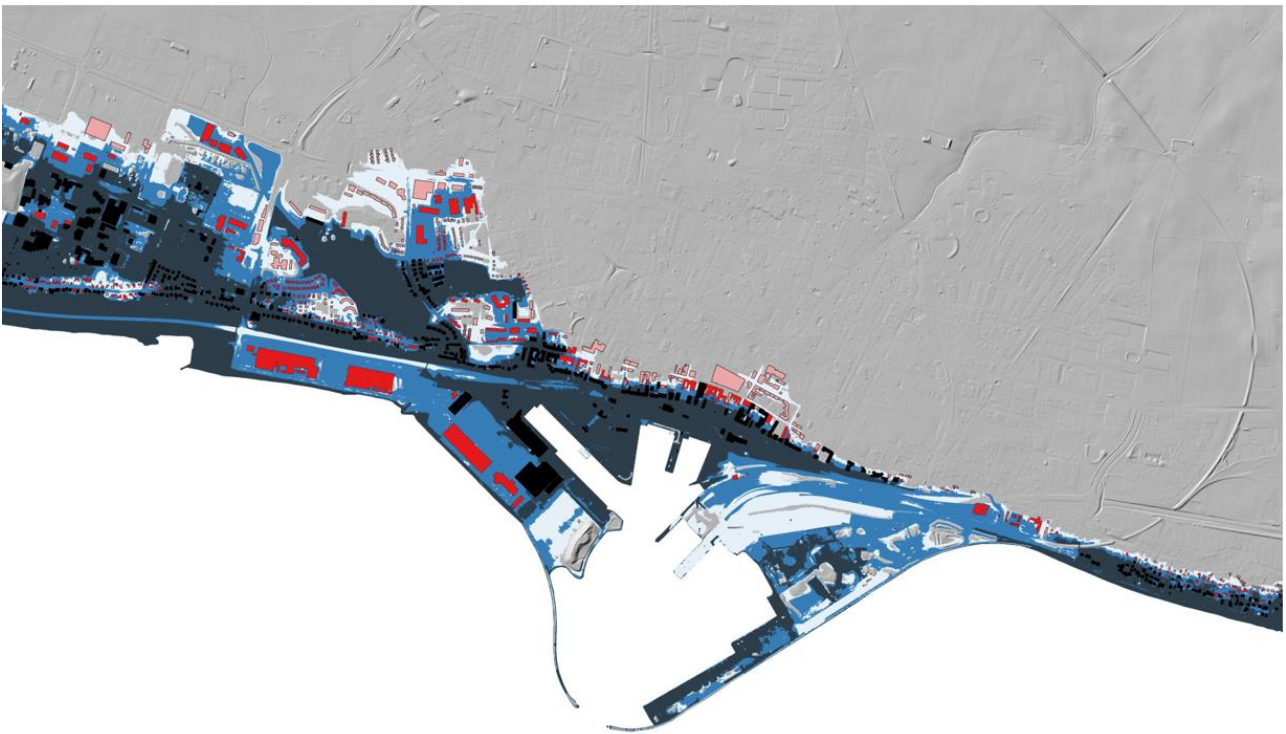


# Pilotstudie Kustöversvämning

Metodutveckling och pilotprojekt för  
översvämningsskartering i kustmiljö



# Ändringsförteckning

Ver:	Datum:	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänt av
1	2022-04-09	Utkast rapport	Maja Coghlan	
2	2022-05-23	Reviderad rapport utifrån MSB:s granskningskommentarer.	Emanuel Schmidt	

**Uppdrag:** MSB Metodutveckling Kust  
**Uppdragsnummer:** 30036603  
**Kund:** MSB  
**Ver:** 1  
**Datum:** 2021-05-23  
**Upprättad av:** Emanuel Schmidt  
**Dokumentreferens:** \\sestofs010\projekt\25463\30036603\000\10\_d  
oca\sweco 2022-05-23 - kustpiloten -  
metodutveckling och pilotprojekt för  
översvämningskartering i kustmiljö.docx

## Förord

Föreliggande studie har syftat till att utveckla en metodik för att definiera de randvillkor som behöver bestämmas vid kartering av översvämningar längs med den svenska kusten. Metoden tar hänsyn till regionala skillnader av havsnivåhöjning, beaktar högvatten på en regional nivå och tar även hänsyn till lokala effekter såsom vinduppstuvning. Den metodik som presenteras har vidare applicerats på fyra platser längs den svenska kusten i detaljerade pilotstudier; Trelleborg, Ängelholm, Kalmar och Gävle. Inför pilotstudierna togs ett förslag till metodik fram vilken därefter har reviderats baserat på resultat från dessa studier. Den ursprungliga metodiken presenteras i *Bilaga A - Antaganden och framtagning av randvillkor för översvämningskartering*, vilken även beskriver de beräkningar som utgör en del av de slutgiltiga randvillkoren.

Stort fokus i denna utredning har legat i att hitta en välbalanserad detaljeringsgrad. Metodiken ska kunna appliceras längs Sveriges 2400 kilometer kust, samtidigt som detaljeringsgraden ska vara tillräckligt hög för att med tillfredsställande noggrannhet identifiera områden med betydande översvämningsrisk.

Utöver att föreslå en metodik för att ta fram randvillkor för översvämningskartering rekommenderas även att en tröskelanalys utförs som ett komplement till kartläggningen av kustöversvämning. Swecos arbete inom detta område bygger vidare på ett examensarbetet *Översvämningshotad bebyggelse i Skåne och Halland - Tröskelanalys som metod för att utreda samhällets sårbarhet vid en havsnivåhöjning* av Erik Winqvist år 2021. Därtill har detta projekt potential att utgöra ett första steg mot att skapa en databas för data kopplad till kustöversvämningar.

### **Swecos organisation inom arbetet med Kustpiloten beskrivs nedan.**

Uppdragsledare har varit Maja Coghlan.

Handläggare inom kusthydraulik har varit Charlie van Houwelingen.

Handläggare och specialist inom kusthydraulik har varit Emanuel Schmidt.

Handläggare och specialist inom översvämningskartering och GIS har varit Viktor Kalén och Hampus Nilsson.

Kvalitetsgranskare inom kusthydraulik och översvämningskartering har varit Beatrice Nordlöf och Mattias Salomonsson.

# Innehållsförteckning

Ändringsförteckning .....	2
Sammanfattning .....	6
1 Syfte och bakgrund .....	8
2 Kusthydraulik .....	9
2.1 Regionalt vattenstånd .....	9
2.2 Vindeffekter .....	9
2.3 Vågor och vågeffekter .....	11
2.3.1 Våguppstuvning .....	11
2.3.2 Våguppspolning .....	11
2.3.3 Vågöverspolning .....	12
2.4 Stranderosion .....	13
2.4.1 Akut erosion .....	13
2.4.2 Kronisk erosion .....	13
2.5 Vattennivåer vid vattendragsmynningar .....	14
2.6 Statistiska analyser av kustdata .....	15
3 Underlag för kartering av översvämning .....	17
3.1 Klimatologiska data .....	17
3.2 Meteorologiska data .....	18
3.2.1 Vattenstånd .....	18
3.2.2 Vind .....	20
3.2.3 Vågor .....	21
3.3 Geografiska data .....	24
3.3.1 Topografi .....	24
3.3.2 Batymetri .....	24
3.3.3 Geologi .....	25
4 Metodik för översiktlig kustkartering .....	26
4.1 Medelvattenytans läge .....	27
4.2 Regionalt högvatten .....	28
4.3 Lokala effekter .....	30
4.4 Erosionskänsliga kuster .....	31
5 Pilotstudier .....	33
5.1 Syfte .....	33
5.2 Metodik för bestämning av högvattennivåer .....	33
5.2.1 Tillämpning av modell .....	33
5.2.2 Analys översvämningssytor .....	33
5.2.3 Tröskelanalys .....	34
5.2.4 Tröskelanalys med Scalgo Live .....	34
5.3 Pilotstudie Trelleborg .....	34
5.4 Pilotstudie Gävle .....	36
5.5 Pilotstudie Ängelholm .....	37
5.6 Pilotstudie Kalmar .....	38
6 Diskussion .....	40
6.1 Styrkor med föreslagen metodik .....	40

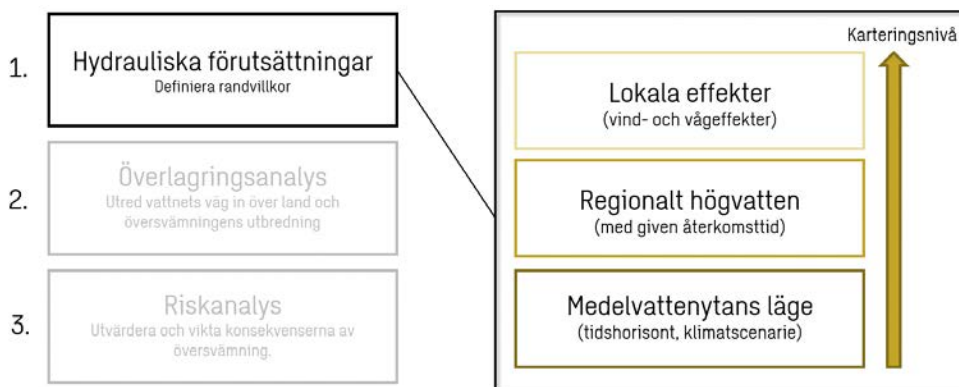
6.1.1	Ajourhållna randvillkor .....	40
6.1.2	Tröskelanalys .....	40
6.2	Svagheter med föreslagen metodik.....	40
6.2.1	Längd av tidsserier och brister i extremvärdesanalyser.....	40
6.2.2	Höjddata .....	41
6.2.3	Vågor .....	42
6.3	Förslag på fortsatt arbete .....	42
7	Referenser .....	45

## Sammanfattning

I följande sammanfattning ges en bakgrund till denna studies avgränsningar, samt en kortfattad redogörelse för detta dokumentets struktur och innehåll. Generellt kan förfarandet vid översvämningskartering delas in i tre olika delmoment:

1. Definiera de hydrauliska förutsättningarna längs berörd kust. Randvillkoren till havs behöver bestämmas, däribland exempelvis högvattennivåer och vind- och vågeffekter med given återkomsttid.
2. Med utgångspunkt i de scenarier som tas fram under 1) utföra överlagringsanalyser där vattnets väg in över land studeras. Denna analys kan göras både med statiska modeller eller med dynamiska beräkningsmodeller.
3. Att utvärdera riskbilden kopplad till de studerade scenarierna. Utvärderingen kan exempelvis utgå från sannolikheten av den händelse som studeras jämfört med antalet översvämmade objekt eller konsekvenser av att objekten översvämmas (exempelvis strömbrott osv).

Föreliggande rapport syftar huvudsakligen till att definiera de hydrauliska förutsättningarna som beskrivs under punkt 1) men även i viss mån till att genomföra känslighetstudier av statiska översvämningsmodeller som beskrivs under punkt 2). Ett schema för denna studies omfattning ges i Figur A nedan.



Figur A Illustration av omfattning och begränsningar av denna studie. Notera att avsnitt 2. Överlagringsanalys även till viss del hanteras inom pilotstudierna.

Den kunskap- och datasammanställning som utförts och den metodik som tagits fram har uteslutande utförts med hjälp av GIS-programvara såsom ArcMap, QGIS och FME.

Rapporten inleds i kapitel 2 med en bakgrund till kusthydraulik och relevanta fysikaliska processer som utgör förutsättningar för en översvämningskartering.

I kapitel 3 presenteras det underlag som bedömts vara relevant vid översvämningskartering, vilket utgörs av såväl klimatologiska, meteorologiska som geografiska data.

I kapitel 4 framställs den föreslagna metodiken för nationell översvämningskartering i Sverige. Denna metodik bygger på sammanställningar av befintliga data (t.ex. statistiska analyser av högvatten och klimatberäkningar), på regionala bedömningar (indelning av högvattenregimer)

och på nya lokala beräkningar. Den metodik som föreslås har tagits fram i en iterativ process med pilotstudier (se nästa stycke) och bilagt till detta dokument presenteras både ursprunglig metodik och de beräkningar som ligger till grund för lokala effekter. Metodiken som presenteras här är utformad för att användas tillsammans med det GIS-material som är bilagt denna rapport.

I kapitel 5 presenteras hur den föreslagna metodiken har applicerats (kap. 5.2) för kartering vid de fyra pilotområdena. I detta kapitel presenteras hur olika statistiska överlagringsanalyser nyttjats för att illustrera osäkerheter i karteringen. Notera att ingen hydraulisk modell applicerats i föreliggande studie. Resultat från pilotstudierna redovisas i kapitel 5.3 - 5.6.

I kapitel 6 diskuteras styrkor och svagheter med föreslagen metodik och här ges även förslag på fortsatt arbete.

# 1 Syfte och bakgrund

Att analysera översvämningar utmed Sveriges kust ingår i arbetet med översvämningdirektivet som genomförs i Sverige genom förordningen (2009:956) och MSBFS 2013:1 föreskrifter om riskhanteringsplaner. Syftet med direktivet är att minska de negativa konsekvenserna av översvämningar och på så sätt värna om människors hälsa och skydda miljön och kulturarv samt ekonomisk verksamhet. Arbetet sker i cykler om sex år där varje cykel består av tre steg. Första cykeln utfördes mellan åren 2010-2015 och under år 2022 påbörjas den tredje cykeln.

MSB ansvarar för utförandet av det första steget i cykeln som utgörs av en nationell bedömning av områden med översvämningrisker. I steg 2 ansvarar MSB för att kartlägga översvämningshotade områden och Länsstyrelserna för att kartlägga översvämningrisker inom de hotade områdena. Slutligen i steg tre tar länsstyrelserna fram riskhanteringsplaner där mål och åtgärder för hantering av översvämningriskerna stipuleras.

Bedömning av områden med betydande risk för kustöversvämningar inkluderades redan under cykel 2 då 18 områden utmed kusten identifierades med betydande översvämningrisk. För bedömningen togs nio olika utbredningsskikt för havet fram motsvarande havsnivåer mellan 1,0 och 5,0 i RH2000 med 0,5 m intervall. Utav dessa nio nivåer vägledde SMHI vilka av nivåerna som kan anses representativa för en statistisk 100-års nivå och extrem nivå i slutet av seklet. I kartläggningen togs dock ej hänsyn till effekten av vågor eller andra lokal fenomen.

Under 2022-2023 ska en ny identifiering av områden med betydande översvämningrisk utföras i samband med utförandet av det första steget i den 3:e cykeln. I samband med översynen av områden med betydande risk för kustöversvämningar har MSB efterfrågat en uppdaterad metodik för översiktlig kustöversvämningsskartering i Sverige där hänsyn även tas till lokala effekter samt till reviderade klimatscenarier från IPCC. Denna metodik ska därefter kunna appliceras för att bättre identifiera områden utsatta för kustöversvämning och leda till mer robusta översvämningsskarteringar än tidigare.

Denna utredning är en fortsättning på det inledande arbetet Sweco utförde 2021 med rekommendationer om befintliga metoder för översvämningsskartering av kustområden. I föreliggande utredning har befintliga metoder anpassats för svenska förhållanden och tillgänglighet på data. Föreslagen metodik bygger huvudsakligen på data och analyser från SMHI, men även på en del bedömningar framtagna inom ramen för föreliggande uppdrag. För utvärdering av föreslagen metodik har fyra pilotstudier utförts där metodiken har applicerats på olika orter längs Sveriges kust med olika förutsättningar gällande lokal kushydraulik, geografi och geologi. Resultat och slutsatser från pilotstudierna redovisas i kapitel 5.3 - 5.6 medan metodiken som helhet diskuteras i kapitel 6.



## 2 Kusthydraulik

Sveriges har med sina 2400 kilometer en av Europas längsta kuster och utmed vår kust skiljer sig de hydrauliska förhållandena kraftigt. Kapitlet *Kusthydraulik* syftar till att ge läsaren en inblick i de processer som senare beaktas i den metodik för översiktlig kustkartering som detta projekt syftar till att utveckla. Vattenståndsdynamiken, vågklimatet och havsbottnens utseende är bara några av de förhållanden som varierar både regionalt och på en lokal skala. I följande underkapitel redogörs kort för de hydrauliska förhållanden som bedöms vara av störst vikt att beakta för att med tillräcklig noggrannhet utföra en översiktlig kartering av områden med risk för översvämning från havet.

Detta kapitel beskriver vad som styr det regionala vattenståndet (2.1), hur vinden påverkar vattenståndet (2.2) och vilka effekter havsvågor har på vattenstånd och översvämningsrisker (2.3). Vidare redogörs även kort för två särskilt betydelsefulla kustformationer; erosionsbenägna kuster (2.4) och vattendragsmynningar (2.5). Slutligen förklaras även begrepp kopplade till sannolikhet och extrema händelser (2.6).

### 2.1 Regionalt vattenstånd

Havsvattenståndet längs den svenska kusten styrs i hög grad av vattenståndet i Skagerrak och Nordsjön och av storskaliga väderhändelser som lågtryck och stormar. Enligt SMHI (SMHI, 2017a) beror vattenståndet i de svenska farvattnen huvudsakligen på följande faktorer:

- Vattenståndet i Nordsjön och Skagerrak
- Regional vind
- Lokala effekter (vind, vågor)
- Tidvatten

På västkusten kan kortvariga variationer i Nordsjöns vattenstånd, till exempel tidvattenskillnader, påverka det lokala vattenståndet. Därför uppstår viss tidvattenskillnad längs västkusten, som mest med cirka 40 cm i Strömstad. Eftersom Östersjön och Skagerrak står i förbindelse med varandra genom Öresund och Båltregionen, båda förhållandevis smala och grunda områden, filtreras sådana kortvariga vattenståndsvariationer i Nordsjön bort från Östersjön. Av den anledningen är tidvattnet längs Östersjökusten i princip obefintlig förutom närmast Öresund. Långvariga variationer, i storleksordningen dagar och veckor, kan däremot tränga in i Östersjön.

Regionala vindar kan sedan modifiera vattenståndet ytterligare. Generellt pressas vattnet i Östersjön söderut vid nordliga vindar och höga vattenstånd kan uppstå längs sydkusten. Vid sydliga vindar är det tvärtom, vatten pressas in i Bottenviken och risken för högvatten uppstår i stället där. Utöver importerat vattenstånd och regionala vindar kan det regionala vattenståndet även påverkas genom lokala effekter från vindar och vågor.

### 2.2 Vindeffekter

När vinden blåser in mot en vik eller förträngning kan vattenytan snedställas, så att vattenståndet mot land förhöjs. Detta fenomen kallas vinduppstuvning och

kan potentiellt leda till lokalt förhöjda vattenstånd. Förträngningar kan utgöras av havsvikar, fjordar, bukter och andra vikliknande geografiska former.

För att vinduppstuvning ska uppstå krävs att vinden har en komponent längs med förträngningen. Generellt ökar storleken av vinduppstuvningen med:

- Förträngningens längd
- Vindstyrka (kvadratisk beroende)
- Minskat bottendjup

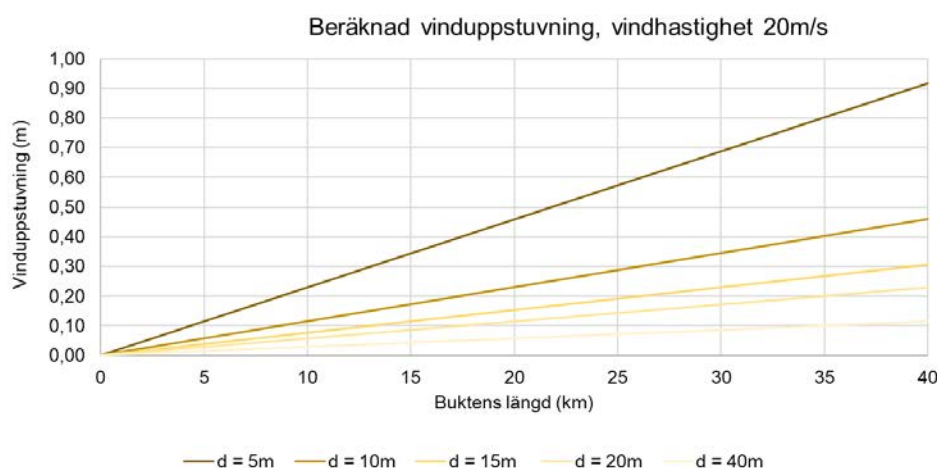
Vinduppstuvning är en effekt som ofta kan utläsas i närliggande vattenståndsstationer, men där det råder brist på uppmätta data kan en enkel uppskattning av vinduppstuvningens storlek göras genom det empiriska sambandet beskrivet i *Shore Protection Manual* (CERC , 1984):

$$\Delta h = \frac{\rho_{air}}{\rho_{water}} \cdot \frac{C_D \cdot W_x^2 \cdot L_B}{g \cdot d} \quad (\text{ekvation 1})$$

Där:

$\Delta h$	Vinduppstuvningens höjd	$L_B$	Stryklängd
$\rho_{air,water}$	Densitet för luft resp. vatten	$g$	Tyngdaccelerationen
$C_D$	Dimensionslös koefficient	$d$	Medeldjupet över $L_B$
$W_x$	Vindhastighet		

För att ge en bild av vinduppstuvningens magnitud har vindhastigheten beräknats med *ekvation 1*, för bukter med ett djup mellan 5-40 meter och med en konstant vindhastighet av 20 m/s. I Figur 2-1 presenteras vinduppstuvningen som en funktion av buktens längd och det går att utläsa att vinduppstuvningen ökar med buktens längd och med minskat bottendjup. Exempelvis kan vinduppstuvningen i en 25 kilometer lång bukt med ett medeldjup av 5 meter överstiga 50 cm vid vindhastigheter av 20 m/s.



Figur 2-1 Vinduppstuvning vid en vind på 20 m/s för olika medelvattendjup som en funktion av förträngningens längd.

## 2.3 Vågor och vågeffekter

När vinden blåser över en vattenyta bildas, på grund av friktion mot vattenytan, små variationer i vattenytans form. Dessa variationer har en vertikal yta för vinden att verka på. Detta leder till att en våg bildas och växer sig större. Storleken av vågor begränsas generellt av tre olika parametrar:

- Stryklängd (geografisk eller meteorologisk)
- Vindstyrka
- Vattendjup

Den sträcka över vilken vinden verkar för att bygga upp en våg kallas för stryklängd, och styr hur stor en våg kan bli. Stryklängden kan definieras på två olika sätt; meteorologiskt eller geografiskt. Geografisk stryklängd innebär att vindens stryklängd begränsas av avståndet från kust till kust. Meteorologisk stryklängd begränsas av vädersystemens storlek, alltså över vindfältets utbredningsområde. Det är från de längsta stryklängderna som de potentiellt största vågorna kan komma. I mindre vattenmassor så som Östersjön eller Öresund är det oftast de geografiska förutsättningarna som begränsar vågornas uppbyggnad.

Betydelsen av vågor för översvämningsrisker varierar på en mycket lokal skala. Vågor kan leda till lokala förhöjningar av vattenståndet närmast kusten (våguppstuvning), men de kan också spola upp och över kusten och orsaka skador och översvämning. Vågor är även en av de huvudsakliga drivkrafterna bakom kusterosion, vilket indirekt kan påverka risken för översvämning. I följande underkapitel beskrivs dessa vågfenomen. (Mangor, Drønen, Kærgaard, & Kristensen, 2017)

### 2.3.1 Våguppstuvning

När vågor rör sig mot kusten, omformas och bryter så ger de upphov till en lokal förhöjning av vattenytan närmast kusten. Våguppstuvning kan således vara av lokal betydelse för översvämning eftersom havsvattennivån lokalt kan förhöjas längs med en kustremsa. Våguppstuvning är kraftigast på naturliga, långgrunda stränder och uppgår generellt till cirka 10 – 20 % av den infallande våghöjden. Vid kuster med brantare lutning, som t.ex. klippkuster eller urbana områden är våguppstuvningen ofta mycket liten. (Dean & Walton, 1990)

### 2.3.2 Våguppspolning

När vågor möter kustlinjen utan att ha förlorat sin energi över exempelvis grundområden eller strandängar kan den energi som vågorna har leda till att vågorna spolar upp på kusten. Hur högt vågorna spolar upp på kusten beror bland annat på:

- Vågornas egenskaper (våghöjd, vågperiod och riktning)
- Bottnens utseende (batymetri)
- Kustlinjens egenskaper (klippkust, sandstrand, lutning m.m.)
- Aktuellt vattenstånd

Våguppspolning kan ha betydelse för översvämning både direkt och indirekt. Den direkta påverkan sker i mycket nära anslutning till kusten, där uppspolande

vågor kan skada byggnadselement eller infrastruktur. Ett sådant riskområde illustreras som ett påverkansområde i Figur 2-2. Den skrafferade ytan i figuren illustrerar ett område som förväntas vara vågexponerat och där skador till följd av våguppspolning således kan förekomma. (Sweco, 2019a)



Figur 2-2 Exempel på kartering av vågexponering (skrafferad yta). Bild från (Sweco, 2019a).

### 2.3.3 Vågöverspolning

Den indirekta påverkan av vågor uppstår om vatten spolas över naturliga eller konstruerade skyddsbarriärer. Vågöverspolning kan vara olika till sin karaktär och det kan differentieras mellan olika typer av överspolning (se Figur 2-3). En första typ är vågöverspolning över en konstruktion där vattenytan ligger nära konstruktionens högsta punkt och där vågorna kan skölja över hindret som en sammanhållen vattenkolumn. En andra typ av överspolning sker då vågor möter vertikala konstruktioner, bryter mot densamma för att därefter ändra riktning och spola över krönet. En tredje form av överspolning uppstår när vågor bryter mot sjösidan av konstruktionen och skapar stora volymer av spray som överspolar barriären med hjälp av sin egen rörelseenergi eller vinden.



Figur 2-3 Olika typer av överspolning. Bildkällor, fr. vänster HR Wallingford, Leichtweiss-Institute for Hydraulics (LWI), Lloyd Rusell via phys.org.

Förutom att överspolningen kan utgöra en direkt risk för människor som vistas i närheten av kusten kan den även leda till ökad risk för översvämning genom:

- Att vågorna skadar skyddskonstruktioner och öppnar upp inflödesvägar.
- Att vågorna direkt skadar byggnader och infrastruktur i området bakom skydden.
- Översvämning av lågpunkter där vattnet ej kan dräneras.

## 2.4 Stranderosion

Vid stranderosion sker en omförflyttning av sediment utmed kusten till följd av vågornas verkan och våginducerade strömmar. Stranderosion är i sig inget fenomen som påverkar vattenytans läge, men det kan vara av betydelse vid översvämningskartering då stranderosion kan leda till att kustens topografi förändras. Erosion är framför allt en betydande riskfaktor för översvämning i de områden där strandformationer såsom dynlandskap utgör ett betydande skydd mot översvämning för bakomliggande bebyggelse eller infrastruktur.

De viktigaste faktorerna som bestämmer risken för erosion vid en kuststräcka är vågklimatet och kustens geologiska sammansättning. Vågor rör upp sediment och transporterar dem längs och tvärs med kusten. Kuster som domineras av sandstränder och dynsystem är mer lätteroderade än stränder som består av exempelvis klippor och block.

Inom kusthydraulik brukar erosionsprocessen delas in i två typer av processer utifrån tidsförloppet inom vilket de sker; akut och kronisk erosion. Dessa presenteras mer ingående i följande underkapitel.

### 2.4.1 Akut erosion

Akut erosion innebär att en stor mängd sediment försvinner från en kuststräcka under relativt kort tid. Det sker under förhållanden med stora vågor och höga vattenstånd, alltså under stormar. När förhållandena är lugnare kan akut erosion i många fall självläka genom att sediment som spolats bort under stormar transporteras tillbaka in till stranden igen. Denna process tar dock betydligt längre tid än det korta stormförloppet, och om stormar och högvatten sker med täta intervall kan det hända att stranden inte återhämtar sig.

Vissa typer av kust, exempelvis klintkuster, består av sediment som vid vågverkan bildar branta klippor som långsamt undermineras av havets verkan. Vid en viss tidpunkt kollapsar ett stycke av branten ner i havet och sköljs bort av vågor. Även detta är att betrakta som akut erosion. I detta fall sker dock ingen självläkning och förlusten av sediment från klinten är permanent.

Det är framför allt akut erosion vid högvattenhändelser som har potential att orsaka exempelvis dynbrott och efterföljande översvämningar.

### 2.4.2 Kronisk erosion

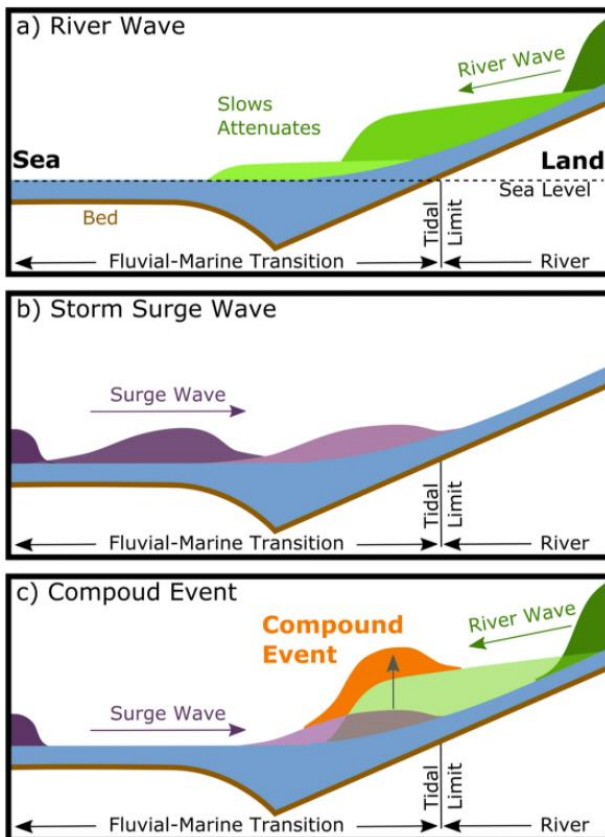
Kronisk erosion uppstår när en kuststräcka har en negativ sedimentbalans över tid, det vill säga att det transporteras bort mer sediment från kuststräckan än vad som transporteras in av vågor och strömmar. Denna typ av erosion beror på vågklimatet, tillgången på sediment, kustens form, och naturliga eller mänskliga hinder för transporten av sediment längs kusten. Kronisk erosion

sker på en betydligt längre tidsskala än akut erosion. Det ska dock poängteras att kronisk erosion är ett fenomen som på sikt kan leda till att de naturliga skyddsbarriärer som stränder och dynsystem utgör försvagas över tid.

Den kroniska erosionen förväntas öka i takt med att medelvattenytan stiger, och fram till sekelskiftet kan mycket stora landarealer, i framförallt södra Sverige, förväntas försvinna. I dagsläget saknas metodik för att uppskatta konsekvenserna av medelvattenytans stigning på erosionsförhållanden. Den metodik som generellt appliceras bygger på antaganden som inte är applicerbara på den svenska kusten. Kunskapshöjande insatser krävs för att utveckla förståelsen för stranderosionens långsiktiga betydelse för översvämningsrisker i Sverige.

## 2.5 Vattennivåer vid vattendragsmynningar

Vattendrag och sjöar riskerar att översvämmas vid höga flöden orsakade av hög och/eller ihållande nederbörd eller snösmältning. Städer vid vattendrag eller intill sjöar har därmed förutsättningar för så kallad fluvial översvämning, det vill säga översvämningsor sakade av höga flöden i vattendragen. Detta fenomen sker oberoende av höga havsvattenstånd. Dock kan det påverka översvämningsrisken vid flodmynningar om höga havsvattenstånd inträffar samtidigt som höga flöden. Det totala vattenståndet kan då bli högre än vad de enskilda händelserna hade gett upphov till, se Figur 2-4 för en konceptuell bild. För att kunna uppskattas sannolikheten för att dessa händelser ska uppstå samtidigt krävs dock korrelationsanalyser och för att bestämma vad den totala nivån blir krävs hydrodynamisk modellering. Det är således ett komplext fenomen och hantering av detta beskrivs kortfattat i avsnitt 2.6..



Figur 2-4 a) Översvämning på grund av hög vattenföring i en flod.  
 b) Översvämning på grund av höga havsvattenstånd.  
 c) En kombinerad händelse leder till högre vattenstånd än de enskilda händelserna var för sig.  
 Bild från Dykstra (Dykstra & Dzwonkowski, 2021).

## 2.6 Statistiska analyser av kustdata

För att utvärdera risker kopplade till översvämningar behöver ofta sannolikheten för en viss högvattenhändelse beräknas. I sammanhanget används ofta begreppet återkomsttid. Definitionsmässigt är återkomsttid en beskrivning av sannolikheten att en händelse inträffar under ett givet år och det matematiska sambandet mellan återkomsttid (T) och sannolikhet (P) är:

$$\text{Sannolikhet (P)} = \frac{1}{\text{Återkomsttid (T)}}$$

Sannolikheten för att en 10-årshändelse (eller värre) inträffar under ett givet år är således  $1/10 = 10\%$ , en 100-årshändelse (eller mer) är  $1/100=1\%$ , o.s.v. I praktiska termer är det sällan relevant att veta sannolikheten för överbelastning under enskilda år. Istället är det sannolikheten att tekniska system överbelastas någon gång under långa perioder, exempelvis systemens livslängd, som är viktig att känna till. Sannolikhet över en längre tid kallas ackumulerad sannolikhet. I Tabell 2-1 visas den ackumulerade sannolikheten att händelser med olika återkomsttid inträffar någon gång under en studerad period. Det framgår att sannolikheten för en och samma händelse ökar ju längre tidsperiod som studeras. Exempelvis är sannolikheten att en 100-årshändelse eller värre

inträffar minst en gång under en 50-årsperiod 39% medan den för en 100-årsperiod är 63%.

Tabell 2-1

Återkomsttid	Studerad period					
	10 år	20 år	30 år	50 år	85 år	100 år
10 år	65 %	88 %	96 %	99 %	100 %	100 %
25 år	34 %	56 %	71 %	87 %	97 %	98 %
50 år	18 %	33 %	45 %	64 %	82 %	87 %
100 år	10 %	18 %	26 %	39 %	57 %	63 %
200 år	5 %	10 %	14 %	22 %	35 %	39 %
1000 år	1 %	2 %	3 %	5 %	8 %	10 %

För att kunna göra statistiska skattningar av högvattennivåer vid en viss lokal plats krävs tillförlitliga data över havsvattenståndets variation över tid, både avseende tidsseriens längd samt dess tidsmässiga upplösning. I regel gäller att längre tidsserier ger mer tillförlitliga resultat än kortare, och för beräkning av återkomsttid är tumregeln att man kan ta fram återkomsttider som är ungefär dubbelt så långa som mätserien med acceptabel osäkerhet. Med andra ord behövs en tidsserie om minst 50 år för att beräkna en nivå med en återkomsttid på 100 år (SMHI, 2017b).

När det gäller översvämningar i kustmiljöer beror dessa ibland både på vattenståndet och hur stora vågor som samtidigt träffar kusten, eller hur hög vattenföringen i ett vattendrag är. Ett 100-års högvatten och en 100-års våg eller 100-års flöde inträffar nödvändigtvis inte samtidigt och resulterar inte heller i en 100-års översvämning. En sådan kombinerad händelse kan ha en betydligt längre återkomsttid. För en bedömning av återkomsttiden för översvämningar från havet behövs därför en sammansatt analys där exempelvis mätningar av både vattenstånd och våghöjder eller vattenföring vägs in. Ett exempel på en sådan analys är en bivariat extremvärdesanalys. Bi- och multivariata analyser (två eller fler parametrar) är ofta omfattande, kräver ett stort dataunderlag och är matematiskt avancerade att anpassa till verkliga system. Vid detaljerade studier inom geografiskt avgränsade områden kan enklare metoder användas för att beskriva samvariation mellan exempelvis vågor och höga vattenstånd, men på en nationell nivå bedöms dessa analyser kunna utelämnas.



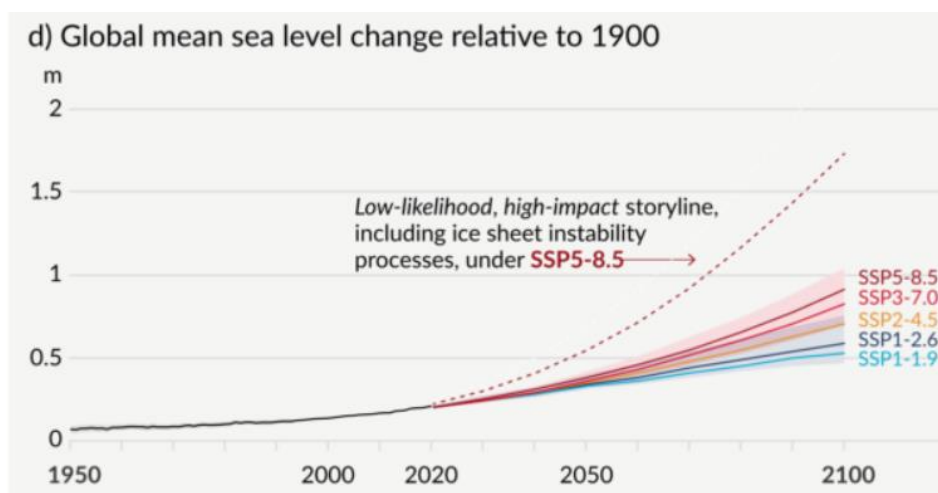
### 3 Underlag för kartering av översvämning

Tillgången på bra och kvalitetssäkrat underlag är en viktig förutsättning för att på ett tillfredsställande sätt kunna genomföra översvämningsskarteringar. I följande kapitel presenteras det dataunderlag som identifierats vara av särskild vikt för föreliggande uppdrag. Det underlag som presenteras är ett urval av statistiska analyser, meteorologiska observationer, modellresultat och geografiska data. En kort sammanfattning av de ingående underlagets omfattning ges nedan:

- Klimatologiska data (SMHI:s prognoser över medelvattenytans läge)
- Meteorologiska data
  - Vattenstånd (SMHI, observationer och statistiska analyser)
  - Vind (SMHI, observationer)
  - Vågor (SMHI, observationer och SGI, modelldata)
- Geografiska data
  - Topografi (Lantmäteriet)
  - Batymetri (BSHC, SjöV)
  - Geologi (SGU)

#### 3.1 Klimatologiska data

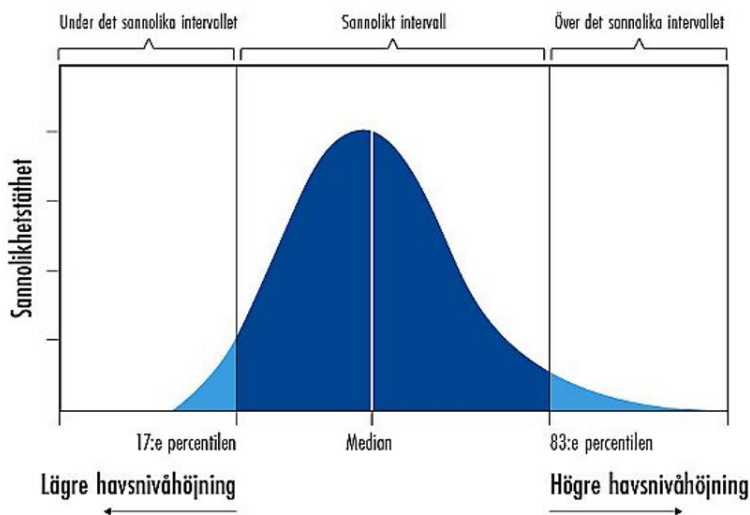
År 2021 släppte FN:s klimatpanel IPCC rapporten *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (IPCC, 2021), som sammanställer dagens kunskapsläge om klimatförändringarna och konsekvenserna av dessa. Bland annat uppdaterades tidigare prognoser över den förväntade havsnivåhöjningen (Figur 3-1).



Figur 3-1 IPCC:s senaste prognos över havsnivåhöjning för de klimatscenarier som bedömts som *troliga* (SSP1 – SSP5) samt ett scenario som bedömts som *mindre troligt*. Det mindre troliga scenariot bygger på osäkra antaganden om polarisarnas avsmältningstakt och inkluderas inte i denna rapport. Källa: IPCC AR6, SPM8.

Baserat på detta nya underlag uppdaterade SMHI i januari 2022 sina prognoser över medelvattenytans stigning för Sveriges kustkommuner (SMHI, 2022). För varje kommun presenteras nu prognoser för medelvattenytans stigning för varje

årtionde från 2030 fram till 2150 för de fem klimatscenarierna som används av IPCC i sin senaste rapport (IPCC, 2021). Medelvattenytans nivå för varje år och scenario redovisas som ett medianvärde, samt en nedre respektive en övre gräns på ett *sannolikt* intervall, vilket motsvaras av 17:e respektive 83:e percentilen, se Figur 3-2. Det sannolika intervallet definieras av IPCC som det intervall som med minst 66 % sannolikhet täcker in det sanna värdet.



Figur 3-2 Den faktiska framtida havsnivåhöjningen understiger med 17 %, 50 % och 83 % sannolikhet värdet som anges av den 17:e percentilen, medianen respektive 83:e percentilen. Bild från SMHI (2022).

Förutom att baseras på IPCC:s klimatprognoser så tar SMHI:s prognoser även hänsyn till landhöjningseffekten, som har hämtats från Lantmäteriets modell NKG2016LU (SMHI, 2022). Prognoserna finns tillgängliga både i tabellform på SMHI:s hemsida och som nedladdningsbara csv-filer. Dessa prognoser kan användas för att ta fram medelvattenytans förändring för en viss kommun för varje årtionde 2030 – 2150.

## 3.2 Meteorologiska data

Med meteorologiska data avses i denna rapport tidsserier över observerade havsvattenstånd, vindstyrka och -riktning samt våghöjd, vågriktning och vågperiod.

### 3.2.1 Vattenstånd

SMHI och Sjöfartsverket mäter idag havsvattenståndet på cirka 60 platser runt om i Sverige. Vattenståndet mäts i ett lokalt höjdsystem som sedan överförs till det nationella höjdsystemet RH2000. Längden på dataserierna varierar kraftigt, från några år i de nyaste stationerna upp till över 130 år för de äldsta stationerna.

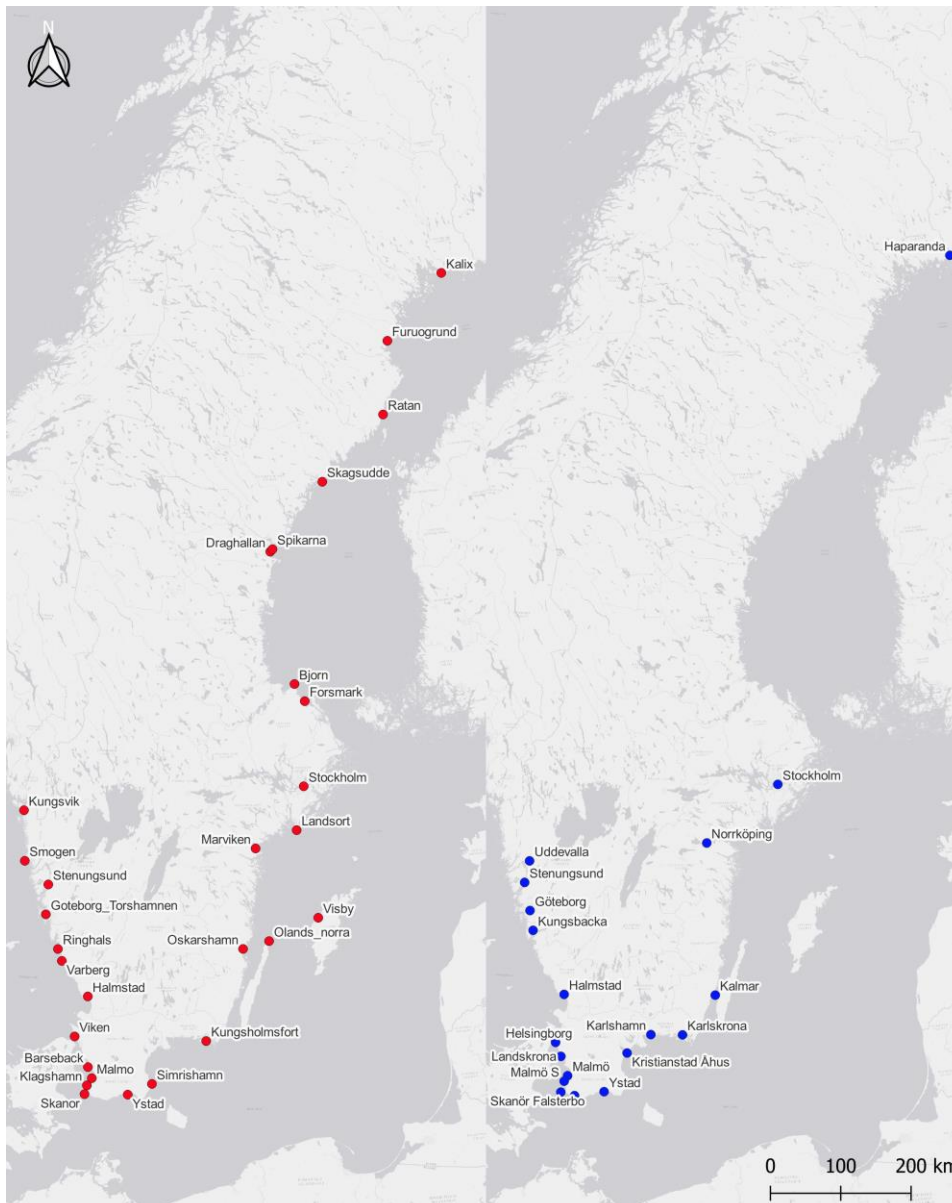
Hieronymus och Kalén har skattat återkomstnivåer för 29 havsvattenstationer längs den svenska kusten (Hieronymus & Kalén, 2020). De stationer som ingår i studien visas i Figur 3-3 till vänster. Det ska nämnas att flera av stationerna

har, för ändamålet, relativt korta tidsserier av vattenstånd. För de berörda vattenståndsstationerna har även ett "högsta beräknade havsvattenstånd" tagits fram av SMHI (SMHI, 2017b). Det högsta beräknade havsvattenståndet är en skattning av det allra högsta vattenståndet som bedöms kunna inträffa vid respektive mätstation. Värdet är inte kopplat till en återkomsttid utan är summan av den högsta observerade nettohöjningen vid en given mätstation under en stormhändelse och det högsta observerade medelvattenståndet före en storm.

På uppdrag av MSB utförde SMHI år 2018 extremvärdesanalyser för 18 tätorter längs den svenska kusten (MSB, 2018a). Detta gjordes i cykel 2 av MSB:s arbete med förordningen (2009:956) om översvämningsrisker. För vissa tätorter finns långa, pålitliga tidsserier tillgängliga, exempelvis i Karlskrona och Stockholm. För andra orter finns endast korta tidsserier tillgängliga eller så saknas de helt, exempelvis i Kungsbacka och Trelleborg. I dessa fall har jämförelser gjorts med närliggande, mer tillförlitliga tidsserier.

Regressionsanalyser av högvattenhändelser har gjorts mellan mållokalen (tätorten för vilken en extremvärdesanalys ska göras) och grannlokalen (stationen med mer tillförlitlig mätserie) för att kunna öka säkerheten i extremvärdesanalysen. I vissa fall har även vinddata från närliggande mätare använts om det ökar korrelationen mellan grannlokalen och mållokalen.

De tätorter för vilka SMHI utfört extremvärdesanalyser inom ramen för uppdraget åt MSB visas i Figur 3-3, till höger. Inom ramen för projektet presenteras nivåer för återkomsttider av 100 och 200 år, samt en beräknad högsta nivå.



**Återkomstnivåer**

- Återkomstnivåer - Hieronymus/Kalén
- SMHI's Extremvärdesanalyser

Koordinatsystem:  
Sweref 99 TM

Källor:  
Esri, DeLorme, HERE,  
MapmyIndia  
SMHI, ©Geodatasamverkan

Figur 3-3 T.v.: Stationer för vilka Hieronymus och Kalén (2019) skattat återkomstvärden.  
T.h.: Tätorter där extremvärdesanalyser gjorts av (MSB, 2018a)

**3.2.2 Vind**

I Sverige finns flera hundra stationer som mäter vind. För att vinddata ska kunna nyttjas för analyser kopplade till exempelvis vind- och vågeffekter behöver mätstationerna vara placerade nära kusten och friktionsförlusterna till följd av topografin över land behöver vara små.

SMHI har en rad väderstationer med god mät höjd och relativt fria från friktionsförluster. Dessa stationer, som visas i Figur 3-4, används av SMHI för att analysera väderläget i utsjön.

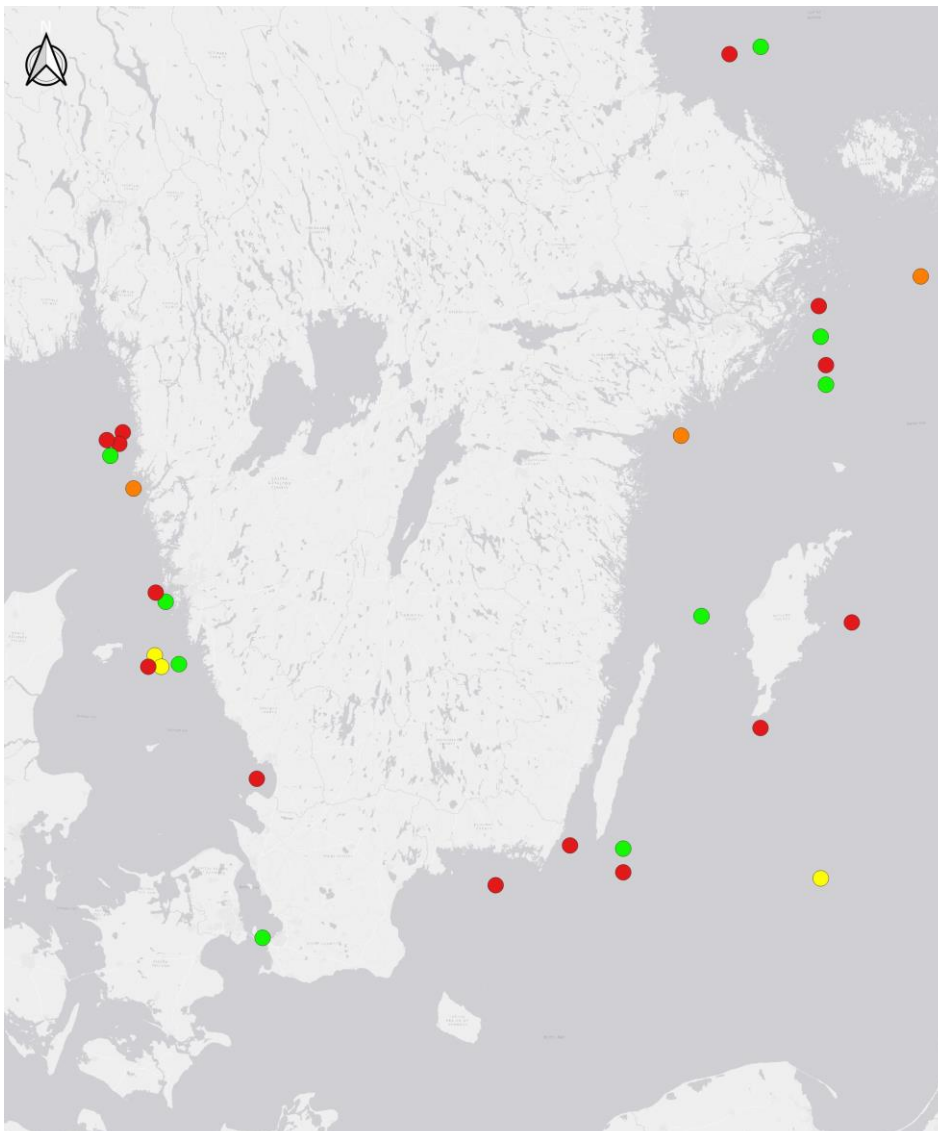


Figur 3-4 Överblick av väderstationer som används för kustobservationer av SMHI. Från [SMHI.se/vader/observationer/kustobservationer](https://smhi.se/vader/observationer/kustobservationer).

### 3.2.3 Vågor

Det finns ett drygt 30-tal vågbojar längs Sveriges kust som samlar in observationer av våghöjd, vågriktning och vågperiod. Ett mindre antal bojar är belägna på grunt vatten. Mätserien för flertalet av bojarna är kort, ofta med mindre än ett år av kontinuerliga mätningar. I likhet med vattenståndsmätningar gäller även här att längre tidsserier har en större statistisk tyngd, men även korta tidsserier är användbara för att uppskatta vågklimatet vid en given plats (exempelvis för validering av modeller med högre rumslig upplösning).

Figur 3-5 visar vågbojar på djupt vatten och deras placering längs kusten. Punkternas färger indikerar hur lång dataserien är vid respektive punkt. Röda punkter innebär att tidsserien är mindre än ett år lång, orange innebär mellan 1 och 5 år, gult innebär mellan 5 och 10 år och grönt innebär att data finns tillgängligt för mer än 10 år. Figur 3-5 sammanfattar bojarnas position och mätseriens längd. Till dags dato finns inga heltäckande statistiska studier av vågklimatet i Sverige tillgängligt, inte heller korrelationsstudier mot vattenståndsdata.



**Vågbojar - Aktiv tid**

- >10 år
- 1 - 5 år
- < 1 år
- 5 - 10 år

0 50 100 km

Koordinatsystem:  
Sweref 99 TM

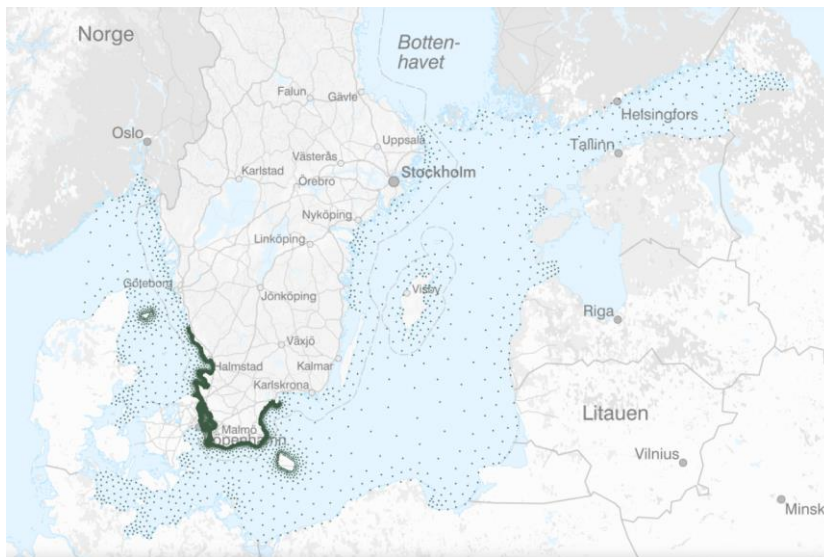
Källor:  
Esri, DeLorme, HERE,  
MapmyIndia  
SMHI, ©Geodatasamverkan

Figur 3-5 Placering av vågbojar längs Sveriges kust. Färg indikerar längd på tidsserien. Rött = kortare än 1 år, orange = mellan 1 och 5 år, gult = mellan 5 och 10 år, grönt = mer än 10 år.

I ett samarbete med LTH lanserade SGI år 2021 webbtjänsten *Vågdataportalen*. Tjänsten bygger på en modell, utvecklad av LTH, som simulerat vågklimatet i södra Östersjön, Öresund och delar av Kattegatt. Karttjänsten gör det möjligt att ta ut vågdata från en stor mängd modellerade datapunkter i studieområdet. Data sträcker sig över tidsperioden 1979 – 2019 och för varje datapunkt kan signifikant våghöjd, signifikant vågperiod och

vågriktning erhållas med en upplösning på 3 timmar. (SGI, 2021)  
 Vågdataportalen erbjuder även enklare statistiska visualiseringar av vågdata.

Figur 3-6 visar datapunkterna i Vågdataportalen. Av figuren framgår att upplösningen skiljer sig geografiskt, med mycket hög upplösning längs kusten i Halland, Skåne och Blekinge medan Kalmarsund och hela kuststräckan norr om Uppsala inte täcks överhuvudtaget. Vågmodellen som ligger till grund för tjänsten är fortfarande under utveckling vid institutionen för teknisk vattenresurslära (TVRL) på Lunds tekniska högskola.



Figur 3-6 Vågdataportalens geografiska täckning. Varje punkt är en datapunkt för vilken modellerade vågdata kan laddas ner. Från Vågdataportalen på SGI.se.

## 3.3 Geografiska data

### 3.3.1 Topografi

En central aspekt av översvämningskarteringar är att veta det studerade områdets topografi för att kunna se vilka områden som blir översvämmade vid en given nivå.

Lantmäteriet tillhandahåller höjddata av hög kvalitet genom Nationella höjddata. Den baseras på höjddata från LIDAR-scanningar som utfördes 2009 – 2020 i projekten Laserdata NH och Laserdata Skog. Höjddata finns tillgänglig för nedladdning på Lantmäteriets hemsida under namnet *Markhöjddata, grid +1*, som är ett rasterlager med 1x1 m upplösning. Höjder anges i modellen relativt RH2000. De tillgängliga höjddata har grova hydrologiska korrekationer, där exempelvis större broar och viadukter är korrigerade för att återge hydrologiska beräkningar mer korrekt. (Lantmäteriet, 2020)

### 3.3.2 Batymetri

Motsvarigheten till topografi på land kallas i vattendrag, sjöar och hav för batymetri. God tillgång till högupplöst batymetri är ett viktigt underlag för att bland annat modellera vågor och vinduppstuvning. Batymetri med en

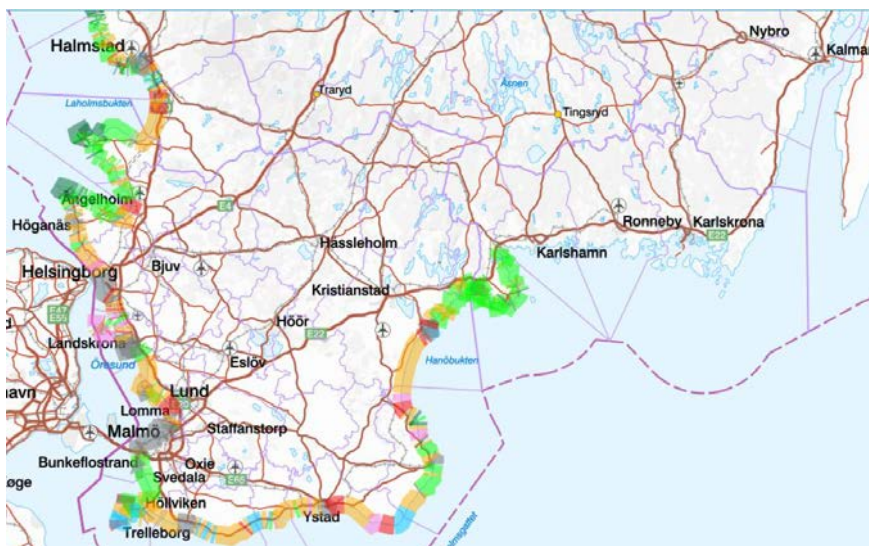


upplösning av 500 x 500 meter i svenska hav finns fritt tillgängligt för nedladdning genom *Baltic Sea Hydrographic Commission*.

Högupplösta djupdata är ofta belagda med sekretess och spridning av den kräver omfattande säkerhetsprövning av bland annat Försvarmakten. Sjökort för exempelvis navigation finns tillgängliga att köpa genom Sjöfartsverket, men kvaliteten av de mätningar som ligger till grund för djupangivelserna är av blandad kvalitet.

### 3.3.3 Geologi

Kustzonens geologiska beskaffenhet i termer av jordart och bottenmaterial i havet är av stor vikt för att bedöma risken för erosion. SGU har i flera undersökningar kartlagt erosionsförhållanden i södra Sverige. SGU:s *Projekt Skånestrand* år 2016 mynnade ut i en interaktiv webbtjänst, kartvisaren *Stranderosion och geologi, kust* som kan användas för att bland annat se strandens erosionsituation i dagsläget och vid en havsnivåhöjning på +1 m, se Figur 3-7. Informationen utgör framför allt underlag för att bedöma känslighet för stranderosion, men kan också användas för visa bottenmaterial, strandmaterial, strömförhållanden och modellerad potentiell sedimenttransport. Denna kunskapsbank täcker dock endast Skåne, Halland och Blekinge då det i huvudsak är vid dessa kuster som stranderosion i dagsläget är en utmaning.



Figur 3-7 Kartvisaren *Stranderosion och geologi, kust*. Erosionsbedömningen täcker endast Skåne samt delar av Halland och Blekinge. Från SGU.se.

Det ska nämnas att Geologiska och maringeologiska kartor även finns fritt tillgängligt för stora delar av kusten, men inte på nationell nivå.

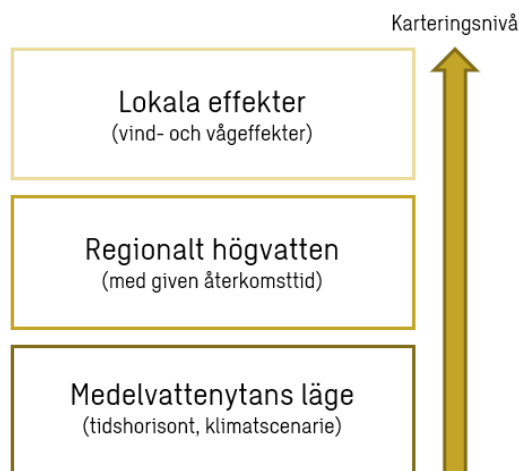
## 4 Metodik för översiktlig kustkartering

I följande kapitel beskrivs den metodik som föreslås användas för att bestämma randvillkor vid översiktlig kartering av kustöversvämning i Sverige. Metodiken har tagits fram i en iterativ process baserat på resultat från fyra olika pilotstudier, vilka presenteras i kapitel 5. Metodiken bygger huvudsakligen på tillgängliga data och analyser från SMHI, men en del bedömningar är framtagna inom ramen för föreliggande uppdrag. Metodikens upplösning och detaljgrad begränsas främst av tillgängligheten till data och upplösningen av denna, men är även utformad genom avvägning mot användarvänlighet.

Översvämningsskarteringar innefattar förenklat tre moment, nämligen att:

1. Definiera de hydrauliska förutsättningarna längs berörd kust. Randvillkoren till havs behöver bestämmas, däribland exempelvis högvattennivåer och vind- och vågeffekter med given återkomsttid.
2. Med utgångspunkt i de scenarier som tas fram under 1) utförs överlagringsanalyser där vattnets väg in över land studeras. Denna analys kan göras både med statiska modeller (t.ex. överlagringsanalys beskriven i 5.2.2) eller med dynamiska beräkningsmodeller.
3. Att utvärdera riskbilden kopplad till de studerade scenarierna. Utvärderingen kan exempelvis utgå från sannolikheten av den händelse som studeras jämfört med antalet översvämmade objekt eller konsekvenser av att objekten översvämmas (exempelvis strömavbrott osv).

Föreliggande rapport syftar huvudsakligen till att definiera de hydrauliska förutsättningarna som beskrivs under punkt 1) men även i viss mån till att genomföra känslighetstudier av statiska översvämningssmodeller som beskrivs under punkt 2). De hydrauliska förutsättningarna varierar kraftigt längs Sveriges kust. Vid översiktlig kartering av översvämning längs kusten har tre huvudsakliga parametrar identifierats; medelvattenytans läge, regionala högvatten och lokala effekter på vattenståndet. När de tre parametrarnas bidrag till vattennivån adderas erhålles en nivå som kan användas för översvämningsskartering.



Figur 4-1 De tre huvudsakliga parametrar som tillsammans utgör karteringsnivån.

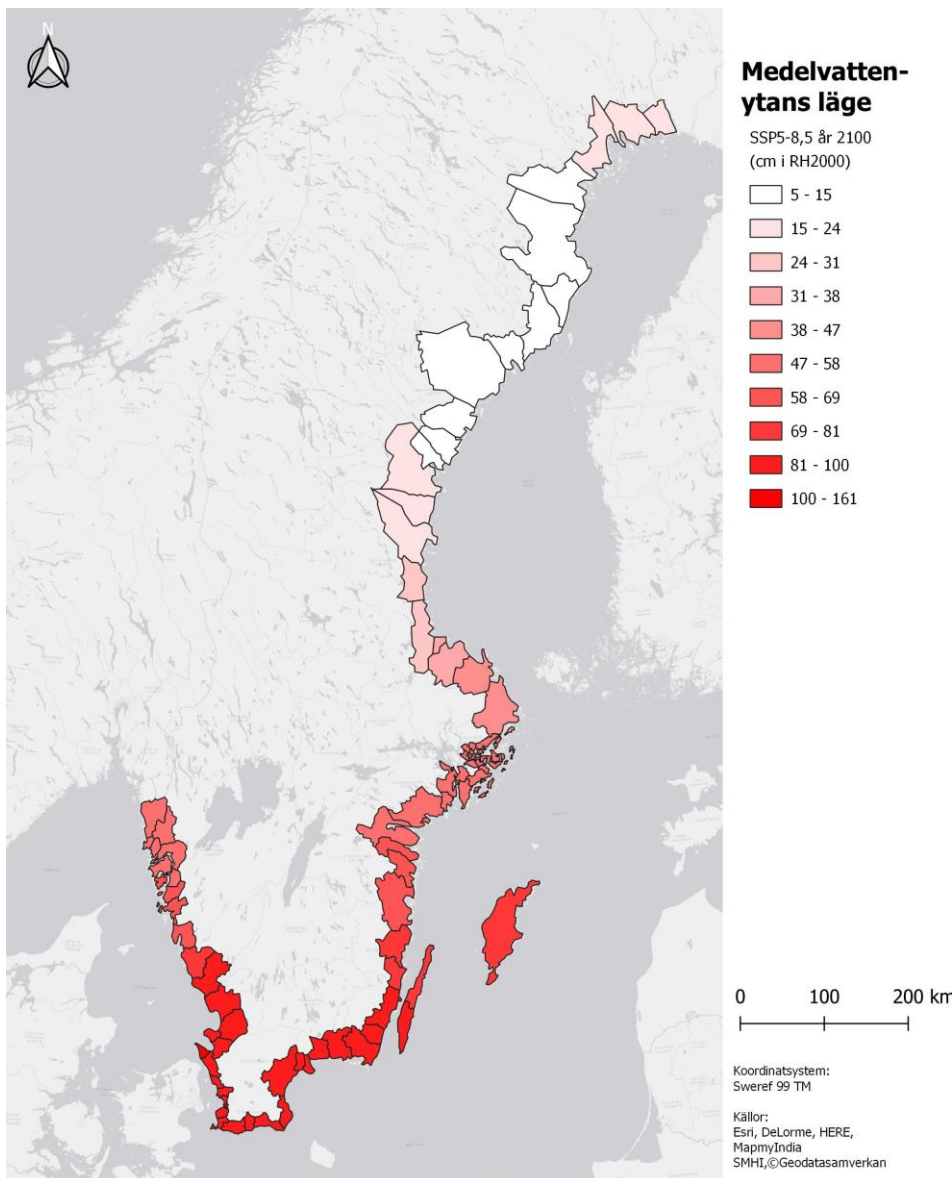
Samtliga av dessa parametrar har en geografisk variation i Sverige, och i följande underkapitel presenteras den föreslagna metodiken för att beskriva var och ett av de block som tillsammans utgör en karteringsnivå enligt Figur 4-1 ovan. Notera att i samtliga underkapitel hänvisas till GIS-lager, vilka finns bilagda till denna rapport.

I kapitel 5 appliceras denna metodik på fyra olika orter.

## 4.1 Medelvattenytans läge

SMHI:s prognoser över medelvattenytans läge för Sveriges kustkommuner finns tillgängliga för varje årionde från 2030 till 2150. Prognoserna inkluderar havsnivåhöjning till följd av klimatförändringar och landhöjning och har gjorts för de klimatscenarier som beskrivs i IPCC:s senaste rapport (IPCC, 2021). Metoden som presenteras här antar att de värden som anges av SMHI för en viss kustkommun gäller för hela den kommunens kuststräcka, givet en viss tidshorisont och ett visst klimatscenario. När valet av ort för översvämningskartering har gjorts kan således medelvattenytans läge bestämmas genom från GIS-lagret "*Medelvattenytans läge*" (Figur 4-2), efter att användaren tagit ställning till tidshorisont, klimatscenario och percentil. GIS-lagret illustrerar endast de värden som tagits fram av SMHI och ingen bearbetning av data (utöver den geografiska kopplingen) har utförts.

När framtida högvattennivåer ska bestämmas är det viktigt att beakta val av klimatscenario då detta kan ha stor påverkan på utfallet, särskilt på längre sikt. Utöver detta är det även nödvändigt att bestämma vilket värde i konfidensintervallet som ska ligga till grund för karteringarna. Projektioner över havsnivåhöjningar är osäkra. För varje klimatscenario presenterar SMHI ett medianvärde och ett sannolikt intervall för den förväntade medelvattennivån.



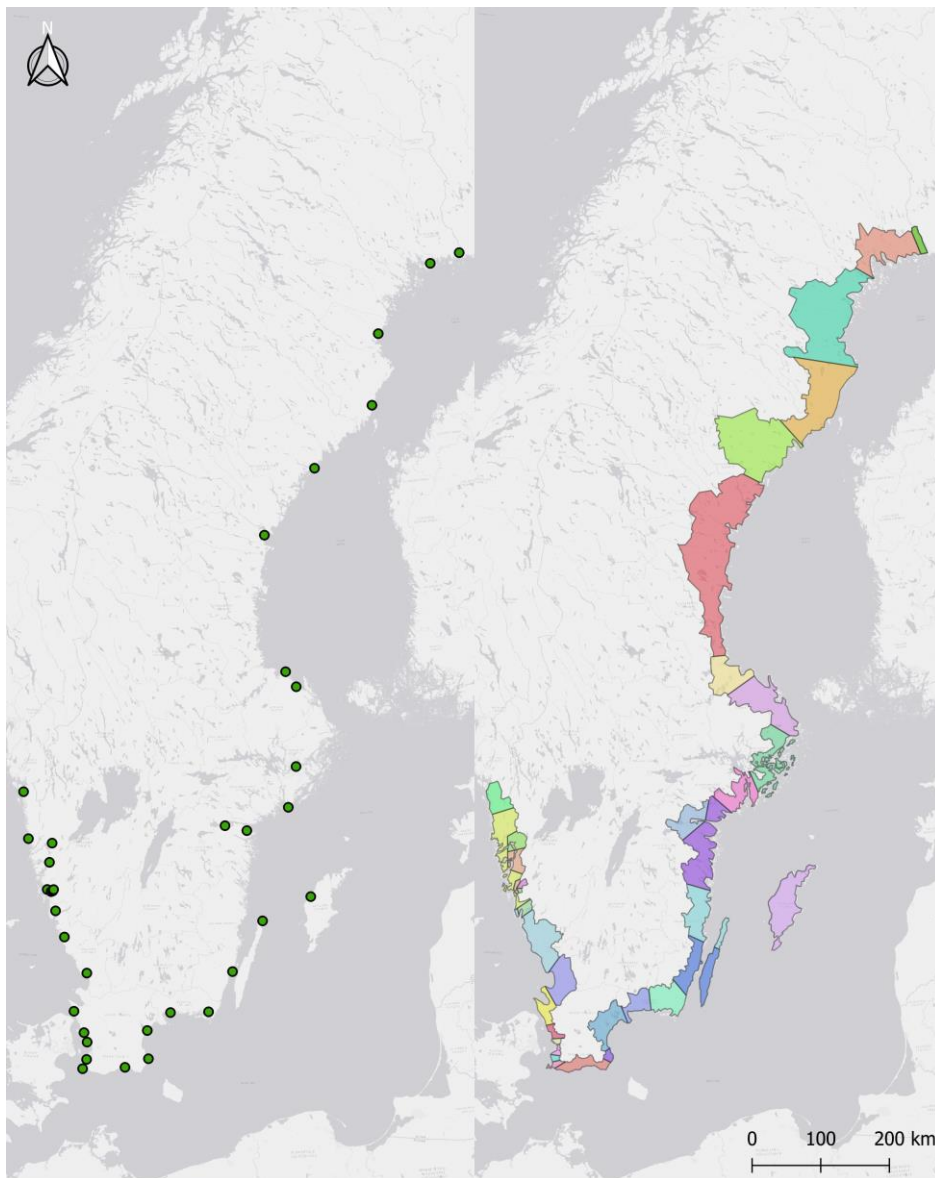
Figur 4-2 Sveriges kustkommuner där SMHI:s prognoser för medelvattenytans läge visas för år 2100. I ovanstående karta baseras medelvattenytans läge på övre konfidensintervallet i klimatscenario SSP5-8,5.

## 4.2 Regionalt högvatten

För att bestämma bidraget till karteringsnivån av ett regionalt högvatten har tidigare utförda statistiska analyser av havsvattenståndsstationer (se kapitel 3.2.1) nyttjats.

Genom att kombinera SMHI:s extremvärdesanalyser (MSB, 2018a) med analyserna utförda av Hieronymus och Kalén (Hieronymus & Kalén, 2020) har ett rikstäckande nät av analyspunkter erhållits, se Figur 4-3, t.v. För varje datapunkt finns skattningar av 100- och 200-årsnivåer samt högsta beräknade nivå. Datapunkterna har sedan använts för att dela in den svenska kusten i olika högvattenregimer. Med högvattenregim menas här ett område för vilket ett

högvatten med en viss återkomsttid antas ge upphov till samma höjning över medelvattenytan oavsett var inom området man befinner sig. Indelningen i högvattenregimer är en förenkling av verkligheten som syftar till att underlätta översiktliga karteringar. Vid kartering föreslås de regionala högvattnen extraheras från GIS-lagret "Regionalt högvatten" som presenteras i Figur 4-3, t.h.. Användaren behöver välja händelse (100-, 200-års eller högsta beräknade nivå).



**Stationer - Högvattenregimer**

- Nyttjade vattenståndsanalyser
- Högvattenregimer

Koordinatsystem:  
Sweref 99 TM

Källor:  
Esri, DeLorme, HERE,  
MapmyIndia  
SMHI, ©Geodatasamverkan

Figur 4-3 Stationer som använts som underlag för indelning i högvattenregimer (t.v.) samt den slutliga indelningen av högvattenregimer (t.h.). Färgindelning återspeglar

inga åtskiljande egenskaper utan syftar till att visa gränsdragningen mellan olika högvattenregimer.

En detaljerad redogörelse för processen att definiera högvattenregimer presenteras i Bilaga A.

### 4.3 Lokala effekter

De högvattenregimer som definierats baseras på vattenståndsmätningar vid ett begränsat antal platser. De föreslagna högvattenregimerna har, som tidigare nämnts, baserats på de regionala skillnaderna i vattenstånd under extrema högvattenhändelser. Inom respektive högvattenregim kan dock stora skillnader förekomma, till följd av lokala fenomen. I förträngningar, vikar, bukter, älvmyningar och liknande kan vind- och vågeffekter leda till att vattenståndet förhöjs ytterligare. Då vågeffekter är mycket lokala och svåra att översiktligt uppskatta på regional nivå har dessa utelämnats ur den kvantitativa bedömningen. Beräkningar av vinduppstuvning har utförts för alla kustnära tätorter i Sverige med en befolkning större än 2000. En detaljerad redogörelse för hur lokala effekter beräknats presenteras i bilaga A.

Kartlagret *Lokala effekter* (Figur 4-4) nyttjas för att se om lokala effekter på vattenståndet kan förväntas.



Figur 4-4 Bedömning av lokala effekter längs Sveriges kust.

## 4.4 Erosionskänsliga kuster

Utmed delar av den svenska kusten utgör sanddyner och andra erosionskänsliga geologiska formationer inflödes hinder för vatten. Under händelser med potential att orsaka akut erosion kan således översvämningsrisken underskattas om inte dessa hinder identifieras. Den modell som föreslås i föreliggande projekt bygger dock huvudsakligen på en karteringsmetod som utgår från statistiska snarare än dynamiska förlopp.

För att uppmärksamma riskerna kopplade till erosion har en kvalitativ inventering av riskområden till följd av akut erosion utförts. En första version av databasen presenteras i Figur 4-5.



Figur 4-5 Kuststräckor där erosion under stormar kan leda till översvämning.



## 5 Pilotstudier

### 5.1 Syfte

För att utvärdera metodiken för bestämning av högvattennivåer som tagits fram inom ramen för detta projekt har den applicerats på fyra svenska orter av varierande karaktär: Ängelholm, Trelleborg, Gävle och Kalmar. I respektive tätort har sedan en översvämningskartering utförts. Resultaten av dessa pilotstudier har därefter utvärderats genom jämförelse med andra, tidigare studier av risken för kustöversvämning i respektive tätort. I samtliga fall har medelvattenytans läge för år 2100 nyttjats, med den övre percentilen i klimatscenarioet SSP5-8,5 som utgångspunkt.

I detta kapitel sammanfattas metodik samt resultat och viktiga slutsatser av pilotstudierna. Respektive pilotstudie redovisas i bilaga B till bilaga E.

### 5.2 Metodik för bestämning av högvattennivåer

#### 5.2.1 Tillämpning av modell

Det första steget i karteringen är att applicera den metodik som föreslås i kapitel 4. Detta steg syftar till att ta fram de randvillkor som utgör en förutsättning för den geografiska kartläggningen. Baserat på respektive tätorts kommuntillhörighet används SMHI:s prognoser för medelvattenytan, sedan används kartlagren som presenteras i 5.2 och 5.3 för att bestämma vilken högvattenregim orten är belägen i samt eventuella lokala effekter och deras storlek.

#### 5.2.2 Analys översvämningsytor

Framtagandet av översvämningsytor har baserats på en GIS-metod beskriven i rapporten "Översyn av områden med betydande översvämningsrisk (MSB, 2018b)", härefter kallad "MSB:s metod". Analysen har utförts genom en kopplad analys i FME och QGIS. Inom pilotstudien har dock några mindre justeringar av denna metod gjorts, se nedan.

Utgångspunkten för analysen har varit Lantmäteriets *Markhöjdmodell grid 1+* (jmf MSB:s metod där *grid 2+* användes), samt havsytan från Lantmäteriets översiktskarta (lager mh\_riks). Analysen har gjorts inom en buffertzona med radien 5000 m kring respektive tätort. Detta avstånd bedöms vara tillräckligt stort för att säkerställa att inte vatten från havet når tätorten från sidan.

Samstämmigheten mellan markhöjdmodellen och havsytan har visat sig bristfällig. För att korrigera detta har följande gjorts; de ytor i havsytan som överlappar markhöjdmodellen har tagits bort, och de ytor där det är glapp mellan markhöjdmodellen och havsytan har lagts till. På sätt skapas en polygon som definierar havsytan och som ligger kant i kant med markhöjdmodellen.

Alla celler i markhöjdmodellen som är mindre än eller lika med den aktuella tröskelnivån har gjorts om till sammanhängande polygoner. Alla polygoner som är i kontakt med den polygon som definierar havsytan har räknats som översvämmade. Här skiljer sig metodiken något från MSB:s metod där ytor under 5000 m<sup>2</sup> exkluderas. Den detaljerade havsytan som skapats och kravet

på att översvämmade ytor måste vara i kontakt med denna har bedömts möjliggöra att även ytor mindre än 5000 m<sup>2</sup> har kunnat accepteras.

Slutligen har översvämningsytorna överlagrats med lantmäteriets byggnadslagar (by). Alla byggnader förutom klassen "Komplementbyggnad" har använts. Byggnaderna representeras som polygonskikt och en byggnad har räknats som översvämmad om den är i kontakt med en översvämningsyta.

### 5.2.3 Tröskelanalys

Ytterligare ett analysverktyg som applicerats inom föreliggande pilotstudie är en tröskelanalys. Med tröskelanalys avses här en utvidgad överlagringsanalys syftandes till att beskriva det undersökta områdets fysiska begränsningar över ett större spann av karteringsnivåer.

Tröskelanalysen baseras på den metodik som presenteras i kapitel 5.2.2 men i stället för att endast kartera en enskild utvald nivå sker en kontinuerlig beräkning av översvämmade ytor, för varje centimeter, upp emot en havsnivå av +5 meter. Vid varje nivå beräknas antalet översvämmade byggnader. Resultatet av tröskelanalysen blir antalet översvämmade objekt som en funktion av karteringsnivån. Med hjälp av denna analys kan det utredas om det finns utmärkande känsligheter i systemet, där exempelvis endast en liten höjning av vattenytan leder till mycket större konsekvenser.

Efter att tröskelanalysen gjorts erhålls polygonlager med översvämmade ytor samt översvämmade byggnader för varje centimeter. Utifrån detta underlag kan de lager väljas ut som representerar nivåer för en 100-årshändelse, 200-årshändelse samt BHN.

### 5.2.4 Tröskelanalys med Scalgo Live

I tillägg till analysen beskriven i kapitel 5.2.3, har även en tröskelanalys baserad på analysverktyget Scalgo Live använts. Scalgo Live är en programvara som beräknar och visualiserar översvämnande områden vid olika havsnivåer. Likt metoden beskriven i kapitel 5.2.3 baseras analysen på Lantmäteriets *Markhöjdmodell grid 1+*. Programvaran har även en inbyggd funktion som lokaliserar vattenpassager i terrängen (t.ex. kulvertar, broar och liknande) och justerar höjdmodellen för dessa. Detta ger i många fall en förhöjd noggrannhet i analysen.

Metoden för att identifiera översvämmade byggnader skiljer sig något jämfört med den metod som beskrivs i kapitel 5.2.3. Skillnaden är att byggnaden i detta fall har representerats av sin centerpunkt. Generellt betyder detta att något färre byggnader har räknats som översvämmade vid varje nivå jämfört med när hela byggnadskroppen ingått i analysen.

Syftet med att även inkludera en analys med denna metod är att illustrera hur höjdmodellens kvalitet och eventuella förändringar av denna slår igenom vid en översiktlig kartering.

## 5.3 Pilotstudie Trelleborg

I detta kapitel sammanfattas slutsatser från pilotstudie i Trelleborg tätort. Pilotstudiens resultat beskrivs i sin helhet i *Bilaga B – Pilotstudie Trelleborg*.

De högvattennivåer som togs fram för Trelleborg tätort enligt föreslagen metodik har jämförts med nivåer som beräknats av Sweco (2017) inom ramen för en studie av kustskydd för Trelleborgs kommun. I den äldre studien undersöktes nivåer för år 2015, 2065 och 2100. Återkomsthändelser utgjordes av ett så kallat normalhögvatten (återkomsttid 3 – 5 år), ett 100-årshögvatten, samt en extremhändelse som motsvarar Backafloeden. Backafloeden är en extrem händelse som inträffade i södra Östersjön 1872 och orsakade stor förödelse i Sverige, Danmark och Tyskland. Återkomsttiden av denna händelse är inte känd.

Dataunderlag i beräkningarna utgjordes av prognoser för medelvattenytans stigning som SMHI gjorde år 2012. Nivån för extremhändelser baserades på en statistisk analys av mätvärden från Skanör, som är en relativt kort dataserie. Trots detta skiljde sig bedömningarna av 100-årshögvattnet år 2100 i Sweco (2017) endast några centimeter från pilotstudiens uppskattning. Anledningen är att den lägre uppskattningen av medelvattenytans stigning i den tidigare studien kompensades av att en högre skattning av 100-årsvattnets höjning över medelvattenytan användes.

Inga ytterligare vind- eller vågeffekter bedömdes bidra till högvattennivåer, vilket är samma bedömning som görs inom ramen för detta uppdrag. De karteringar som utförts skiljer sig från denna studie eftersom den tidigare utredningen hade ett kortare tidsperspektiv.

Anmärkningsvärt är att den beräknade högsta nivån för Trelleborg år 2100 i pilotstudien understiger Backafloedens beräknade nivå år 2100 i Sweco (2017). Detta belyser det faktum att "högsta beräknade nivå", till skillnad från vad uttrycket antyder, inte nödvändigtvis är den högsta nivå som kan inträffa. Att varken Backafloeden eller den beräknade högsta nivån har en känd återkomsttid innebär även att sannolikheten att dessa nivåer inträffar är okänd.

På grund av att olika tidshorisonter undersöktes i Sweco (2017) jämfört med pilotstudien återfås olika karteringsnivåer, vilket leder till olika översvämningsutbredningar i de faktiska karteringarna. I översvämningskarteringen från Sweco (2017) belystes att tydliga trösklar finns i spannet 1,8 – 2 m i RH2000, där en relativt liten ökning av havsnivån leder till stora öknningar i antalet påverkade byggnader. Dessa trösklar missas i pilotstudien eftersom ett längre tidsperspektiv, och därmed högre havsnivåer, undersökts. I pilotstudien föreligger därmed risk att den nutida översvämningsrisken underskattas eftersom endast mycket höga nivåer undersöktes. Ett förfarande vid översvämningskartering som inkluderar tröskelanalyser ökar således användarens chanser att identifiera fysiska känsligheter i det geografiska område som undersöks. Vid tydliga trösklar i nära anslutning till studerade nivåer finns en uppenbar risk att översvämningsrisken missbedöms.

Sammantaget överensstämmer tidigare studiers bedömning med pilotstudien med avseende på både ett 100-årshögvattens höjning relativt RH2000 samt påverkan av lokala effekter på översvämningsrisken i Trelleborg. I båda fall bedöms Trelleborg vara ett riskområde med avseende på kustöversvämningsrisker. Sannolikt är pilotstudiens karteringsnivåer mer tillförlitliga eftersom de bygger på uppdaterade prognoser över framtida havsnivåhöjningar samt mer tillförlitliga frekvensanalyser av högvattennivåer. Metodiken bedöms därför fungera väl för att bestämma karteringsnivåer för Trelleborg.

## 5.4 Pilotstudie Gävle

I detta kapitel sammanfattas slutsatser från pilotstudie i Gävle tätort. Pilotstudiens resultat beskrivs i sin helhet i *Bilaga C – Pilotstudie Gävle*.

För Pilotstudie Gävle jämfördes resultaten från tidigare utredningar från WSP (2020) och Sweco (2021a). Enligt denna jämförelse ledde metodiken som applicerades i pilotstudien till snarlika bedömningar av högvattennivåer och lokala effekter. Samma datakällor användes i samtliga studier för uppskattningar av beräknad högsta nivå, medan pilotstudiens källor över 100- och 200-årshögvattennivån skiljde sig från de tidigare studierna. Den största skillnaden i pilotstudien jämfört med tidigare studier är att pilotstudien har använt SMHI:s senaste prognos över medelvattenytans läge, medan WSP (2020) och Sweco (2021a) använde SMHI:s prognoser från 2017 respektive 2021. Swecos bedömning är att de nyare prognoserna är mer tillförlitliga och att pilotstudiens högvattennivåer därigenom är mer tillförlitliga jämfört med tidigare studier.

Gällande lokala effekter, i detta fall vinduppstuvning, är uppskattningen i pilotstudien mycket lik tidigare studiers uppskattningar.

De tidigare karteringarna visar mycket snarlika riskområden som pilotstudien, där stadsdelen Näringen översvämmas först, och sedan även Brynäs. Den metodik som applicerats bedöms därmed på ett tillfredsställande sätt lokalisera specifika riskområden.

Den metodik som pilotstudien grundas på inkluderar inte effekten hög vattenföring i vattendrag. I Gävle finns två vattendrag som mynnar ut i Bottenhavet; Testeboån och Gavleån. WSP:s utredning av översvämningsrisken inom Näringen visade att översvämningsnivån nära kusten huvudsakligen styrs havsvattenståndet, även vid mycket höga flöden i Testeboån. SMHI undersökte på uppdrag av MSB översvämningsrisker i Gavleån och Testeboån vid höga flöden och ansatte olika värden på havsvattenståndet som randvillkor för modelleringen (MSB, 2020; MSB, 2015). Båda dessa undersökningar stödjer slutsatsen att det främst är havsvattenståndet, inte flödet i vattendrag, som bestämmer vattennivån i kustnära områden.

Sammanfattningsvis bedöms föreliggande metodik ha fungerat väl för att uppskatta högvattennivåer i Gävle. Bidraget av återkomstnivåer liksom vinduppstuvning har hög överensstämmelse med mer detaljerade studier. Diskrepans i nivåer mellan tidigare studier och pilotstudien bedöms bero på att föreliggande metodik inkluderar mer uppdaterade prognoser för havsnivåhöjning. Pilotstudien belyser därigenom tydligt vikten av ajourhållna klimatdata.

Vidare tyder mycket på att kombinationen av höga flöden och höga vattenstånd inte är en händelse med signifikant förhöjd risk för höga nivåer i kustområdet. Den nivåskillnad som bedöms kunna uppstå till följd av detta i Gävle bedöms vara mycket liten i förhållande till andra osäkerheter i karteringen.

Den sammantagna bedömningen är att Gävle tätort i dagsläget inte ligger i riskzonen för större kustöversvämningsrisker, i framtiden ökar dock risken på grund av medelvattenytans stigning.

## 5.5 Pilotstudie Ängelholm

I detta kapitel sammanfattas slutsatser från pilotstudie i Ängelholm tätort. Pilotstudiens resultat beskrivs i sin helhet i *Bilaga D – Pilotstudie Ängelholm*.

Sweco har tidigare utrett högvattennivåer i Ängelholm (Sweco, 2021b). Denna utredning undersökte 50- och 100-årshögvatten idag, år 2050 och år 2100 och skiljer sig således något från pilotstudien avseende både högvattenhändelser och tidsperspektiv. 100-årshögvattnet år 2100 utreds dock både i pilotstudien och i den tidigare utredningen. Nivån för den händelsen är cirka 20 cm högre i pilotstudien än i Sweco (2021b). Prognoserna för medelvattenytans läge skiljer sig endast ett fåtal centimeter, istället är det 100-årshögvattnets nivå relativt medelvattenytan som skiljer sig. I Sweco (2021b) baserades 100-årshögvattnet på en frekvensanalys av data från Magnarp som har gjorts av LTH, medan pilotstudien baseras på SMHI:s extremvärdesanalys av Helsingborg, som sedan kompletterats med lokala effekter. De lokala effekterna utgjorde inget extra bidrag till högvattennivån i Sweco (2021b) eftersom dessa bedömdes vara inkluderade i vattenståndsdata från Magnarp.

Pilotstudiens antagande om en vinduppstuvning på 50 cm överensstämmer dock väl med en annan utredning av Sweco (2019b) som kom fram till en vinduppstuvning på ca 44 cm. Vågeffekter antas i pilotstudien bidra ytterligare 25 cm till högvattennivån genom våguppstuvning. Jämförelser med andra studier av vågeffekter i Skälderviken visar att den våguppstuvning som pilotstudien antar sannolikt underskattar vågpåverkan på vågexponerade lägen längs kusten. Samtidigt överskattas vågpåverkan i skyddade lägen som i Rönne å och i Skäldervikens hamn. Att höja högvattennivån med 25 cm för att inkludera vågeffekter kan vara missvisande eftersom vågeffekter är mycket lokala. Det förklarar även skillnaden mellan pilotstudiens 100-årshögvatten jämfört med Sweco (2021b).

Ovanstående visar att olika bedömningar av lokala effekter och olika skattningar av återkomstnivåer kan leda till att högvattennivåer skiljer sig åt mellan olika studier. Eftersom valet av karteringsnivå påverkar utfallet av översvämningskarteringen blir en tröskelanalys av stort värde för att illustrera effekterna av olika nivåer.

I pilotstudien framgår dock att det även är av stor vikt vilken höjdmodell som används vid översvämningsanalys, samt vilka topografiska korrigeringar som används avseende kulvertar, tunnlar och dylikt. I den tröskelanalys som bygger på MSB:s metod är översvämningsrisken i området Havsbaden mycket begränsad fram till cirka +2,85 m, över denna nivå sker en stor ökning av antalet drabbade byggnader. Denna tröskel syns ej i analysen som bygger på Scalgo, eftersom kulvertar in till Havsbaden här antas vara öppna. Under +2,85 m finns därför risk att MSB:s metod underskattar översvämningsrisken. På liknande sätt kan även risken för erosion göra att risken för översvämningsunderskattas, eftersom tröskeln vid +2,85 m förutsätter att sanddynsystemet som skyddar Havsbaden från översvämningsunderskattas under denna nivå är intakt.

Flöden i vattendrag tas inte i beaktande i pilotstudien, vilket eventuellt leder till underskattningar av översvämningsutbredningen i tätorter nära vattendragmynningar. En översvämningsmodell av Rönne å som upprättats av LTH beskrevs av Sweco (2021c). En analys gjordes av vilket procentuellt bidrag till vattennivån som kom från havsvattenståndet i Skälderviken respektive från

höga flöden i Rönne å. Ur analysen framgick att det huvudsakligen är havsvattenståndet som styr vattennivån i vattendraget närmast mynningen.

Sammanfattningsvis visar pilotstudien att Ängelholm är riskutsatt avseende kustöversvämningar. En viktig slutsats är att vågeffekter är svåra att ta hänsyn till. De utgör en mycket lokal effekt som är svår att översiktligt uppskatta på nationell nivå. Baserat på dessa slutsatser rekommenderas att vågeffekter endast inkluderas kvalitativt i en översiktlig kartering och att dessa effekter behöver modelleras vid detaljerade översvänningsutredningar.

Topografiska data kan utgöra en stor felkälla vid översvänningskarteringar. Resultat från tröskelanalyser och karteringar skiljer sig mycket åt beroende på om kulvertar, broar, tunnlar och liknande inkluderas i höjdmodellen eller ej. På samma sätt kan akut erosion förändra ett områdes topografi under loppet av en översvänningshändelse. Även akut och kronisk erosion kan möjligen utgöra en risk som behöver beaktas.

En annan viktig slutsats är att utbredningen av kustöversvämningar inte tycks påverkas i någon stor utsträckning av höga flöden i vattendrag. Att metodiken som beskrivs i föreliggande rapport inte tar hänsyn till flöden i vattendrag bedöms således inte utgöra en brist.

## 5.6 Pilotstudie Kalmar

I detta kapitel sammanfattas slutsatser från pilotstudie i Kalmar tätort. Pilotstudiens resultat beskrivs i sin helhet i *Bilaga E – Pilotstudie Kalmar*.

I samband med MSB:s arbete att identifiera områden med betydande översvänningsrisk utförde SMHI på uppdrag av MSB en extremvärdesanalys av höga havsvattenstånd i Kalmar (MSB, 2018a). Denna analys användes sedan av Länsstyrelsen Kalmar län vid framtagandet av en riskhanteringsplan för Kalmar tätort inom ramen för översvänningsförordningens (SFS 2009:956) andra cykel (Länsstyrelsen Kalmar län, 2021). I riskhanteringsplanen gjordes en översvänningskartering av de nivåer som SMHI tagit fram för ett 100-årshögvatten samt en beräknad högsta nivå år 2100.

Eftersom metodiken som föreslås i denna rapport i stor utsträckning bygger på de extremvärdesanalyser SMHI gjorde åt MSB år 2018, (där Kalmar var inkluderat), så är värdena på högvattenhändelsernas höjning över medelvattenytan identiska.

I pilotstudien har inga lokala effekter identifierats som kan förväntas bidra till högre högvattennivåer i Kalmar. Riskhanteringsplanen tar ej heller hänsyn till lokala effekter, vilket alltså överensstämmer med pilotstudiens bedömning.

Snarlika klimatscenarier ligger även till grund för uppskattningen av medelvattenytans stigning, nämligen RCP 8,5 i riskhanteringsplanen och SSP5-8,5 i pilotstudien. Dessa scenarier är inte direkt jämförbara, men bygger på liknande antagande om fortsatt höga utsläpp av växthusgaser (Abram, o.a., 2019).

En avgörande skillnad är dock valet av konfidensnivå vid antaganden om medelvattenytans framtida läge. I riskhanteringsplanen används medianvärdet av havsnivåhöjning för 100-årshögvattnet medan den övre nivån i konfidensintervallet används för den beräknade högsta nivån. I pilotstudien används övre nivån både för 100-årshögvattnet och för den beräknade högsta

nivån. Resultatet blir att nivån för ett 100-årshögvatten år 2100, relativt RH2000, skiljer sig med nästan 0,5 m, vilket får stora utslag i översvämningskarteringarna. Detta poängterar vikten av användarens val av undersökt konfidensnivå.

Sammantaget bedöms metodiken som föreslås i denna rapport fungera väl för att bestämma karteringsnivåer även i Kalmar. Överlag har pilotstudien gjort snarlika eller identiska bedömningar som riskhanteringsplanen avseende skattningar av högvattennivåer relativt medelvattenytan, lokala effekter, och val av klimatscenario. I båda fall bedöms Kalmar vara riskutsatt med avseende på kustöversvämnings. Det framgår ur jämförelsen att användarens val av klimatscenario och konfidensintervall i prognoser över medelvattenytans stigning kan ha stora effekter på utfallet. I föreliggande fall har det gett en betydande skillnad i högvattennivåer relativt RH2000. Det visar att även om metodiken för bestämning av karteringsnivåer fungerar väl krävs avvägningar från användarens håll med avseende på vilka randvillkor som ska undersökas. Detta gäller inte bara val av konfidensnivå utan även val av klimatscenario, tidshorisont samt återkomsttid. Precis som i tidigare pilotstudier menar Sweco att detta påvisar värdet av att utföra en tröskelanalys, eftersom fysiska trösklar vars överskridande leder till stora konsekvenser kan identifieras.

## 6 Diskussion

### 6.1 Styrkor med föreslagen metodik

Den slutgiltiga metodik som föreslås (Bilaga A) har genom utförda pilotstudier visat sig vara enkel att använda, kräver en begränsad tidsåtgång och har generellt gett resultat i överensstämmelse med tidigare mer detaljerade studier.

Sammanfattningsvis bedöms metodiken vara tillräckligt noggrann för att inte riskera att missa orter med betydande risk för översvämning givet att GIS-analysen sker med de metoder som föreslås i föreliggande rapport.

I pilotstudierna har en osäkerhetsmarginal på  $\pm 0,5$  meter använts. Denna osäkerhetsmarginal ger en god uppfattning om eventuella känsligheter i karteringen, men bedöms vara något grov för att användas systematiskt. Sweco förordar snarare att en tröskelanalys används som komplement till karteringen.

#### 6.1.1 Ajourhållna randvillkor

Baserat på resultaten i samtliga pilotstudier kan det konstateras att randvillkoren för kustöversvämning förändras över tid. Trots att randvillkoren i vissa fall visat god överensstämmelse med tidigare studier är det tydligt att både prognoser för havsnivåhöjningen och statistiska analyser av vattenstånd uppdateras frekvent. Den metodik som föreslås i denna utredning ger möjligheten att på sikt bygga upp en geografisk klimatdatabas som kan medverka till att ajourhålla klimatdata, vilket kan gynna såväl MSB själva som andra aktörer som arbetar med klimatanpassning eller klimatrelaterade risker.

Inom ramarna för denna studie har en översiktlig bedömning av vinduppstuvning utförts. Detaljerade studier kan leda till andra slutsatser, och den databas som tagits fram kan med fördel uppdateras allt eftersom kunskapsläget förändras.

#### 6.1.2 Tröskelanalys

Pilotstudierna har visat att tröskelanalyser ger snabbt en översiktlig systemförståelse och kan användas för att identifiera känsligheter inom studieområdet. Sweco anser således att tröskelanalyserna bör utgöra ett initialt screeningverktyg. Analysen kan utvidgas för att inkludera fler objekt än byggnader (exempelvis samhällsviktiga funktioner, infrastruktur) och genom att tydligt markera sannolikheten för att en given nivå inträffar kan risker snabbt identifieras.

### 6.2 Svagheter med föreslagen metodik

#### 6.2.1 Längd av tidsserier och brister i extremvärdesanalyser

Karteringsnivån för översvämning är starkt beroende av den uppskattade nivån av högvatten med olika återkomsttid, särskilt på kortare tidshorisonter. De tidsserier som ligger till grund för det nyttjade underlaget är av varierande längd. Som tidigare nämnts bör en tidsserie som används för att uppskatta nivåer med en viss återkomsttid vara åtminstone hälften så lång som återkomsttiden. Detta eftersom en fördelningskurva behöver anpassas till data för att bestämma återkomsttider. Valet av fördelningskurva är i någon mån subjektiv och om



återkomsttiden är mycket längre än dataserien kan valet av fördelningskurva påverka utfallet till hög grad.

En tillförlitlig skattning av nivåer med en återkomsttid på 200 år kräver således en tidsserie som är minst 100 år lång. I Sverige finns 6 stationer med timvisa mätningar av havsvattenstånd som är mer än 100 år långa, vilket innebär att endast ett fåtal av tillgängliga analyser av 200-årsvärden är pålitliga.

Betydligt fler stationer finns med tidsserier som överskrider 50 år, vilket innebär att 100-årsvärdena är mer tillförlitliga. Det ska dock nämnas att flera stationer har tidsserier som är för korta för att med tillfredsställande säkerhet kunna fastställa högvattennivåer med 100 års återkomsttid. Dessa stationer, samt längden av deras tidsserier, sammanfattas i Tabell 6-1 nedan.

Tabell 6-1 Mätstationer för havsvattenstånd med en tidsserie som är kortare än 50 år.

Station	Tidsseriens längd
Forsmark	42 år
Kalix	43 år
Kungsvik	44 år
Simrishamn	35 år
Skagsudde	35 år
Spikarna	49 år

De statistiska analyser som gjorts av Hieronymus och Kalén (2020) utgick från mätstationerna med de längsta tidsserierna, varefter analysen för varje station baserades på dess egna data.

Extremvärdesanalyserna gjorda av SMHI 2018 har istället utgått ifrån de 18 olika orterna där många orter antingen har väldigt korta mätserier eller i vissa fall helt saknar vattenståndsmätare. För att få en mer tillförlitlig analys har orternas lokala tidsserie jämförts med andra närliggande och längre tidsserier. Statistiska regressionsanalyser av högvattenhändelser har utförts, ibland även med vinddata inkluderat i analysen, för att kunna utöka den lokala vattenståndsmätarens tidsserie genom att applicera regressionssambandet på den längre tidsseriens högvatten. På så sätt uppnås en mer tillförlitlig analys av högvattennivåer än när endast den lokala mätserien används.

## 6.2.2 Höjddata

Trots att den höjddata som finns tillgänglig från Lantmäteriet är högupplöst och har god noggrannhet kan denna data ge upphov till betydande felkällor. Dolda inströmningsvägar som kulverterade diken, dagvattenutlopp och viadukter behöver ofta manuellt korrigeras i höjdmodeller för att översvämningskarteringar ska ge rättvisande uppskattningar av vattnets utbredning. En tydlig slutsats i detta projekt (särskilt genom pilotstudien i Ängelholm) är att dessa inströmningsvägar kan ha avgörande betydelse vid inventering av översvämningsrisker.

Scalgo Live har genom en uppsättning av avancerade algoritmer och maskininlärningsteknik uppdaterat Lantmäteriets höjddata genom över en miljon justeringar. Dessa justeringar utgörs av modifieringar av höjddata för att vattenflödet ska representeras på ett mer korrekt vis. Den korrigerade höjddata modellen behöver självfallet hanteras med försiktighet men innebär generellt en betydande förbättring vid översvämningskartering.

Det ska även tilläggas att stranderosion både på kort och lång sikt kan påverka förutsättningarna för översvämning. För att beskriva hur stora volymer sediment som kan erodera under en stormhändelse, och för att utreda hur volymförlusterna påverkar ett översvämningsförlopp krävs dock hydrodynamisk modellering och kan därmed inte beaktas översiktligt. Det framtagna lagret *"Erosionskänsliga kuster"* kan användas som ett komplement för att göra användaren av metodiken medveten om att förhöjda risker kan föreligga. Det ska samtidigt poängteras att bedömningen av erosionskänsliga kuster säkerligen kan förbättras, och bör likt övrigt underlagsmaterial uppdateras när det nationella kunskapsläget förhöjs.

### 6.2.3 Vågor

I kapitel 2.3 ges en kort bakgrund till på vilket sätt vågor kan leda till ökad risk för översvämning. Av detta bakgrundskapitel framgår att effekten av vågor kan se olika ut vid olika typer av kust och vågornas storlek och riktning kan variera mycket lokalt. Eftersom vågberäkningar ställer höga krav på dataunderlag, t.ex. i form av batymetri, kännedom om kustens egenskaper (lutning, geologi osv) och eftersom tillgången på vågdata på nationell nivå saknas i Sverige gjordes initialt ett mycket enkelt antagande, nämligen att endast våguppstuvningseffekter beaktas.

Genom utförda pilotstudier kan det konstateras att detta antagande är problematiskt, och översvämningsrisken riskerar att felbedömas med denna metodik. Vid kraftigt vågexponerade kuster (som exempelvis Skälderviken vid Ängelholm) ger föreslagen metodik en underskattning av vågeffekterna, men i skyddade områden som i Rönne å överskattas vågeffekterna.

Då den svenska kusten inte är särskilt homogen och då stora brister i underlag föreligger, bedöms vågeffekter i dagsläget inte kunna inkluderas i en nationell översvämningskartläggning. Tidsåtgången för de detaljerade modeller som behövs för att på ett adekvat vis beskriva vågeffekterna bedöms inte rimlig i förhållande till värdet av resultaten på en översiktlig nivå. Vid detaljerade, geografiskt avgränsade studier kan effekten av vågor dock med fördel inkluderas.

Trots att Ängelholm är en ort med hög vågexponering bedöms inte avsaknaden av vågor i en översvämningskartering leda till en annan bedömning, nämligen att många byggnader riskerar att översvämmas vid en framtida högvattenhändelse i Ängelholm.

## 6.3 Förslag på fortsatt arbete

För att ytterligare öka träffsäkerheten i den metodik som föreslås, har ett antal punkter med förbättringspotential identifierats.

- En av de identifierade styrkorna med föreslagen metodik är att den framtagna databasen kan vara en förlaga av en samlad kunskapsbank

för klimatdata. Denna kunskapsbank skulle kunna ajourhållas och byggas ut med hjälp av andra myndigheter och eventuellt även tillsammans med privata aktörer som har nytta av tjänsten.

- I denna studie har två olika datakällor kombinerats för att få en heltäckande bedömning av högvattenregimer. I några områden (t.ex. Kalix-Haparanda) ger denna kombination en svårtolkad högvattenregim. Sweco rekommenderar att MSB utreder hur man kan till tillväga för att på ett enhetligt och transparent sätt kan skatta nivåer med olika återkomsttid för samtliga tillgängliga mätstationer. Ett internationellt sådant exempel är danska Kystdirektoratets *"Højvandsstatistikker 2017"*.
- Kartläggningen med tröskelanalys har i denna studie visat sig vara mycket effektiv för att på ett snabbt och överskådligt vis kartera stora geografiska områden. Sweco rekommenderar MSB att vidareutveckla metoden i ett automatiskt system, där randvillkor kan hämtas från de GIS-databaser som tagits fram inom detta projekt.

**Sweco** | Pilotstudie Kustöversvämning

Uppdragsnummer: 30036603

Datum: 2021-05-23

Ver: 1

Dokumentreferens: \\sestofs010\projekt\25463\30036603\000\10\_docs\sweco 2022-05-23 - kustpiloten - metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö.docx

## 7 Referenser

- Abram, N., Gattuso, J.-P., Prakash, A., Cheng, L., Chidichimo, M., Crate, S., . . . von Schuckmann, K. (2019). *Framing and Context of the Report Supplementary Material*. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*.
- CERC . (1984). *Shore Protection Manual*. Washington: CERC Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Dean, R., & Walton, T. (1990). Wave Set-up. i *Handbook of Coastal and Ocean Engineering* (ss. 635-646).
- Dykstra, S. L., & Dzwonkowski, B. (2021). The Role of Intensifying Precipitation on Coastal River Flooding and Compound River-Storm Surge Events, Northeast Gulf of Mexico. *Water Resources Research*, 17.
- Hieronymus, 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*, ss. 1587-1600.
- IPCC. (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*
- Lantmäteriet. (den 25 11 2020). Kvalitetsbeskrivning - Nationell Höjdmodell .
- Länsstyrelsen Kalmar län. (2021). *Riskhanteringsplan för Kalmar 2022 - 2027*.
- Mangor, K., Drønen, N., Kærgaard, K., & Kristensen, S. (2017). *Shoreline Management Guidelines*. DHI.
- MSB. (2015). *Översvämningsrisker utmed Testeboån*.
- MSB. (2018a). *Översvämningskartering kust*. Hämtat från <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farligenheten/naturolyckor-och-klimat/oversvamning/oversvamningskarteringar-och-samordning/>
- MSB. (2018b). *Översyn av områden med betydande översvämningsrisk*. MSB.
- MSB. (2020). *Översvämningskartering utmed Gavleån*.
- SGI. (den 20 12 2021). *SGI Vågportal (v.2)*. Hämtat från SGI Vågportal (v.2): <https://gis.sgi.se/vagmodell/>
- SMHI. (2017a). *Lokala effekter på extrema havsvattenstånd - Oceanografi 125*. SMHI.
- SMHI. (2017b). *Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust - Klimatologi Nr 45*. Norrköping.
- SMHI. (den 21 01 2022). *Framtida medelvattenstånd*. Hämtat från SMHI Klimat: <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand-1.165493>
- Sweco. (2017). *Kustskydd Trelleborg*.
- Sweco. (2019a). *Våguppspolning i Ängelholm*. Malmö.
- Sweco. (2019b). *Skälderviken vågmodell*.
- Sweco. (2021a). *Tillståndsansökan nytt ARV Gästrike Vatten*.
- Sweco. (2021b). *PM Högvattenberäkningar Ängelholm*.
- Sweco. (2021c). *PM Modellbeskrivning Rönne å*.
- WSP. (2020). *Översvämningsrisker Näringen - Hav, Testeboån och skyfall*.

# Bilaga A – Antaganden och framtagning av randvillkor för översvämningskartering

Upprättad av Emanuel Schmidt  
 Uppdragsnummer 30036603  
 Uppdrag MSB Metodutveckling Kust  
 Kund MSB  
 Uppdragsledare Maja Coghlan

## 1 Läsanvisningar

Denna bilaga till huvudrapporten *Kustpiloten – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö* syftar till att skriva vilka antaganden, bedömningar och avväganden som ligger till grund för framtagandet av de GIS-kartlager som utgör underlag till metodiken.

I kapitel 2 redovisas underlaget till kartlagret *Medelvattenytans stigning* och hur denna data kopplats till geografiska data.

I kapitel 3 redogörs för hur den svenska kusten delats in i olika högvattenregimer. Denna indelning bygger på ett antal platsspecifika bedömningar och avväganden, vilka presenteras i detalj för att ge god transparens. Nya data eller nya analyser kan i framtiden visa att dessa högvattenregimer bör justeras och inför kartering bör således GIS-kartlagret *Högvattenregimer* korrigeras.

I kapitel 4 presenteras den metodik som nyttjats för att beräkna lokala effekter på extrema vattenstånd längs Sveriges kust. Efter att pilotstudierna genomförts har vågeffekter utesluts från kartlagret *Lokala effekter* då det visat sig att vågeffekter inte bedömts kunna inkluderas i denna övergripande metod.

I kapitel 5 presenteras slutligen hur bedömningen och framtagandet av kartlagret *Erosionskänsliga kuster*.

## 2 Medelvattenytans stigning

SMHI:s prognoser över medelvattenytans läge för Sveriges kustkommuner finns tillgängliga för varje årtionde från 2030 till 2150. Prognoserna inkluderar havsnivåhöjning till följd av klimatförändringar och landhöjning och har gjorts för de klimatscenario som beskrivs i IPCC:s senaste rapport (IPCC, 2021).

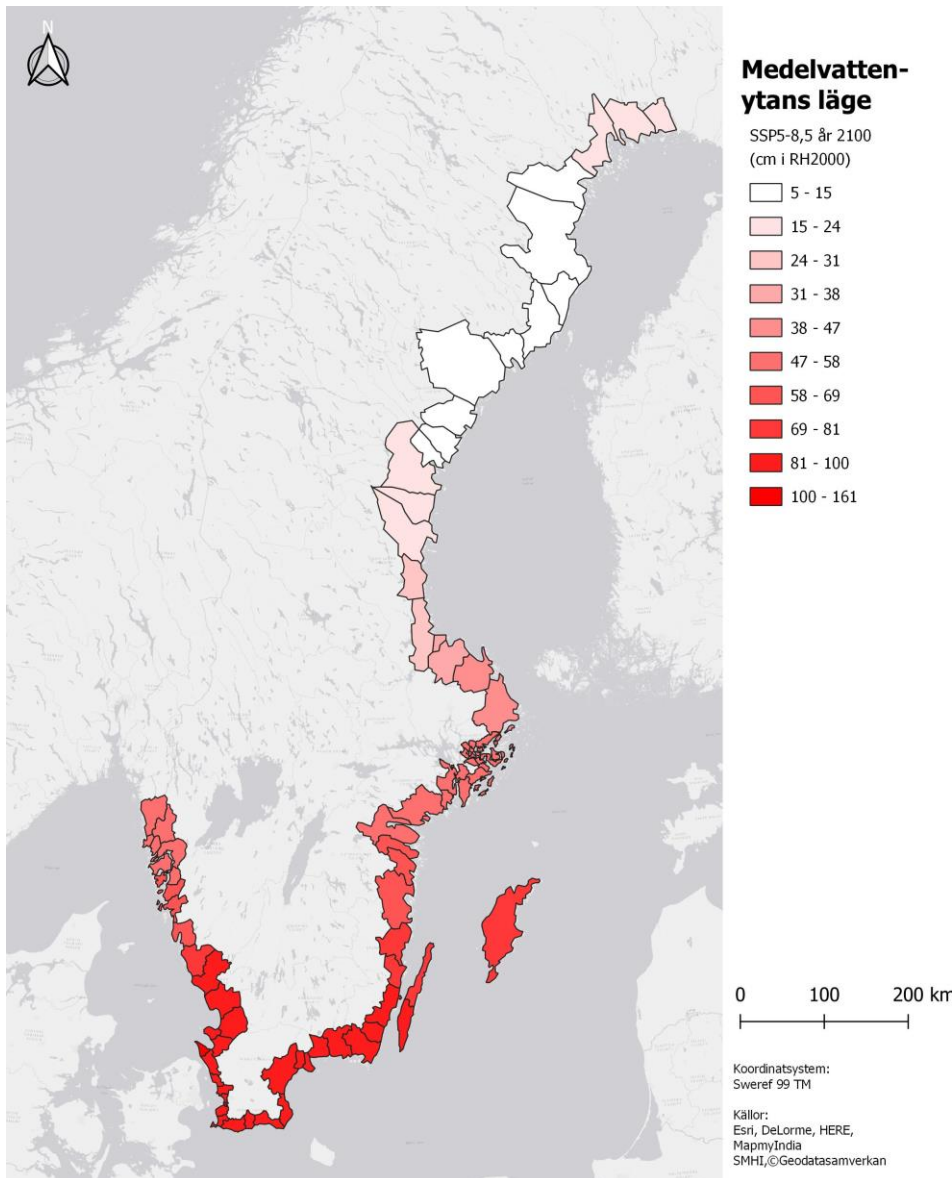
Metoden som presenteras här antar att de värden som anges av SMHI för en viss kustkommun gäller för hela den kommunens kuststräcka. När valet av ort för översvämningskartering har gjorts kan således medelvattenytans sökas ut beroende på tidshorisont och klimatscenario.

Medelvattenytans läge kan extraheras från GIS-lagret *"Medelvattenytans läge"* (Figur 1). Användaren behöver välja tidshorisont, klimatscenario och percentil.

**Sweco**  
 Emanuel Schmidt  
 Civilingenjör  
 emanuel.schmidt@sweco.se  
 Mobil +46 703729497

Box 286  
 SE 201 22 Malmö  
 Sweden  
 Telefon +46 (0) 40 16 70 00  
 www.sweco.se

Sweco AB  
 RegNo 556542-9841  
 Styrelsens säte Stockholm



Figur 1 Sveriges kustkommuner där SMHI:s prognoser för medelvattenytans läge visas för år 2100. I ovanstående karta baseras medelvattenytans läge på övre konfidensintervallet i klimatscenario SSP5-8,5.

### 3 Högvattenregimer

Längs vissa kuststräckor finns två eller flera datapunkter relativt nära varandra. I de fall då de rimligtvis avspeglar olika hydrodynamiska förutsättningar har detta använts som grund för att förfina indelningen av högvattenregimer.

Om de hydrodynamiska förutsättningarna kan antas vara lika, exempelvis när två datapunkter ligger mycket nära varandra på en rak, öppen kuststräcka, har datapunkten med mest tillförlitliga data använts som underlag för återkomstnivåer. I vissa fall har den längre tidsserien använts, i andra fall har den datapunkt med mest konservativa värden använts. Generellt har en högre viktning getts åt värden som skattats inom ramen för SMHI:s

extremvärdesanalyser jämfört med Hieronymus och Kaléns skattningar eftersom SMHI:s analys bygger på flera datakällor.

Nedan följer en kort diskussion av de områden där ett vägval gjorts vid användning av en viss datapunkts återkomstnivåer. I de fall där skillnaden är viktig har det påpekats om värdena bygger på SMHI:s eller Hieronymus och Kaléns skattningar. För att särskilja de olika fallen hänvisar i följande avsnitt *station* till en mätstation som analyserats av Hieronymus och Kalén medan *tätort* hänvisar till SMHI:s analyser.

### **Kalix – Haparanda**

Stationen i Kalix har högre nivåer än tätorten Haparanda trots att den senare ligger inne i en bukt där vinduppstuvning förväntas ge upphov till högre nivåer. Nivåerna för Haparanda baseras dock på data från Kalix. Troligtvis har olika val av fördelningskurvor gjorts av SMHI jämfört med Hieronymus och Kalén; tidsserien i Kalix är endast 43 år och därmed får olika val av fördelningskurva ett stort utslag på resultatet. SMHI:s extremvärdesanalyser redovisar dock inte skattningar för Kalix återkomstvärden. Därför gör Sweco bedömningen att dela in området i separata regimer.

### **Spikarna – Draghällan**

Trots att stationerna är mycket närbelägna skiljer sig högvattennivåerna cirka 20 cm. Tidsserien från Draghällan är 66 år lång, den från Spikarna är 47 år. Mätaren för Spikarna befinner sig i en hamn med öppet inlopp mot norr, vilket skulle kunna leda till högre nivåer jämfört med Draghällan när vatten pressas in i hamnen. Det är dock svårt att förklara varför skillnaden är så stor mellan de olika stationerna. Nivåer från Spikarna har använts eftersom det ger en mer konservativ uppskattning.

### **Björn – Forsmark**

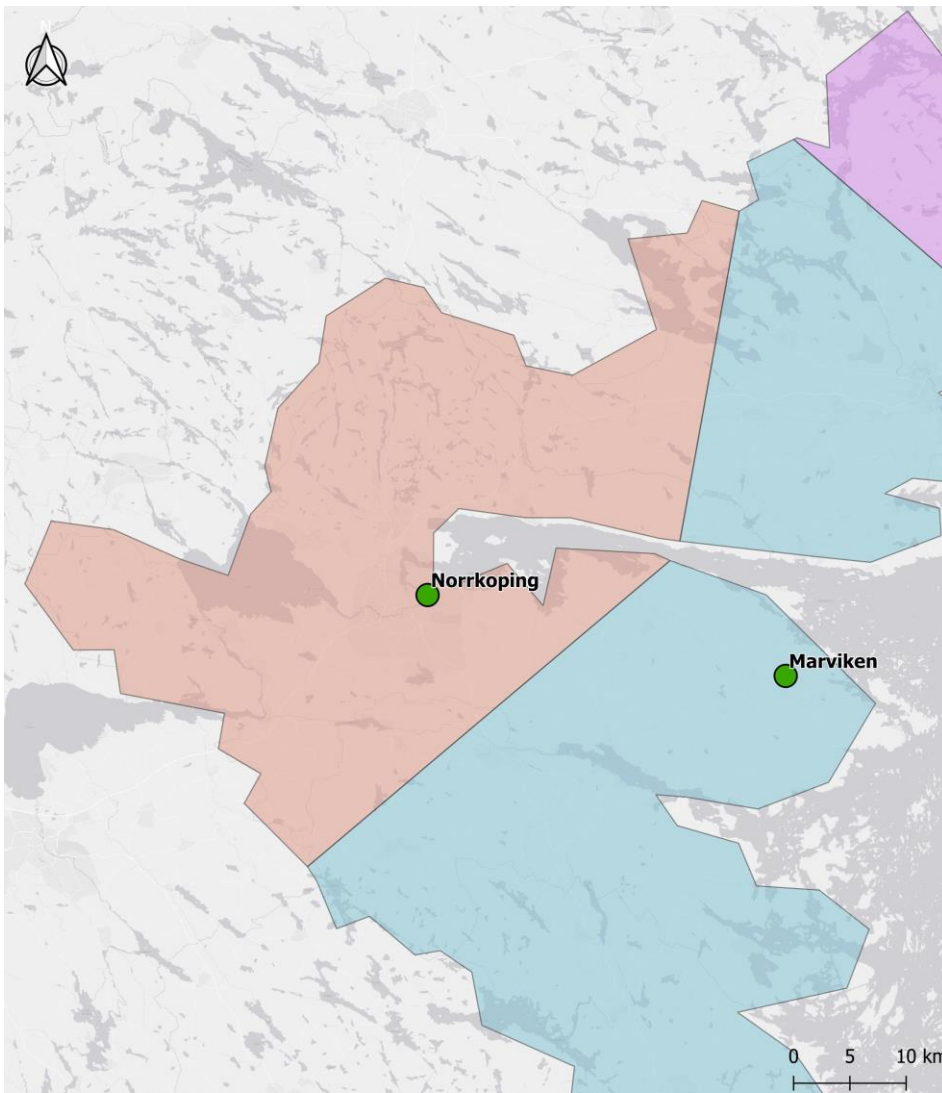
Björn har en 88 år lång tidsserie medan Forsmark endast har 40 år. Forsmark har cirka 10 – 15 cm högre högvattennivåer än Björn vilket kan bero på Forsmarks placering i sundet som utgörs av fastlandet och Gräsö. Det kan inte uteslutas att skillnaden mellan stationerna beror på olika hydrodynamiska förutsättningar. De har därför delats in i separata regimer.

### **Marviken – Norrköping**

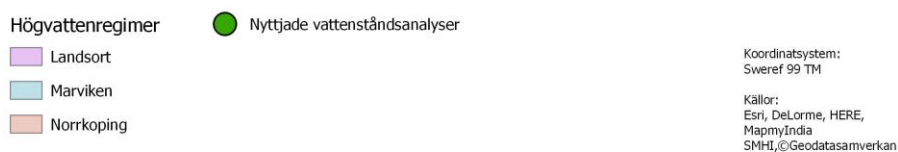
Tätorten Norrköping ligger i en lång och grund vik, vilket ger upphov till vinduppstuvningseffekter. SMHI:s skattning av Norrköpings nivåer har inkluderat denna effekt, medan stationen i Marviken inte gör det.

Norrköping och Marviken har därför delats in i separata regimer, se Figur 3-1. Exakt var gränsen går är i någon mån godtycklig. Indelningen som Sweco gjort här innebär att områden i regimen Norrköping får konservativa högvattennivåer, nivåer för områden i regimen Marviken behöver kompletteras med bedömningar av lokala effekter, vilket beskrivs vidare i kapitel 4.





### Bråviken -Indelning Högvattenregimer



Figur 3-1 Indelning av Bråviken vid Norrköping i två separata högvattenregimer.

### Ölands norra udde – Oskarshamn

Högvattennivåerna för dessa stationer skiljer sig cirka 10 cm. Värdena baseras på lika långa tidsserier. De har slagits ihop till en regim där nivåerna från Ölands norra udde har använts eftersom det ger en mer konservativ uppskattning.

### Ystad – Trelleborg

I Ystad har återkomstvärden både tagits fram av SMHI och Hieronymus och Kalén, SMHI:s värde har använts. SMHI har även gjort extremvärdesanalyser i Trelleborg som baserats på mätserien i Ystad. Högvattennivåerna för dessa

tätorter är närmast identiska, med endast en centimeters skillnad i amplituden av högsta beräknade värde. De har slagits ihop till en regim.

### **Klagshamn – Malmö**

Tröskeln Limhamn-Drogden vid Öresundsbron gör att Klagshamn söder om bron och Malmö norr om bron har vitt skilda hydrodynamiska förutsättningar. Ett högt vattenstånd på ena sidan ger upphov till ett lågt vattenstånd på andra sidan, och vice versa. Timvisa mätningar uppvisar således mycket låg korrelation, varför Klagshamn och Malmö har delats in i separata regimer. SMHI:s värden har använts på båda sidor av bron.

### **Malmö – Barsebäck – Landskrona – Helsingborg**

Nivåerna i tätorten Malmö och stationen i Barsebäck skiljer endast några centimeter och har därför slagits ihop till en regim. Nivåerna från Barsebäck används eftersom det ger en mer konservativ uppskattning, detta trots att värdena från Malmö kommer från SMHI och Barsebäck från Hieronymus och Kalén. SMHI:s värden för Malmö baseras på tidsserien i Barsebäck.

Högvattennivåerna i Landskrona är cirka 10 cm högre än nivåerna för Malmö, på samma sätt är nivåerna i Helsingborg 10 cm högre än Landskrona. Eftersom Öresund smalnar av norrut är det troligt att de olika områdena har olika förutsättningar för högvatten. Malmö – Landskrona – Helsingborg har därför delats in i separata regimer. Samtliga tre orter har undersökts av SMHI vilket ytterligare styrker denna indelning.

### **Viken – Helsingborg**

Högvattennivåerna för stationen i Viken och tätorten Helsingborg skiljer sig endast några centimeter. Värdena i Helsingborg baseras på data från Viken. Datapunkterna har slagits ihop till en regim där nivåerna från Viken har använts eftersom det ger en mer konservativ uppskattning.

### **Halmstad**

Tätorten ligger inte särskilt nära andra datapunkter, men har mycket högre högvattennivåer än andra datapunkter, cirka 70 cm högre än Viken vid enstaka tillfällen och mer än en meter högre än Varberg. Detta beror sannolikt på att vinduppstuvningen blir mycket stor i Laholmsbukten vid höga vattenstånd och västliga vindar. Av denna anledning har Laholmsbukten delats in i en egen regim med högvattennivåer tagna från tätorten Halmstad.

### **Kungsbacka – Varberg – Ringhals**

Stationen i Varberg har en mycket längre tidsserie än stationen i Ringhals, 85 respektive 46 år. Högvattennivåerna i Ringhals är cirka 20 cm högre än i Varberg. Detta förklaras troligen av att mätaren i Ringhals är placerad i en liten vik, vilken ger upphov till vinduppstuvning vid högvatten. Av denna anledning har Varberg och Ringhals slagits ihop till en regim där Varberg har använts för högvattennivåer.

SMHI:s analys för tätorten Kungsbacka inkluderar vinduppstuvning, därför har Kungsbackafjorden delats in i en separat regim. Områden utanför fjorden faller inom samma regim som Varberg – Ringhals, som utgörs av skattningar av Hieronymus och Kalén.

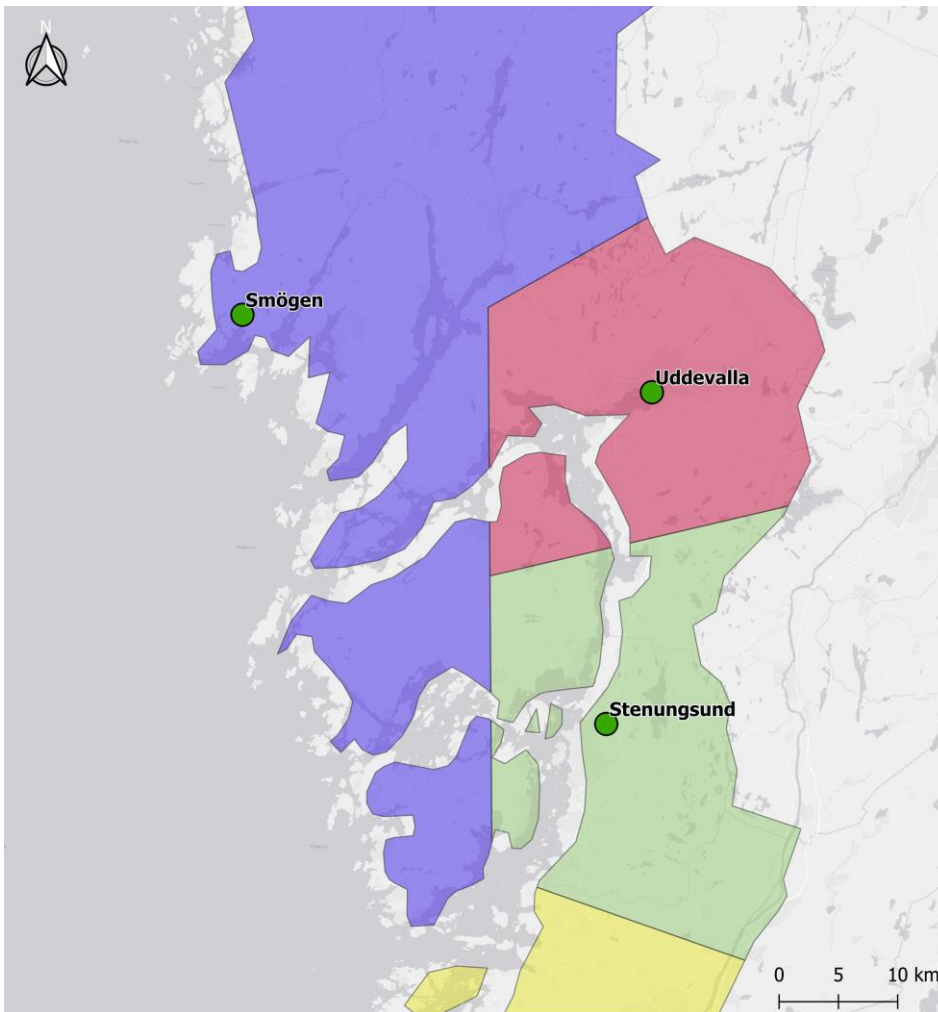
### **Göteborg**

SMHI identifierade att Götaälvmynningen upplever en så kallad seiche (stående våg) med en amplitud på som mest ca 30 cm. Noden hamnar enligt SMHI vid älvmyningen. Torshamnen används därför som utsjövärde, innanför

Götaälvbron adderas 30 cm till högvattennivåerna. Innanför Göta-älvbron har tre regimer fastställts; Eriksberg, Marieholm och Agnesberg. För Eriksberg adderas endast 30 cm för seichen till högvattennivåerna för Torshamnen. För Marieholm och Agnesberg adderas utöver detta ytterligare 4 respektive 12 cm till högvattennivåerna. Detta beror på att Göta älvs vattenyta snedställs vid högvattensituationer när vatten pressas in från havet, vilket ökar högvattennivåerna. Samtliga nivåer här kommer från SMHI.

### **Stenungssund – Uddevalla**

Högvattensituationen innanför öarna Orust och Tjörn är komplicerad på grund av många samspelande lokala effekter såsom seicher och vinduppstuvning. SMHI har gjort analyser för båda tätorterna. Sweco har gjort bedömningen att vinduppstuvningseffekter vid Uddevalla stödjer indelningen av viken vid Uddevalla till en separat regim. Eftersom vattnet vid Stenungssund har relativt fri passage både mot nordost, väst och sydväst bildar även Stenungssund en egen regim, se Figur 3-2.



### Uddevalla och Stenungsund - Indelning Högvattenregimer



Figur 3-2 Indelning av högvattenregimer för skärgårdskusten vid Uddevalla och Stenungsund.

## 4 Lokala effekter

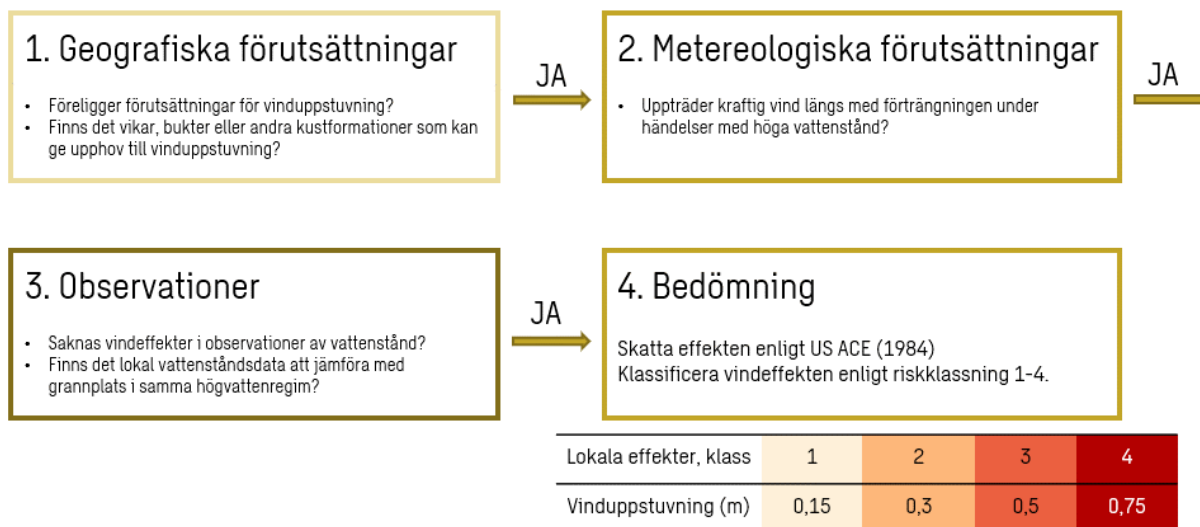
De högvattenregimer som definierats i kapitel 3 har baserats på vattenståndsmätningar vid ett begränsat antal platser. De föreslagna högvattenregimerna har som tidigare nämnts baserats på de regionala skillnaderna i vattenstånd under extrema högvattenhändelser. Inom respektive högvattenregim kan dock stora skillnader förekomma till följd av lokala fenomen. I förträngningar, vikar, bukter, älvmyrningar och liknande kan vind- och vågeffekter leda till att vattenståndet förhöjs ytterligare. Vid kartering är det

således av stor vikt att utreda om dessa lokala fenomen är inkluderade i observerade vattenstånd, eller om det i vissa områden är nödvändigt att förhöja karteringsnivån för att ta höjd för dessa lokala effekter.

Den enskilt viktigaste fysikaliska process som kan leda till förhöjda vattenstånd på en lokal skala har bedömts utgöras av vinduppstuvning, men även våg-effekter kan ha en signifikant betydelse. Notera att andra lokala effekter, som exempelvis seicher har exkluderats från denna bedömning till följd av komplexiteten att beskriva dessa fenomen. I följande underkapitel beskrivs hur både vind- och vågeffekter uppskattats inom ramen för detta projekt.

## 4.1 Vindeffekter

Med vindeffekter avses i detta kapitel uteslutande vinduppstuvning. Som underlag för framtida karteringar har en bedömning av potentiell vinduppstuvning under extremhögvatten skett för samtliga kustorter med en befolkning större än 2000 invånare<sup>1</sup>. Bedömningen har följt det flödesschema som presenteras i Figur 4-1 och som förklaras i löptext nedan.



Figur 4-1 Flödesschema för bedömning av vindeffekters bidrag till högvattennivån.

### 1. Finns de geografiska förutsättningarna för vindeffekter?

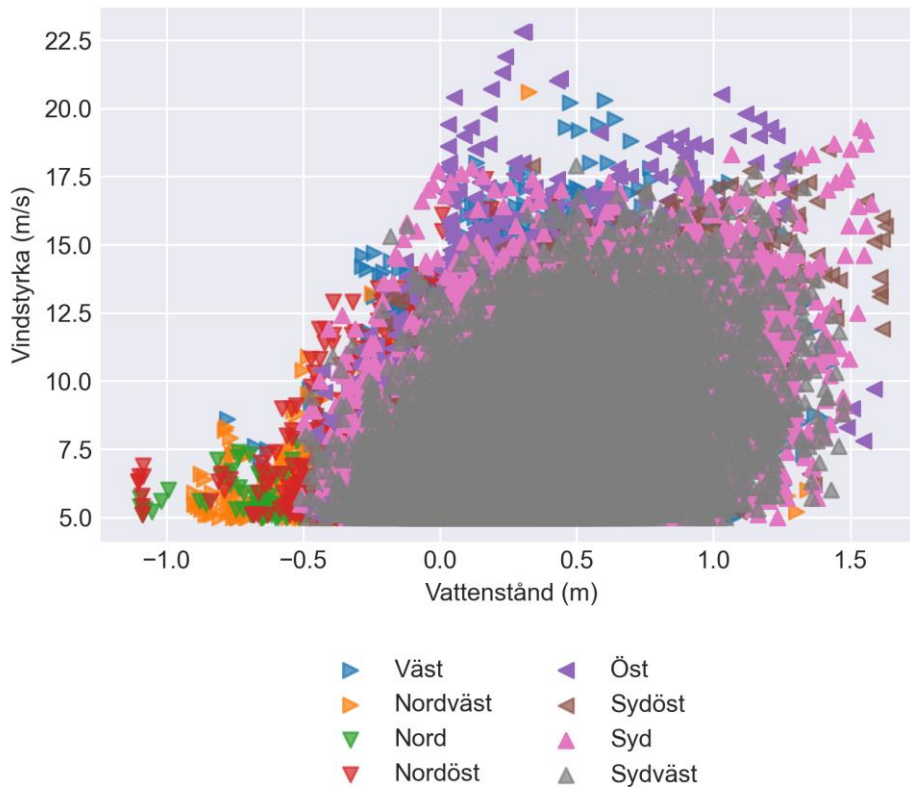
Vinduppstuvning kan endast uppstå om det finns geografiska förträngningar som vikar, bukter eller liknande kustformationer inom vilken vinden kan ge upphov till en snedställd vattenyta. Vinduppstuvning kan både vara ett regionalt och lokalt fenomen, t.ex. kan hela Bottenviken ses som en vik. På regional skala finns mätdata tillgänglig (vattenståndsmätningar) och i föreliggande frågeställning åsyftas förträngningar av mindre geografisk skala.

### 2. Finns meteorologiska förutsättningar?

Om vindeffekter ska adderas till det regionala vattenståndet krävs att vinduppstuvning kan uppstå vid extrema högvatten. Kraftig vind med en komponent längs med förträngningen måste således kunna uppstå under tillfällen med höga vattenstånd. En förståelse för de meteorologiska förutsättningarna i Sverige har skapats genom att kombinera vind- och

<sup>1</sup> Tätorter i kustkommuner, från SCB:s GIS-skikt över tätorter, referensår 1980-2020.

vattenståndsdata från utvalda stationer utmed kusten och redovisas separat i Bilaga F.



Figur 4-2 Figuren visar vind- och vattenståndsdata från Kalix. Ur figuren går det att utläsa att det vid de allra högsta vattenstånden huvudsakligen förekommer kraftig vind med en sydlig komponent. De meteorologiska förutsättningarna för vinduppstuvning under extremhändelser föreligger därmed i förträngningar med sydlig riktning.

### 3. Saknas vindeffekter i regionala högvatten?

Om vindeffekter ska adderas till det regionala vattenståndet krävs vidare att effekten inte redan är representerad i dataunderlaget. Om mätserien som de regionala vattenstånden bygger på är insamlad i den förträngning som studeras behöver således ingen ytterligare säkerhetsnivå tillföras.

### 4. Bedömning

I det fall att samtliga tre kriterier ovan är uppfyllda har en bedömning av vinduppstuvningen gjorts. I det fall att analyser över vinduppstuvningen funnits tillgängliga har resultat från dessa använts. I annat fall har vinduppstuvningen beräknats enligt metodik i ekvation 1, kapitel 2.2 i huvudrapporten, med en vindhastighet av 20-25 m/s. Som underlag till beräkningarna har fritt tillgängliga sjökort (Sjöfartsverket, genom eniro.se) nyttjats. Ett beräkningsexempel redovisas i Bilaga G.

Resultaten från beräkningarna har avrundats uppåt till sammanlagt fyra olika klasser (se Figur 4-1) beroende på vinduppstuvningens amplitud. Resultatet presenteras i form av en karta, se Figur 4-3.



Figur 4-3 Bedömning av vinduppstuvning längs Sveriges kust.

Det bör påpekas att vindeffekten längs vissa sträckor uppskattats till noll i kartlagret. Det kan ha två olika betydelser:

1. Geografiska förutsättningar för vinduppstuvning finns ej längs sträckan
2. Vinduppstuvningen bedöms vara inkluderad i de regionala data som ligger till grund för områdets högvattennivåer.

Exempelvis inkluderas vinddata i högvattennivåerna i Norrköping. Därmed ansätts vinduppstuvningseffekten i kartlagret för lokala effekter till noll vid Norrköping.

## 4.2 Vågeffekter (utgår)

Vågeffekter är ett samlingsbegrepp för olika vågrelaterade fenomen som uppstuvning, uppspolning och överspolning. Det är på ett översiktligt plan inte möjligt att differentiera mellan dessa effekter, utan förekomsten av vågor har i stället antagits medföra att klassgränsen för lokala effekter förskjuts uppåt ett steg, (se exempel i Figur 4-4). Som underlag för framtida karteringar har en bedömning av potentiella vågeffekter under extremhögvatten, likt för vinduppstuvning, skett för samtliga kustorter med en befolkning större än 2000 invånare<sup>2</sup>.



Figur 4-4 Flödesschema för bedömning av vågeffekters bidrag till högvattennivån.

### 1. Finns de geografiska förutsättningarna för vågeffekter?

För att vågor av betydande storlek ska kunna uppstå måste kusten vara exponerad mot en större öppen vattenyta. Både vid mycket branta kuster (t.ex. klippkuster) och i täta skärgårdar är vågeffekter generellt försumbara vid översiktlig kartering.

### 2. Finns meteorologiska förutsättningar?

Om vågeffekter ska adderas till det regionala vattenståndet krävs att betydande vågbildning sammanfaller med extrema högvatten. Kraftig pålandsvind måste generellt uppstå under tillfällena med höga vattenstånd, även om vågor av betydande storlek kan avlänkas runt ett kustparti. En förståelse för de meteorologiska förutsättningarna i Sverige har skapats genom att kombinera vind- och vattenståndsdata från utvalda stationer utmed kusten och redovisas separat i bilaga F.

### 3. Skifte av klassificering

I det fall att samtliga tre kriterier ovan är uppfyllda har klassgränsen för lokala effekter ökats. Det är inte möjligt att med enklare metoder, likt för vinduppstuvning, kvantitativt beräkna betydelsen av vågor för översvämningsrisken. Vågeffekter är bland annat starkt kopplade till batymetriska förhållanden, kustens geologi, utseende och exploateringsgrad.

## 5 Erosionskänsliga kuster

Utmed delar av den svenska kusten utgör sanddyner och andra erosionskänsliga geologiska formationer inflödes hinder för vatten. Under händelser med potential att orsaka akut erosion kan således översvämningsrisken underskattas om inte dessa hinder identifieras. Den metodik som föreslås i föreliggande projekt bygger dock huvudsakligen på en karteringsmetod som utgår från statiska snarare än dynamiska förlopp. Risken för erosions skador beror även på stormarnas varaktighet. Den ökade risk bilden i dessa erosionskänsliga kustområden kan inte beskrivas till fullo genom föreslagen metodik, utan behöver snarare belysas genom en dynamisk modell (exempelvis numeriska modellen *XBeach*).

För att uppmärksamma riskerna kopplade till erosion har en kvalitativ inventering av riskområden till följd av akut erosion utförts inom ramen för detta

<sup>2</sup> Tätorter i kustkommuner, från SCB:s GIS-skikt över tätorter, referensår 1980-2020.



projekt. Genom granskning av höjddata i kustzonen och genom litteratursökningar har en enklare geografisk databas av områden med särskild risk för utökade översvämningsytor till följd av erosion tagits fram. Databasens utformning presenteras översiktligt i Figur 5-1. Notera att denna databas med fördel kan byggas på över tid i takt med att kunskapsläget förbättras.



Figur 5-1 Preliminär bedömning av kuststräckor där erosion under stormar kan leda till översvämnning.

# Pilotstudie Trelleborg

## 1 Inledning

Följande dokument utgör en bilaga till *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö* och syftar till att applicera och utvärdera den metodik för översiktlig kartering av kustöversvämning som presenteras i kapitel 4 i densamma. För närmare beskrivning av metoden hänvisas läsaren till huvudrapporten.

Utvärderingen inleds med att föreslagen metodik tillämpas för att ta fram karteringsnivåer, därefter sker kartering enligt metodik beskriven i MSB (2018). I tillägg till denna kartering utförs även en analys av fysiska tröskelnivåer i Trelleborg för att illustrera hur valet av karteringsnivå påverkar utfallet. En mer detaljerad beskrivning av arbetsmetodiken beskrivs i kapitel 5 i huvudrapporten. I tillägg till dessa analyser sker en genomgång av tidigare studier med avseende på karteringsnivåer och identifierade riskområden.

Avslutningsvis utvärderas den tillämpade metodiken genom att jämföra resultat av föreliggande kartering med resultat från tidigare studier. Det huvudsakliga målet med pilotstudien är att utvärdera och anpassa föreslagen metodik för att säkerställa arbetsmetoden är robust, träffsäker och applicerbar på nationell nivå.

## 2 Tillämpning av modell

I följande kapitel tillämpas den metodik som presenteras i kapitel 5 i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö*.

### 2.1 Medelvattenytans läge

Medelvattenytans läge år 2100 har hämtats från kartlagret *Medelvattenyta*.

För tillämpning och kartering har övre percentilen i klimatscenario SSP5-8,5 för år 2100 använts. För Trelleborg kommun motsvarar detta ett prognosticerat läge av medelvattenytan på +124 cm i RH2000.

### 2.2 Regionala högvatten

I huvudrapporten presenteras högvattennivåer på regional skala. Värdet finns tillgängliga för återkomsttider på 100 år och 200 år samt för en beräknad högsta nivå (BHN). Kartlagret *Högvattenregimer* har nyttjats för att hämta ut värden för aktuell högvattenregim.

För Trelleborgs tätort uppgår nivåerna till:

- +157 cm (100-årshögvatten)
- +168 cm (200-årshögvatten)
- +199 cm (BHN)

Samtliga nivåer ovan anges relativt medelvattenytan.

2022-04-14

## 2.3 Lokala effekter

Kartlagret *Lokala effekter* har nyttjats för att se om lokala effekter på vattenståndet bör inkluderas vid översvämningskartering i aktuellt område. För Trelleborgs kommun har inga lokala effekter på vattenståndet av signifikant betydelse bedömts sammanfalla med höga havsvattenstånd.

### 2.3.1 Erosion

Enligt kartlagret *Lokala effekter* föreligger risk för akut erosion i Trelleborg kommuns östra delar, vid Beddingestrand och Skateholm. För Trelleborgs tätort föreligger dock ingen risk, och ingen hänsyn har därmed tagits till detta i aktuell översvämningskartering.

## 3 Resultat

### 3.1 Karteringsnivåer

I Tabell 3-1 sammanfattas de karteringsnivåer som har bestämts för Trelleborgs tätort utifrån ovan tillämpad metod.

Tabell 3-1 Karteringsnivåer för Trelleborg år 2100 som har bestämts med metoden som beskrivs i huvudrapporten till detta PM.

Högvattenhändelse	Nivå (RH2000)
100-årshögvatten	+281 cm
200-årshögvatten	+292 cm
Beräknad högsta nivå	+323 cm

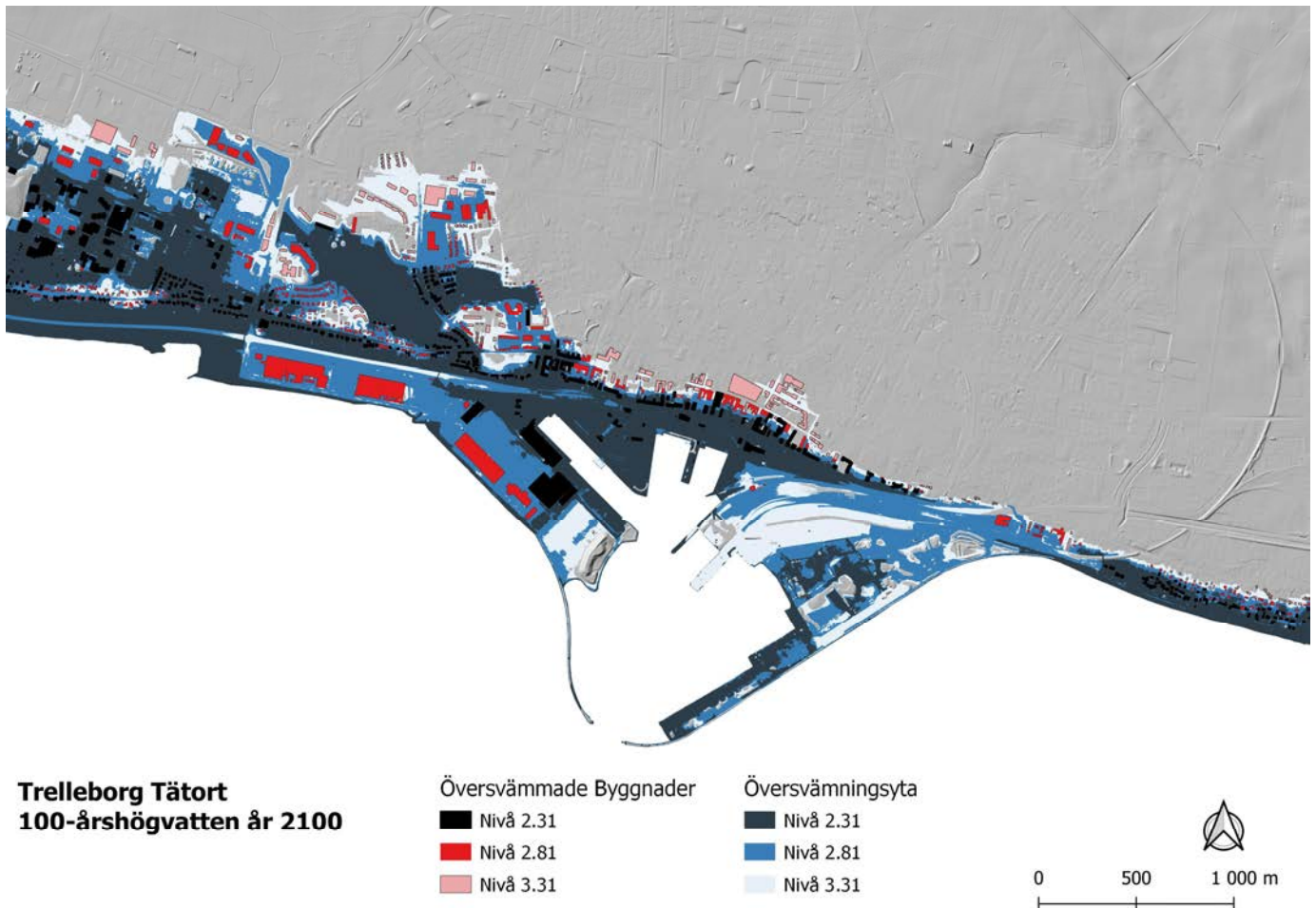
I karteringen behöver hänsyn ej tas till ökad översvämningsrisk till följd av akut erosion eftersom förutsättningar för detta är låga eller saknas i Trelleborg tätort. Det bör dock poängteras att risk för erosion föreligger i kommunens östra delar.

### 3.2 Översvämningskartering

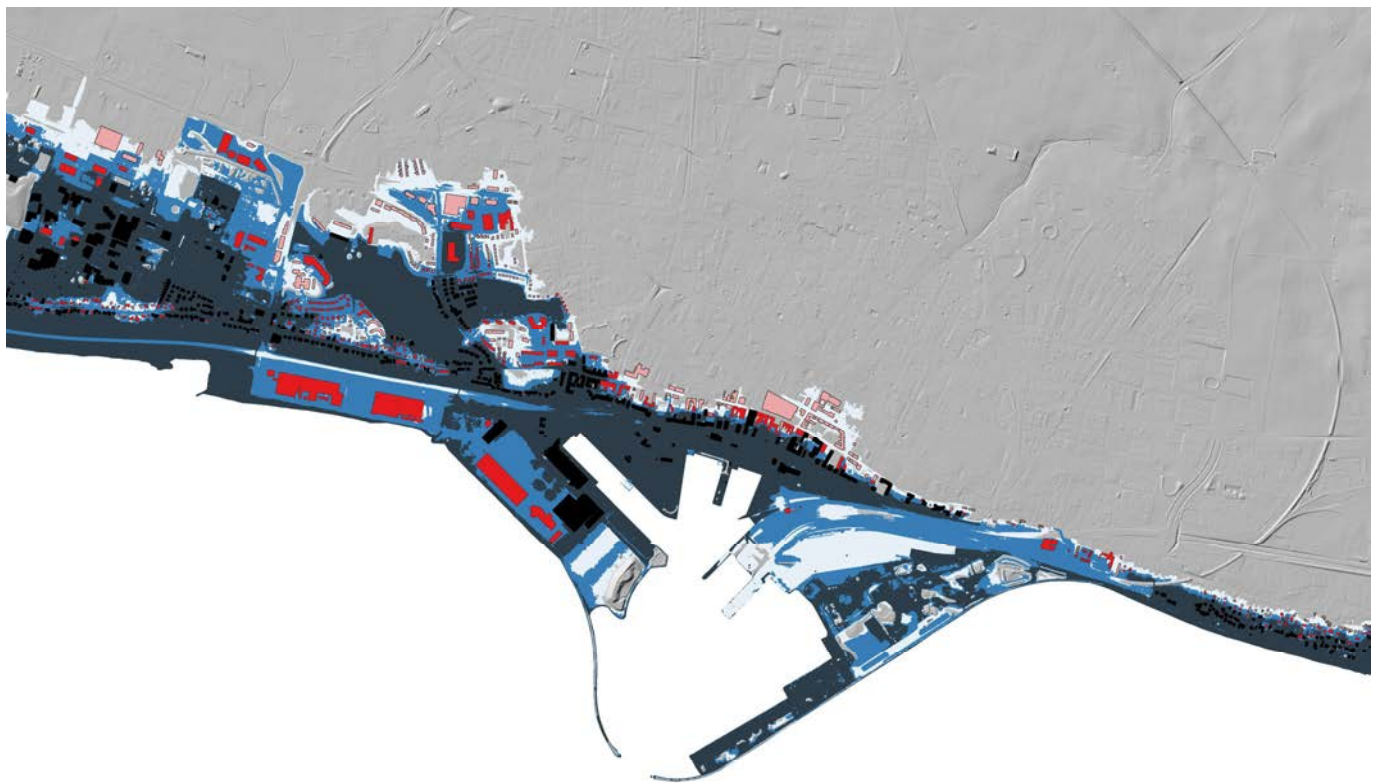
I Figur 3-1 till Figur 3-3 visas översvämningsutbredningen för de karteringsnivåerna som presenteras i Tabell 3-1. I kartmaterialet har även byggnader som drabbas vid respektive nivå markerats. För samtliga figurer visas utöver karteringsnivå även översvämningsutbredningen vid 0,5 m under och över respektive karteringsnivå. Redan vid nivån som ligger en halv meter under 100-årshögvattnet år 2100 drabbas stora delar av centrala och västra Trelleborg av översvämnings. Stora delar av hamnen står under vatten, och även bostadsområden öster om hamnen drabbas.

Överlag skiljer sig nivåerna för 100- och 200-årshögvattnet inte mycket åt, vilket synliggörs i Figur 3-1 och Figur 3-2, som har mycket lika utbredningar. Vid mycket höga nivåer tycks översvämningsutbredningen mattas av, vilket kan ses i att en halv meters skillnad i högvattennivå inte gör stor skillnad för utbredningen i Figur 3-3. Allra störst skillnad av att nivån stiger 0,5 m tycks

uppstå vid den lägre nivå illustrerad i Figur 3-1, mellan +2,31 m och +2,81 m (RH2000).



Figur 3-1 Översvämningsutbredning vid ett 100-årshögsvatten år 2100 (2,81 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



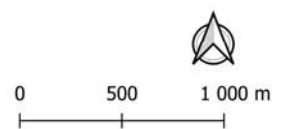
**Trelleborg Tätort**  
**200-årshögvatten år 2100**

Översvämmade Byggnader

- Nivå 2.42
- Nivå 2.92
- Nivå 3.42

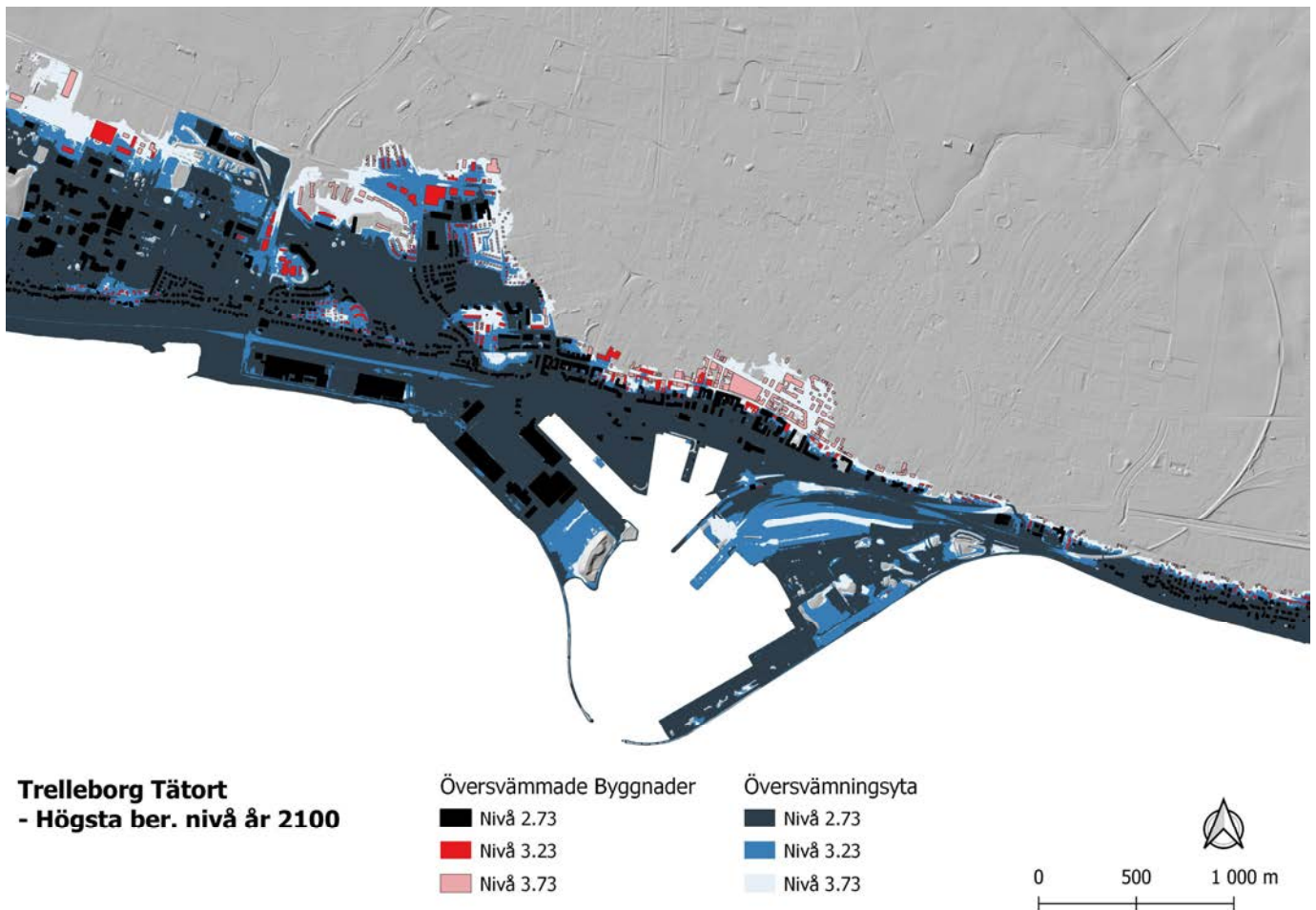
Översvämningsyta

- Nivå 2.42
- Nivå 2.92
- Nivå 3.42



Figur 3-2

Översvämningsutbredning vid ett 200-årshögvatten år 2100 (2,92 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



Figur 3-3 Översvämningsutbredning vid ett beräknat högsta högvatten år 2100 (3,23 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.

Sammanfattningsvis tyder pilotstudien på att Trelleborg kommer att vara ett riskområde för kustöversvämmningar år 2100. Redan vid en nivå som understiger ett 100-årshögvatten med 0,5 m drabbas stora delar av Trelleborg, inklusive hamnen.

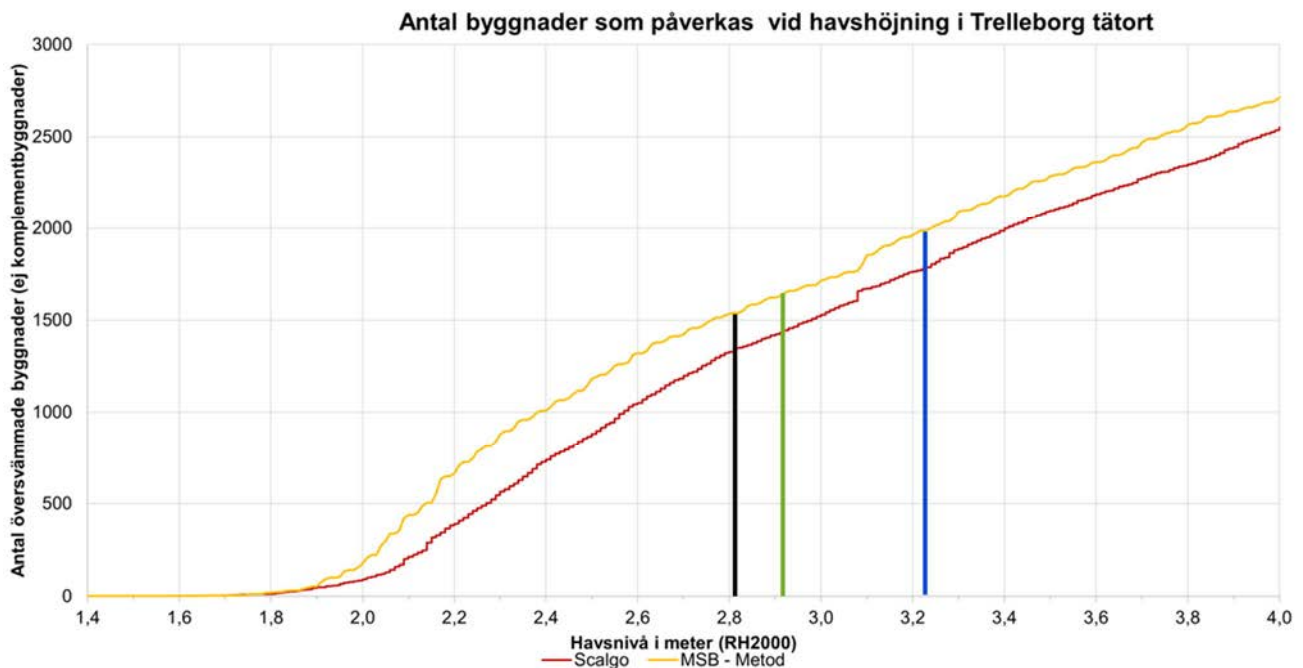
### 3.3 Tröskelanalys

Resultat från utförd tröskelanalys sammanfattas i Figur 3-4, där antalet påverkade byggnader visas på y-axeln och karteringsnivå (RH2000) på x-axeln. Figuren illustrerar alltså hur antalet påverkade byggnader ökar i takt med att havsnivån når högre nivåer.

Tröskelanalysen är utförd med två olika metoder och de två resultaten i tröskelanalysen skiljer sig åt beroende på metodval. MSB:s metod ger i Trelleborg ett högre antal drabbade byggnader vid ett givet havsvattenstånd. Detta beror huvudsakligen på att karteringen som baseras på Scalgo Live definierar en byggnad som översvämmad om dess centerpunkt ligger under vatten. I MSB-metoden har en byggnad definierats som översvämmad så snart byggnaden kommer i kontakt med vattenytan, vilket ger ett mer konservativt resultat.

Vid vattennivåer överstigande cirka +300 cm följer resultaten för de två metoderna varandra ganska väl, men för nivåer mellan 200 – 300 cm skiljer de

sig åt något. Tydliga trösklar kan identifieras vid cirka +215 cm och +310 cm. Då dessa nivåer överstigs ökar antalet påverkade byggnader snabbare än vid andra nivåer. Trösklarna är större för MSB-metoden än för Scalgo-metoden, vilket troligtvis reflekterar att definitionen av översvämmad byggnad är mer konservativ i MSB:s metod.



Figur 3-4 Tröskelanalys för Trelleborg tätort. Svart, grön och blå stapel markerar havsnivån vid ett 100-årshögvatten, ett 200-årshögvatten respektive beräknad högsta nivå.

Tabell 3-2 visar antalet byggnader som påverkas vid de karteringsnivåer som presenteras i Tabell 3-1, samt antalet byggnader som drabbas vid nivåer 0,5 m under och över respektive nivå. Utfallet skiljer sig inte mycket åt mellan 100- och 200-årshögvatten jämfört med den beräknade högsta nivån. För alla högvattenhändelser gör en halvmeters skillnad i havsnivån åt endera håll däremot stor skillnad för antalet drabbade byggnader. Generellt blir skillnaden i utfallet när havsnivån skiljer sig 0,5 m lika stor för samtliga fall, runt 500 – 600 byggnader. Undantaget är vid 100-årshögvattnet, där den nedre gränsen drabbar cirka 800 byggnader färre jämför med det faktiska 100-årshögvattnet. Detta kan även urskiljas i Figur 3-4, där ökningen av antalet drabbade byggnader tycks öka snabbare när havsnivån stiger från en lägre nivå än för de högra havsnivåerna.

Tabell 3-2 Antal påverkade byggnader vid olika högvattenhändelser (med metodik från Scalgo Live). En känslighetsanalys presenteras genom att även visa antalet byggnader som drabbas en halv meter under och över en given högvattenhändelse. Komplementbyggnader är ej inkluderad

Högvattenhändelse	-0,5 m	Påverkade byggnader	+0,5 m
100-årshögvatten	577	1346	1896
200-årshögvatten	771	1444	2020
Beräknad högsta nivå	1220	1786	2294

## 4 Tidigare studier

### 4.1 Karteringsnivåer

Sweco har tidigare utrett risken för kustöversvämningar i Trelleborgs tätort genom studien *Kustskydd Trelleborg* (2017). I studien utreddes hur Trelleborgs kommun kan skydda tätorten Trelleborg mot kustöversvämningar idag samt i ett framtida klimat. Översvämningsskarteringar gjordes för fyra olika högvattennivåer och åtgärdsförslag presenterades för samtliga nivåer.

Tre högvattenhändelser undersöktes på tre olika tidshorisonter, vilka sammanfattas i Tabell 4-1. Med *Normalhögvatten* menas en högvattennivå som kan förväntas återkomma med något eller några års mellanrum, en ovanlig men ingalunda extrem nivå. Backafloden är en översvämningshändelse som inträffade 1872 och är det mest extrema högvatten som dokumenterats i södra Östersjön. Återkomsttiden är inte känd, men det representerar en mycket extrem havsvattennivå.

Tabell 4-1 Analyserade havsvattennivåer samt de händelser nivåerna har antagits motsvara. Alla nivåer anges relativt RH2000. Anpassad från *Kustskydd Trelleborg* (Sweco, 2017).

	År 2015	År 2065	År 2100
Normalhögvatten	+1,35 m	+1,85 m	+2,35 m
100-årshögvatten	+1,85 m	+2,35 m	+2,85 m
Backafloden (extremhändelse)	+2,35 m	+2,85 m	+3,35 m

Beräkningar av framtida högvattenhändelser bygger på prognoser framtagna av SMHI år 2012 för den förväntade havsnivåhöjningen i Skåne år 2050 och 2100. För att få fram ett värde för 2065 antogs en linjär stigning mellan 2050 och 2100. För att få fram 100-årshögvatten och normalhögvatten utfördes en statistisk extremvärdesanalys av havsvattenstånd från vattenståndsmätaren i Skanör. Lokala effekter som vinduppstuvning och vågpåverkan togs inte i beaktande då studien konkluderade att höga vattenstånd sällan sammanfaller med pålandsvind. Därmed bedömdes att förutsättningarna för vinduppstuvning och vågeffekter saknas, vilket alltså är samma bedömning som gjorts med denna studies metodik. Inom ramen för Swecos tidigare arbete utfördes dock en översiktlig analys av vilka områden som är mest utsatta för vågpåverkan om höga vågor ändå skulle sammanfalla med höga vattenstånd.

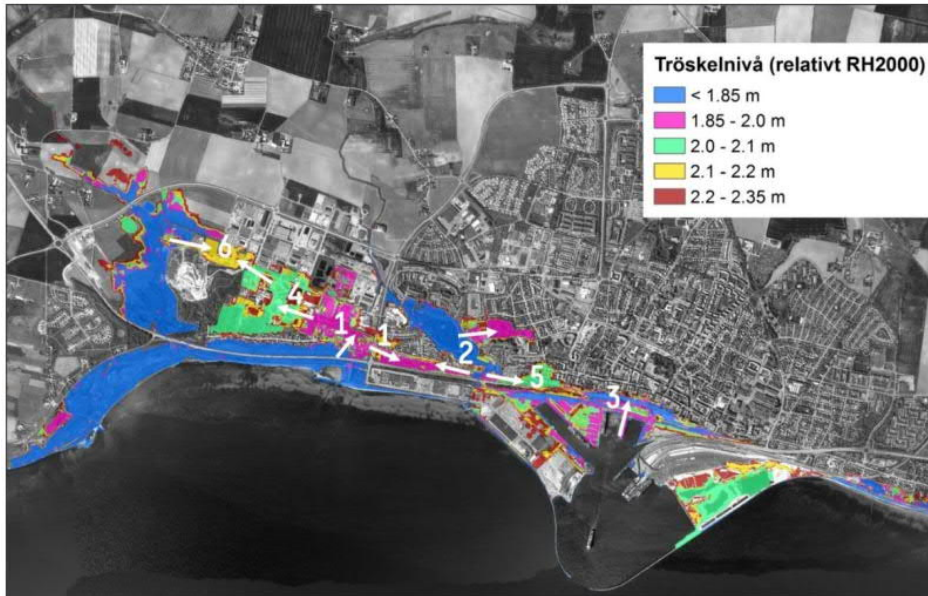
År 2018 gjorde SMHI på uppdrag av MSB en analys av extremvärdesnivåer i Trelleborg (SMHI, 2018). Ingen översvämningsskartering gjordes, men nivåer för högvatten med 100 och 200 års återkomsttid samt en högsta beräknad nivå skattades. Data från vattenståndsstationen i Ystad användes som underlag i analysen. De beräknade nivåerna i MSB:s projekt är desamma som utgör underlag för regionala högvatten i pilotstudien.

### 4.2 Identifierade riskområden

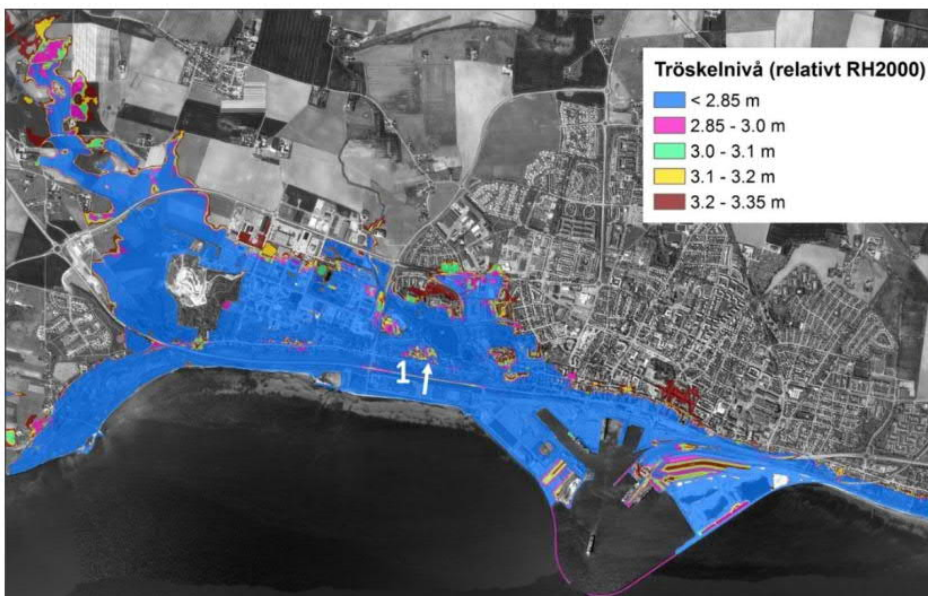
Swecos tidigare utredning påvisade översvämningströsklar i intervallet 1,85 – 2,1 m i RH2000, där utbredningen ökar mycket jämfört med andra nivåer (se Figur 4-1). I detta intervall strömmar vattnet in genom GC-tunneln vid väg E22 (1 i figuren), via Ståstorpsån (2) samt genom hamnen (3).



Vid ännu mer extrema nivåer (upp till 3,35 m) fortsätter E22:an att utgöra en inströmningsväg, dels i västra delen av Trelleborg, dels längs industriområdena väster och öster om hamnen, se Figur 4-2. Större delen av hamnen samt en betydande del av västra Trelleborg hamnar under vatten vid dessa nivåer.



Figur 4-1 Tröskelnivåer vid havsvattenstånd + 2,35 m (relativt RH2000). Inströmningsvägar är visualiserade med vita pilar. Vid nivåer mellan 1,85 - 2 m strömmar vatten in i bebyggda områden från ången norr om E22:an (1), från Ståstorpsån (2) samt in i centrum via hamnen (3). Mellan nivå 2 – 2,1 m översvämmas delar av västra tätorten (4) samt Västra Kyrkogården (5). Vid nivåer mellan 2,1 – 2,2 m översvämmas industriområdet i nordvästra Trelleborg från både öst och väst (6). Från Sweco (2017).



Figur 4-2 Tröskelnivåer vid havsvattenstånd +3,35 m (relativt RH2000). Inströmningsväg är visualiserad med vit pil. Vid nivåer mellan 3 - 3,1 m uppstår en ny flödesväg då vatten kan strömma över E22:an mellan Västra Ringvägen och infarten till Travemündeallén. Från Sweco (2017).

Med hänsyn till ovanstående resultat bedöms Trelleborg sammanfattningsvis vara ett riskområde för kustöversvämningar. Det gäller särskilt på längre sikt

eftersom högvattennivåer som är extrema idag blir vanligare i framtiden. Trösklar har identifierats i intervallet 1,85 – 2,1 m (RH2000), vilket är viktigt att ta hänsyn vid planering av översvämningsskydd.

## 5 Diskussion

I denna pilotstudie har metodiken som beskrivs i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningsskartering i kustmiljö* för att översiktligt bestämma havs-nivåer för översvämningsskartering applicerats på Trelleborgs tätort. Metodiken har varit enkel att applicera eftersom bidraget till skarteringsnivån av medelvattenytans läge, regionala högvatten samt lokala effekter hämtas direkt från respektive kartlager beroende på den givna tätortens geografiska läge.

En jämförelse av pilotstudiens översvämningsskartering med en skartering som utfördes av Sweco (2017) visar att båda identifierar Trelleborg som ett riskområde för kustöversvämning. Studierna har även gjort samma bedömningar avseende lokala effekters påverkan på skarteringsnivåerna.

Swecos tidigare studie (Sweco, 2017) och denna pilotstudie har använt olika prognoser för medelvattenytans läge och olika datakällor för regionala högvattennivåer. Trots detta har båda studier kommit fram till mycket snarliga nivåer för ett 100-årshögvatten år 2100. Detta är troligen till följd av att lägre projektioner av havsnivåhöjningen användes av Sweco (2017) jämfört med denna pilotstudie, samtidigt som nivån som användes för ett 100-årshögvatten var högre. Bedömningen är att nivåerna som presenteras med denna studies metodik är mer relevanta eftersom uppdaterade prognoser för havsnivåhöjningen och skattningar av högvattennivåer baserat på längre tidsserier har använts.

Ytterligare en skillnad mellan denna pilotstudie och Sweco (2017) är att olika högvattenhändelser och tidsperspektiv valts som bas för skarteringsnivåer. Detta får stort utfall i skarteringen. Ett normalhögvatten år 2015 får en mycket lägre utbredning än beräknad högsta nivå år 2100, vilket kan påverka riskklassningen av ett område. Val av klimatscenario och vilken nivå i konfidensintervallet som väljs är andra viktiga faktorer eftersom de påverkar det förväntade läget av den framtida medelvattenytan.

Värt att notera är att nivån för Backafloden överstiger nivån för beräknad högsta nivå. Det visar svårigheterna i att uppskatta mycket extrema nivåer. I båda fall är det problematiskt att återkomsttiden är okänd vilket omöjliggör uttalanden om sannolikheten att dessa händelser inträffar, och därmed även riskbilden.

Sammanfattningsvis har metodiken som använts i denna pilotstudie visat sig vara enkel att applicera. Ovanstående resonemang visar vikten av att ajourhålla datakällor, samt att användarens val av högvattenhändelser, tidsperspektiv och klimatscenario kan ha stor påverkan på nivåerna. Vidare illustreras vilket effektivt verktyg en tröskelanalys är i en översiktlig skartering, eftersom utfallet av olika skarteringsnivåer enkelt kan jämföras i ett diagram. En viktig slutsats är därmed att användningen av tröskeldiagram som ett komplement till översvämningsskarteringar rekommenderas.

## 6 Referenser

MSB 2018. *Översyn av områden med betydande översvämningsrisk. Enligt förordning (2009:956) om översvämningsrisker.* Publikationsnummer: MSB1152

Sweco 2017. *Kustskydd Trelleborg – En idéstudie för hur Trelleborgs tätort kan skyddas mot höga havsnivåer, nu och i framtiden.*

SMHI 2018. *Extremvattenstånd i Trelleborg.*

PM

Upprättad av Charlie van Houwelingen  
 Uppdragsnummer sweco.projectId  
 Uppdrag sweco.name  
 Kund sweco.mainCustomer.name  
 Uppdragsledare sweco.projectManager.firstName  
 sweco.projectManager.lastName

## Pilotstudie Gävle

### 1 Inledning

Följande dokument utgör en bilaga till *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö* och syftar till att applicera och utvärdera den metodik för översiktlig kartering av kustöversvämning som presenteras i kapitel 4 i densamma. För närmare beskrivning av metoden hänvisas läsaren till huvudrapporten.

Utvärderingen inleds med att föreslagen metodik tillämpas för att ta fram karteringsnivåer, därefter sker kartering enligt metodik beskriven i MSB (2018). I tillägg till denna kartering utförs även en analys av fysiska tröskelnivåer i Ängelholm för att illustrera hur valet av karteringsnivå påverkar utfallet. En mer detaljerad beskrivning av arbetsmetodiken beskrivs i kapitel 5 i huvudrapporten. I tillägg till dessa analyser sker en genomgång av tidigare studier med avseende på karteringsnivåer och identifierade riskområden.

Avslutningsvis utvärderas den tillämpade metodiken genom att jämföra resultat av föreliggande kartering med resultat från tidigare studier. Det huvudsakliga målet med pilotstudien är att utvärdera och anpassa föreslagen metodik för att säkerställa arbetsmetoden är robust, träffsäker och applicerbar på nationell nivå.

### 2 Tillämpning av modell

I följande kapitel tillämpas den metodik som presenteras kapitel 5 i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö*.

#### 2.1 Medelvattenytans läge

Medelvattenytans läge år 2100 har hämtats från kartlagret *Medelvattenyta*.

För tillämpning och kartering har övre percentilen i klimatscenario SSP5-8,5 för år 2100 använts. För Gävle kommun motsvarar detta ett prognosticerat läge av medelvattenytan på +58 cm i RH2000.

#### 2.2 Regionala högvatten

I huvudrapporten presenteras högvattennivåer på regional skala. Värden finns tillgängliga för återkomsttider på 100 år och 200 år samt för en beräknad högsta nivå (BHN). Kartlagret *Högvattenregimer* nyttjas för att hämta ut värden för aktuell högvattenregim.

För Gävle tätort uppgår nivåerna till

**Sweco**  
 Charlie van Houwelingen  
 Civilingenjör  
 charlie.vanhouwelingen@sweco.se  
 Mobil +46 721761311

Box 286  
 SE 201 22 Malmö  
 Sweden  
 Telefon +46 (0) 40 16 70 00  
 www.sweco.se

Sweco AB  
 RegNo 556542-9841  
 Styrelsens säte Stockholm

- +124 cm (100-årsnivå)
- +130 cm (200-årsnivå)
- +178 cm (BHN)

Samtliga nivåer ovan anges relativt medelvattenytan.

## 2.3 Lokala effekter

Kartlagret *Lokala effekter* har nyttjats för att se om lokala effekter på vattenståndet bör inkluderas vid översvämningskartering i aktuellt område. Gävle kommun ligger inom klass 1 av lokala effekter och karteringsnivån har förhöjts med 0,15 m.

### 2.3.1 Erosion

Enligt kartlagret *Lokala effekter* föreligger ingen risk för översvämning som ett resultat av akut erosion i Gävle kommun.

# 3 Resultat

## 3.1 Karteringsnivåer

I Tabell 3-1 sammanfattas de havsnivåer som har bestämts för Gävle tätort utifrån ovan tillämpad metod.

Tabell 3-1 Karteringsnivåer för Gävle år 2100 som har bestämts med metoden som beskrivs i huvudrapporten till detta PM.

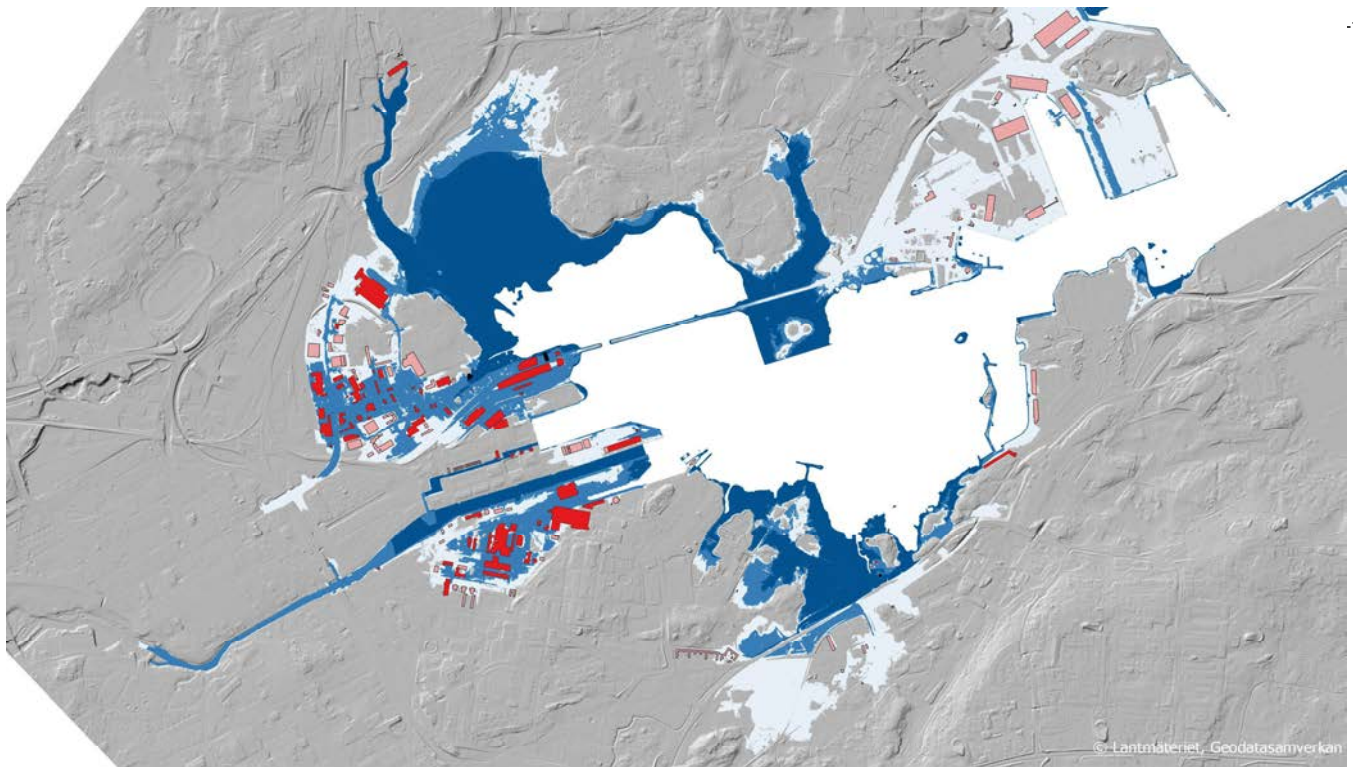
Högvattenhändelse	Nivå (RH2000)
100-årshögvatten	+197cm
200-årshögvatten	+203 cm
Beräknad högsta nivå	+251 cm

I karteringen behöver hänsyn ej tas till ökad översvämningsrisk till följd av akut erosion eftersom förutsättningar för detta är låga eller saknas.

## 3.2 Översvämningskartering

I Figur 3-1 till Figur 3-3 visas översvämningsutbredningen för de karteringsnivåerna som presenteras i Tabell 3-1. I kartmaterialet har även byggnader som drabbas vid respektive nivå markerats. För samtliga figurer visas utöver karteringsnivå även översvämningsutbredningen vid 0,5 m under och över respektive karteringsnivå.

Vid en nivå motsvarande 0,5 m under ett 100-årshögvatten påverkas endast ett fåtal byggnader. De som påverkas är belägna i området östra Näringen. Något fler byggnader drabbas 0,5 m under 200-årshändelsen, både i Näringen och i norra Brynäs. Vid de beräknade 100- och 200-årshögvattnen drabbas ett betydande antal byggnader, framför allt i Näringen och Brynäs. Vid nivåer över cirka 2,5 m översvämmas även Gävles industrihamn i öst.



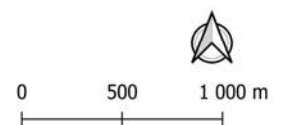
**Gävle Tätort**  
**100-årshögvatten år 2100**

Översvämmade Byggnader

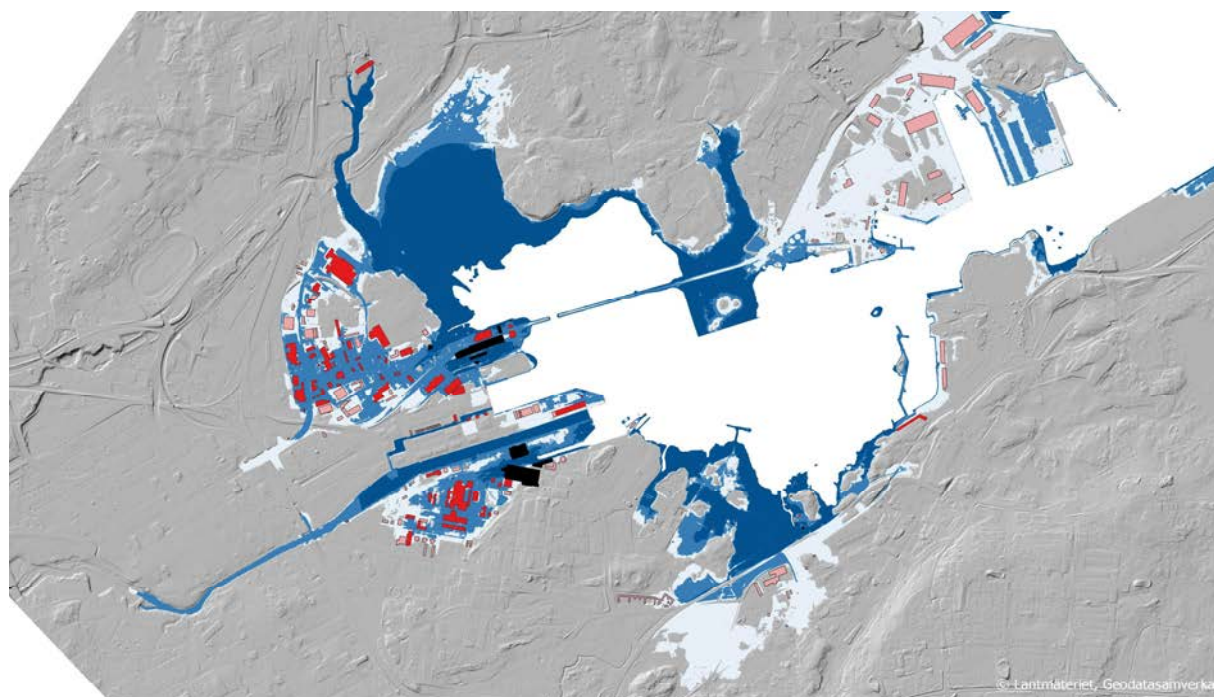
- Nivå 1.47 m
- Nivå 1.97 m
- Nivå 2.47 m

Översvämningsyta

- Nivå 1.47 m
- Nivå 1.97 m
- Nivå 2.47 m



Figur 3-1 Översvämningsutbredning vid ett 100-årshögvatten år 2100 (1,97 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



**Gävle Tätort**  
**200-årshögvatten år 2100**

Översvämmade Byggnader

- Nivå 1.53 m
- Nivå 2.03 m
- Nivå 2.53 m

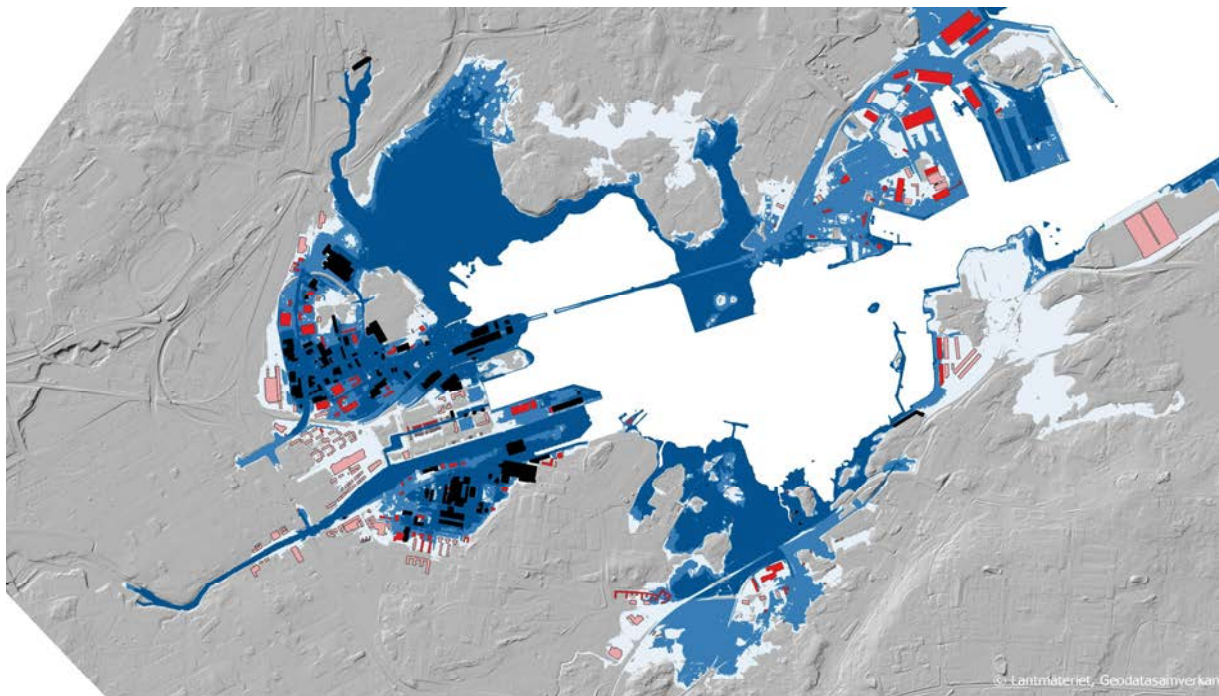
Översvämningsyta

- Nivå 1.53 m
- Nivå 2.03 m
- Nivå 2.53 m



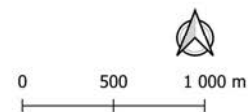
Figur 3-2

Översvämningsutbredning vid ett 200-årshögvatten år 2100 (2,03 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



**Gävle Tätort  
BHN år 2100**

Översvämmade Byggnader	Översvämningsyta
 Nivå 2.01 m	 Nivå 2.01 m
 Nivå 2.51 m	 Nivå 2.51 m
 Nivå 3.01 m	 Nivå 3.01 m



Figur 3-3 Översvämningsutbredning vid en beräknad högsta nivå år 2100 (2,51 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att byggnader i Gävle tätort inte i någon större omfattning påverkas av översvämning vid högvattennivåer understigande cirka 1,5 m i RH2000. Vid nivåer mellan 1,5 – 2 m finns en tröskel där stora delar av Näringen och Brynäs drabbas. Vid extrema nivåer påverkas även hamnområdet öster om staden.

### 3.3 Tröskelanalys

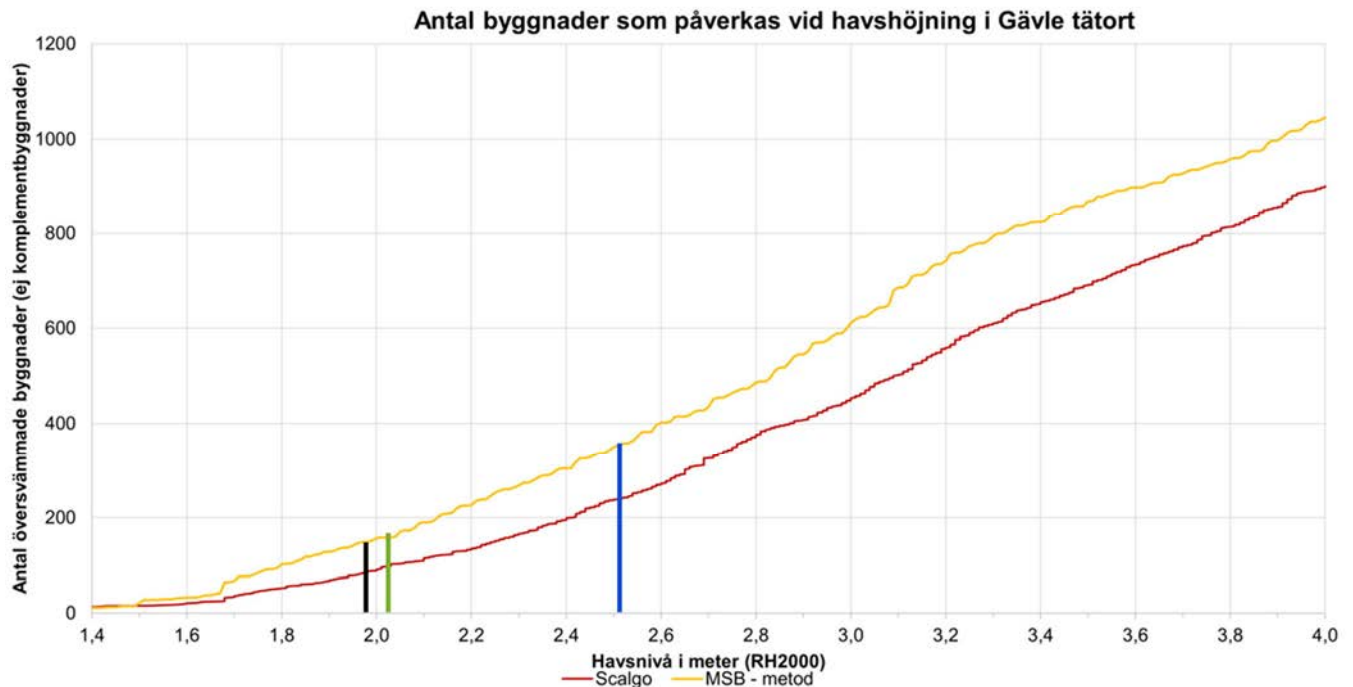
Resultat från utförd tröskelanalys sammanfattas i Figur 3-4, där antalet påverkade byggnader visas på y-axeln och karteringsnivå (RH2000) på x-axeln. Figuren illustrerar hur antalet påverkade byggnader ökar i takt med att havsnivån når högre nivåer.

Tröskelanalysen är utförd med två olika metoder och de två resultaten i tröskelanalysen skiljer sig åt beroende på metodval. MSB:s metod ger i Gävle ett högre antal drabbade byggnader vid ett givet havsvattenstånd. Detta beror huvudsakligen på att karteringen som baseras på Scalgo Live definierar en byggnad som översvämmad om dess centerpunkt ligger under vatten.



För MSB-metoden kan tre trösklar ses, vid ca +1,5 m, +1,7 m och +3,1 m (RH2000). Tröskeln vid +1,7 m kan också urskiljas i Scalgo-metoden men den är något lägre.

2022-04-14



Figur 3-4 Tröskelanalys för Gävle tätort. Svart, grön och blå stapel markerar havsnivån vid ett 100-årshögvatten, ett 200-årshögvatten respektive beräknad högsta nivå.

Tabell 3-2 visar antalet byggnader som drabbas vid de karteringsnivåer som visas i Tabell 3-1, samt antalet byggnader som drabbas vid nivåer 0,5 m under och över respektive högvattenhändelse. Utfallet skiljer sig inte mycket åt mellan 100- och 200-årshögvatten jämfört med den beräknade högsta nivån.

Tabell 3-2 Antal byggnader som drabbas vid olika högvattenhändelser baserat på SCALGO. En känslighetsanalys presenteras genom att även visa antalet byggnader som drabbas en halv meter under och över en given högvattenhändelse. Komplementbyggnader inkluderas ej i analysen.

Högvattenhändelse år 2100	-0,5 m	Drabbade vid aktuell nivå	+0,5 m
100-årshögvatten	10	81	230
200-årshögvatten	16	100	245
Beräknad högsta nivå	94	240	453

För alla högvattenhändelser gör en halvmeters skillnad i havsnivån åt endera håll däremot stor skillnad för antalet drabbade byggnader. Generellt blir skillnaden mellan utfallen större när vattennivån är 0,5 m över aktuell nivå än när den är 0,5 m under samma nivå. Det kan konstateras att karteringsnivån är en känslig parameter vid kartering av översvämning i Gävle tätort, och en felbedömning av 0,5 meter kan påverka slutresultatet avsevärt. I föreliggande kartering kan det dock konstateras att den föreslagna metoden på ett tillfredsställande vis identifierar översvämningens riskerna i Gävle.

## 4 Tidigare studier

### 4.1 Karteringsnivåer

Inför anläggningen av ett nytt avloppsreningsverk i Gävle utförde Sweco år 2021, på uppdrag av Gästrikre Vatten AB, en översvämningstudie av det planerade verksamhetsområdet för det nya avloppsreningsverket. Utredningen beaktade översvämning både från skyfall och höga havsnivåer. Ingen kartering gjordes av höga havsnivåer men högvattennivåer togs fram för dagsläget och för ett framtida klimat. Dessa nivåer sammanfattas i Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Beräknad nivå för ett 100-årshögvatten inklusive vinduppstuvning samt beräknat högsta vattenstånd idag och i ett framtida klimat. Anpassad från Tillståndsansökan Nytt ARV Gästrikre Vatten (Sweco, 2021).

	Relativt medelvattenytan	År 2050 (RH2000)	År 2100 (RH2000)
100-årshögvatten inkl. vinduppstuvning	1,40 m	1,55 m	1,93 m
Beräknat högsta högvatten	1,78 m	1,93 m	2,31 m

I Swecos tidigare utredning baserades 100-årshögvattnets nivå på värden som skattats av SGU och SMHI år 2012, där vinduppstuvningen har inkluderats och beräknats uppgå till 10 cm. Sammantaget återfås härigenom en nivå relativt medelvattenytan som är snarlik den som använts i föreliggande pilotstudie. Högsta beräknade vattenstånd hämtades från skattningar av data från mätstationen Björn utförd av SMHI år 2017, vilket är samma källa som ligger till grund för värdena som använts i denna pilotstudie. Uppskattningar av medelvattenytans stigning till år 2050 och år 2100 hämtades från SMHI:s kommunvisa prognoser från år 2021. Utgångspunkten var klimatscenarioet RCP 8,5 där den övre nivån i SMHI:s konfidensintervall användes.

I en annan studie har SMHI, på uppdrag av MSB, utfört översvämningsskarteringar längs Gavleån (MSB, 2020) och Testeboån (MSB, 2015) som båda mynnar ut i Bottenhavet vid Gävle. Karteringarna byggde på höga flöden i respektive vattendrag. I båda rapporterna antogs ett havsvattenstånd i Bottenhavet som randvillkor, vilka sammanfattas i Tabell 4-2.

Tabell 4-2 Havsvattenstånd i Bottenhavet som använts som randvillkor vid kartering av olika högvattenflöden i Gavleån och Testeboån. Vid modellering av 100- och 200-årsflöden i Gavleån och Testeboån har samma havsvattenstånd ansatts som randvillkor. Nivåerna anges i RH2000. Anpassat från MSB (2015) och MSB (2020).

	Randvillkor hav, Gavleån	Randvillkor hav, Testeboån
100-årsflöde	+1,14 m	+1,14 m
200-årsflöde	+1,14 m	+1,14 m
Högsta beräknade flöde	+1,53 m	+1,44 m

Havsnivåerna som användes som randvillkor för Gavleån baserades enligt rapporten på en frekvensanalys av data från vattenståndsstationen i Forsmark, det anges dock inte när och av vem frekvensanalysen utfördes. I rapporten för Testeboån anges att randvillkoret +1,14 m är medelhögvattennivå (MHW) år

2100 vilket baserades på data från Forsmark. Högsta högvatten (HHW) år 2014 uppskattades till +1,44 m, vilket baserades på data från havsvattenstationen i Björn.

Det ska påpekas att dessa värden skiljer sig från de 100- och 200-årsnivåer som har skattats av Hieronymus och Kalén (2020) för Forsmark och de högsta beräknade nivåer som skattats av SMHI (MSB, 2018) för Forsmark och Björn. De skiljer sig även från de nivåer som användes i karteringen som utfördes av Sweco 2021, se Tabell 4-1.

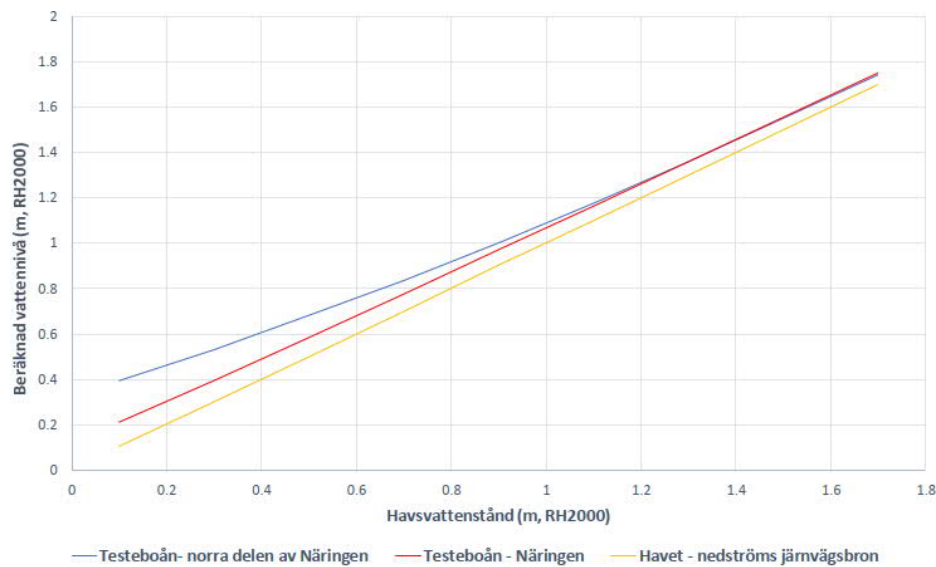
WSP utredde år 2020 risken för översvämningar i stadsdelen Näringen i samband med att kommunen planerar att omvandla industriområdet till bostadsområden. Hänsyn togs till höga havsnivåer, höga vattenflöden från Testeboån samt risken för skyfall. De havsnivåer som utreddes var 100-årshögvattnet samt högsta beräknade nivå idag, år 2050 och år 2100. De värden som användes sammanfattas i Tabell 4-3.

Tabell 4-3 Högvattennivåer beräknade av WSP baserade på prognoser och statistiska analyser gjorda av SMHI gällande framtida medelvattenstånd och högvattennivåer. Samtliga nivåer anges relativt RH2000. Anpassad från WSP (2020).

	Relativt medelvattenytan	2050	2100
100-årshögvatten exkl. vinduppstuvning	1,30 m	1,41 m	1,70 m
Högsta beräknade havsvattenstånd	1,79 m	1,90 m	2,19 m

Höjningen över medelvattenytan för ett 100-årshögvatten och ett högsta beräknat vattenstånd antogs vara 130 cm respektive 179 cm. Vinduppstuvning antogs vara 10 cm. Dessa värden hämtades från samma källor som användes i Swecos studie (2021). Medelvattenytans höjning (till år 2050 och 2100) baserades på SMHI:s prognoser från 2017 och är därmed något lägre än de värden som användes av Sweco (2021), som baserades på nyare prognoser av SMHI.

Utredningen undersökte även hur kombinationen av ett 100-årsflöde i Testeboån och höga havsvattenstånd påverkade vattennivån. Resultatet visas i Figur 4-1. Det framgår av figuren att vattennivån i vattendraget huvudsakligen styrs av havsvattennivån och inte av flödet i ån. Detta gäller framförallt områden närmare havet och längre nerströms ån. Störst effekt på vattennivån får flödet i ån när havsvattennivåerna är låga samt vid områden som är längre uppströms från åmynningen och därmed är längre bort från havet. Vid vattenstånd över cirka 1,2 m är skillnaden cirka 5 cm mellan vattennivån nedströms järnvägsbron och längre upp mot åmynningen.



Figur 4-1 Beräknade vattennivåer vid ett 100-årsflöde i Testeboån i kombination med olika havsvattenstånd. Från WSP (2020).

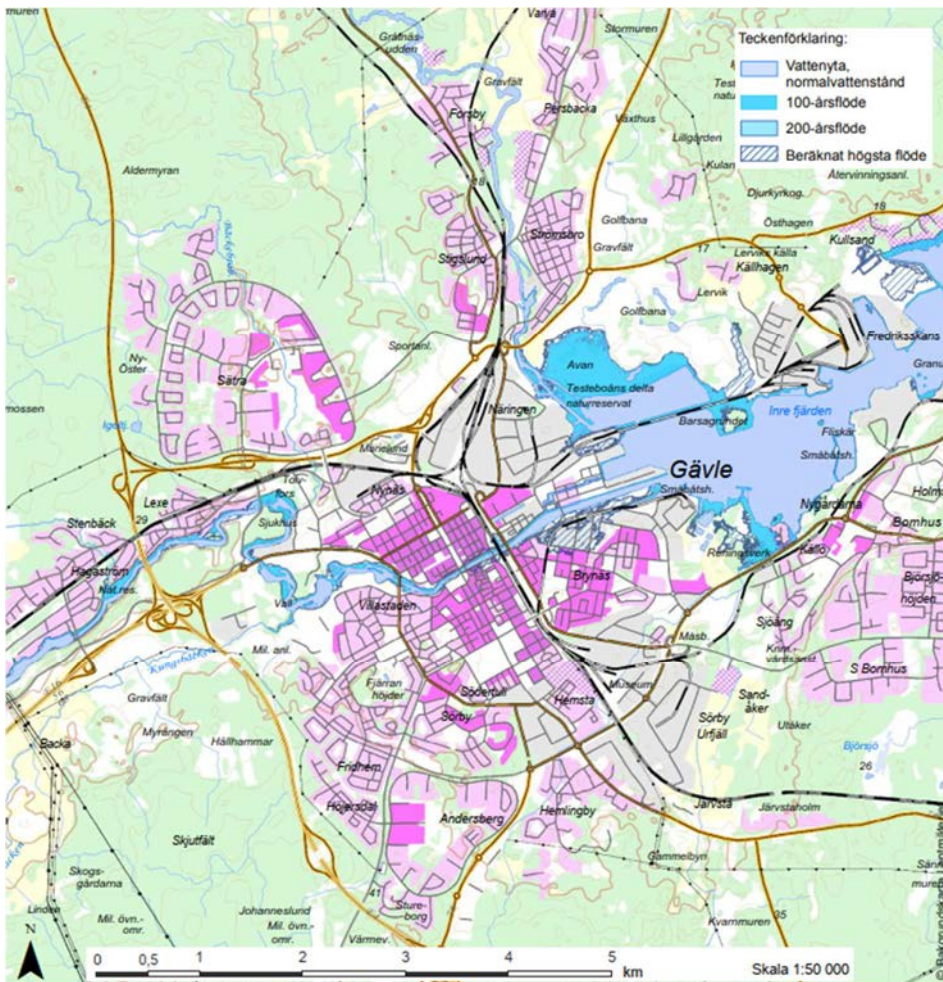
## 4.2 Identifierade riskområden

Vid höga flöden i Gavleån och Testeboån drabbas områden som ligger längs dessa vattendrag, framför allt Hagaström (Gavleån), Strömsbro och Källbacken (Testeboån). Vid ett högsta beräknat flöde i Gavleån drabbas en stor del av norra Brynäs, vilket dock inte sker vid ett högsta beräknat flöde i Testeboån (se Figur 4-2 och Figur 4-3). Detta beror möjligtvis på att olika randvillkor har antagits för havsvattenståndet i de olika studierna. WSP:s utredning visade att det är havsvattenståndet som är styrande för vattennivån nära havet. Det tyder på att det finns en fysisk tröskel vid Brynäs som gör att området inte drabbas vid +1,44 m i RH2000 (randvillkor för havet vid högsta beräknade flöde i Testeboån) men att norra delen översvämmas vid +1,53 m i RH2000 (randvillkor för havet vid högsta beräknade flöde i Gavleån). En annan förklaring är att Brynäs är närmare beläget Gavleån än Testeboån och därför påverkas mer av höga vattenflöden i Gavleån än av höga flöden i Testeboån.

I de båda studierna tycks påverkan på stadsdelen Näringen vara likartad. Östra delen av Näringen förefaller utsatt vid ett 100-årsflöde, vilket motsvarar en havsnivå på +1,14 m i RH2000. Vid en havsnivå på +1,53 m påverkas även ett litet område nära järnvägsbronns fäste.

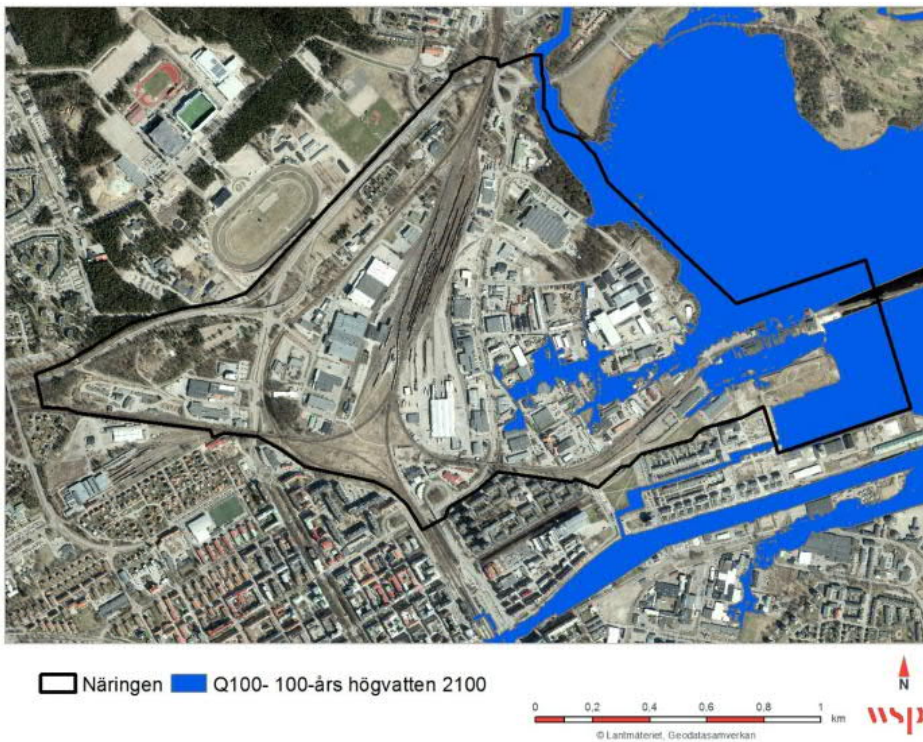


Figur 4-2 Översvämningskartering av Testeboån vid Gävle. Vid 100- och 200-årsflödena är havsvattenståndet 1,14 m i RH2000, vid beräknat högsta flöde är det 1,44 m i RH2000. Från MSB (2015).

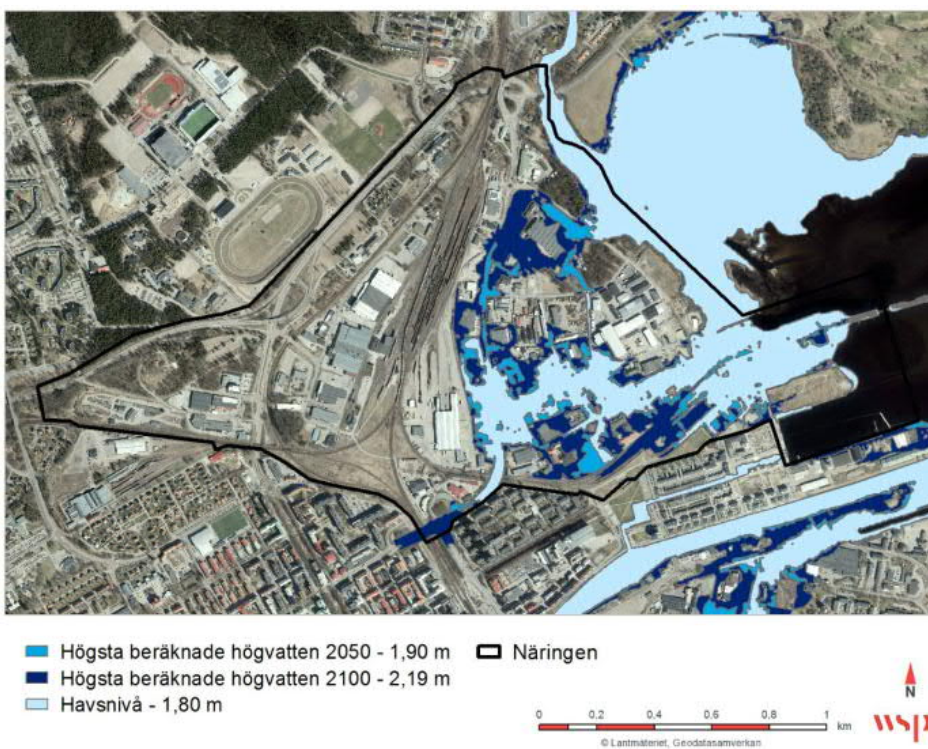


Figur 4-3 Översvämningskartering av Gävleån vid Gävle. Vid 100- och 200-årsflödena är havsvattenståndet 1,14 m i RH2000, vid beräknat högsta flöde är det 1,53 m i RH2000. Från MSB (2020).

Enligt WSP:s studier av Närke innebär en kombination av ett 100-årsflöde i Testeboån och ett havsvattenstånd med 100 års återkomsttid år 2100 att centrala delar av Närke hamnar under vatten, inklusive delar av järnvägsspåret (Figur 4-4). I figuren syns även att delar av norra Brynäs drabbas. Vid högsta beräknat högvatten år 2050 drabbas stora delar av Närke, inklusive stora delar järnvägen och brofästet (Figur 4-5). Vid samma händelse år 2100 börjar vatten flöda in från området närmast Testeboås delta och nästan hela området står under vatten. Stora delar av norra Brynäs påverkas även.



Figur 4-4 Översvämningutbredning vid ett 100-årsflöde kombinerat med ett 100-årshögwater år 2100 (1,70 m i RH2000). Från WSP (2020).



Figur 4-5 Översvämningutbredning av ett 100-årshögwater inklusive vinduppstufning år 2100 (1,80 m i RH2000) samt högsta beräknade vattenstånd år 2050 och år 2100 (1,90 m respektive 2,19 m i RH2000). Från WSP (2020).

## 5 Diskussion

I denna pilotstudie har metodiken som beskrivs i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningsskartering i kustmiljö* för att översiktligt bestämma havsnivåer för översvämningsskartering applicerats på Gävle tätort. Metodiken har varit enkel att använda eftersom bidraget till karteringsnivån av medel-vattenytans läge, regionala högvatten samt lokala effekter hämtas direkt från respektive kartlager beroende på den givna tätortens geografiska läge.

En jämförelse av pilotstudiens översvämningsskartering med en kartering som utfördes av WSP (2020) visar att utbredningen vid liknande havsnivåer blir ganska snarlik. Beräknad nivå motsvarar dock olika återkomsttider och tidsperspektiv i de olika studierna. Exempelvis ger ett 100-årshögvatten år 2100 i pilotstudien (1,97 m i RH2000) ungefär samma utbredning som en beräknad högsta nivå år 2050 i WSP:s studie (1,90 m i RH2000). Pilotstudiens regionala högvatten bygger på samma datakällor som WSP, man har även gjort liknande bedömningar angående lokala effekter (0,1 m vinduppstuvning för WSP jämfört med 0,15 m för pilotstudien). Skillnaden i nivåer härstammar från att olika prognoser för medelvattnytans framtida läge använts, där pilotstudien bygger på SMHI:s senaste värden medan WSP:s studie använder SMHI:s prognoser från 2017.

SMHI:s undersökningar av Gavleån och Testeboån har använt högvattennivåer baserade på data framför allt från Forsmark men även från Björn. Inga egentliga återkomsttider för dessa nivåer anges, och de skiljer sig från de nivåer som används både av WSP och i pilotstudien. Översvämningsskarteringarna från dessa utredningar visar stor påverkan längs Gavleån och Testeboån vid höga vattenflöden men påverkan vid kusten är mycket liten, med undantag för ett högsta beräknat flöde i Gavleån då en del av norra Brynäs översvämmas.

Metodiken för att bestämma randvillkor till pilotstudien tar inte hänsyn till höga flöden i vattendrag. För att göra detta korrekt krävs förutom hydrodynamisk modellering även att en statistisk analys görs för att bestämma sannolikheten av att höga flöden i vattendrag sammanfaller med höga havsnivåer. En sådan analys hamnar därför utanför ramarna för en översiktlig metodik för att bestämma karteringsnivåer för kustöversvämning. Vidare visar WSP:s studie att påverkan av höga flöden i vattendrag på vattennivån nära kusten troligen är liten.

Sammanfattningsvis är metodiken som använts i denna pilotstudie för att bestämma karteringsnivåer enkel att använda. Inga hänsyn tas till påverkan av höga flöden i vattendrag. Det bedöms dock ligga utanför ramarna för en översiktlig kartering, och troligen är det havsvattenståndet som styr vattennivån nära kusten. Jämförelser med tidigare studier visar vikten av korrekta och uppdaterade datakällor, samt att användarens val av högvattenhändelser, tidsperspektiv och klimatscenario kan ha stor påverkan på nivåerna. Detta illustrerar värdet av en tröskelanalys, där utfallet av olika karteringsnivåer enkelt kan jämföras i ett diagram. En viktig slutsats är därmed att användningen av tröskeldiagram som ett komplement till översvämningsskarteringar rekommenderas.



## 6 Referenser

Hieronymus, 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* 2020, 49:1587-1600. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01313-8>

MSB 2015. *Översvämningskartering utmed Testeboån – Sträckan från Åmot till utloppet i Bottenhavet*. Rapport nr. 30

MSB 2018. *Översyn av områden med betydande översvämningsrisk. Enligt förordning (2009:956) om översvämningsrisker*. Publikationsnummer: MSB1152

MSB 2020. *Översvämningskartering utmed Gavleån – Inkluderande Storsjön, Jädraån från Kungsfors samt Hoån från Hofors*. Rapport nr. 21, publicerad 2014, reviderad 2017 och 2020.

SMHI 2017. *Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust*. *Klimatologi* nr. 45.

Sweco 2021. *Tillståndsansökan Nytt ARV Gästrike Vatten*.

WSP 2020. *Översvämningsrisker Näringen – Hav, Testeboån, Skyfall*.

# Pilotstudie Ängelholm

## 1 Inledning

Följande dokument utgör en bilaga till *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö* och syftar till att applicera och utvärdera den metodik för översiktlig kartering av kustöversvämning som presenteras i kapitel 4 i densamma. För närmare beskrivning av metoden hänvisas läsaren till huvudrapporten.

Utvärderingen inleds med att föreslagen metodik tillämpas för att ta fram karteringsnivåer, därefter sker kartering enligt metodik beskriven i MSB (2018). I tillägg till denna kartering utförs även en analys av fysiska tröskelnivåer i Ängelholm för att illustrera hur valet av karteringsnivå påverkar utfallet. En mer detaljerad beskrivning av arbetsmetodiken beskrivs i kapitel 5 huvudrapporten. I tillägg till dessa analyser sker en genomgång av tidigare studier med avseende på karteringsnivåer och identifierade riskområden.

Avslutningsvis utvärderas den tillämpade metodiken genom att jämföra resultat av föreliggande kartering med resultat från tidigare studier. Det huvudsakliga målet med pilotstudien är att utvärdera och anpassa föreslagen metodik för att säkerställa arbetsmetoden är robust, träffsäker och applicerbar på nationell nivå.

## 2 Tillämpning av metodik

I följande kapitel tillämpas den metodik som presenteras i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö*.

### 2.1 Medelvattenytans läge

Medelvattenytans läge år 2100 har hämtats från kartlagret *Medelvattenyta*.

För tillämpning och kartering har övre percentilen i klimatscenario SSP5-8,5 för år 2100 använts. För Ängelholm kommun motsvarar detta ett prognosticerat läge av medelvattenytan på +112 cm i RH2000.

### 2.2 Regionala högvatten

I huvudrapporten presenteras högvattennivåer på regional skala. Värden finns tillgängliga för återkomsttider på 100 år och 200 år samt för en beräknad högsta nivå (BHN). Kartlagret *Högvattenregimer* nyttjas för att hämta ut värden för aktuell högvattenregim.

För Ängelholms tätort uppgår nivåerna till:

- +176 cm (100-årshögvatten)
- +184 cm (200-årshögvatten)
- +210 cm (BHN)

Samtliga nivåer anges relativt medelvattenytan.

## 2.3 Lokala effekter

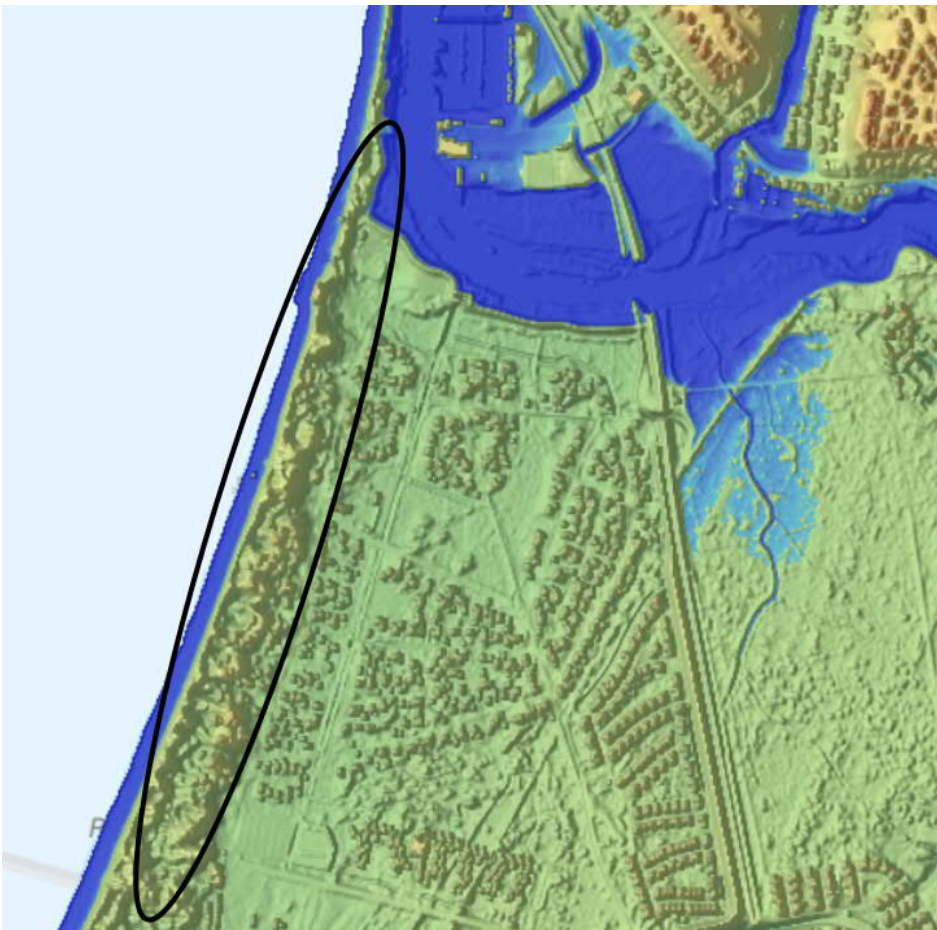
Inom ramen för *pilotstudien* har en översiktlig indelning gjorts av Sveriges kust med avseende på lokala effekter som kan påverka högvattennivån. De effekter som tagits hänsyn till är vinduppstuvning och vågeffekter. Kartlagret *Lokala effekter* nyttjas för att se om lokala effekter på vattenståndet kan förväntas.

För Ängelholms kommun bedöms lokala effekter öka högvattennivån med totalt 75 cm, varav vinduppstuvning utgör 50 cm och vågeffekter utgör ytterligare 25 cm.

## 2.4 Erosion

Enligt kartlagret *Erosion* föreligger risk för erosion i Ängelholm.

Kartverket visar att sanddynssystemet vid Klitterhus utgör ett översvämningsskydd för stadsdelen Havsbaden, se Figur 2-1. Dynerna har en lägsta höjd av cirka + 2,8 - 2,9 meter. Över dessa nivåer finns andra kända inströmningsvägar till området, se kapitel 3.2 och kapitel 4.2.



Figur 2-1 Topografisk karta över Havsbaden vid Rönne ås mynning utanför Ängelholm. I väst syns dynsystemets höjdrygg längs kusten (svart markering). Illustration av Lantmäteriets höjddata, skärmbild från Scalgo Live.

## 3 Resultat

### 3.1 Karteringsnivåer

I Tabell 3-1 sammanfattas de havsnivåer som har bestämts för Ängelholms tätort utifrån ovan tillämpad metod.

Tabell 3-1 Karteringsnivåer för Ängelholm år 2100 som har bestämts med metoden som beskrivs i huvudrapporten till detta PM.

Högvattenhändelse	Nivå (RH2000)
100-årshögvatten	+363 cm
200-årshögvatten	+371 cm
Beräknad högsta nivå	+397 cm

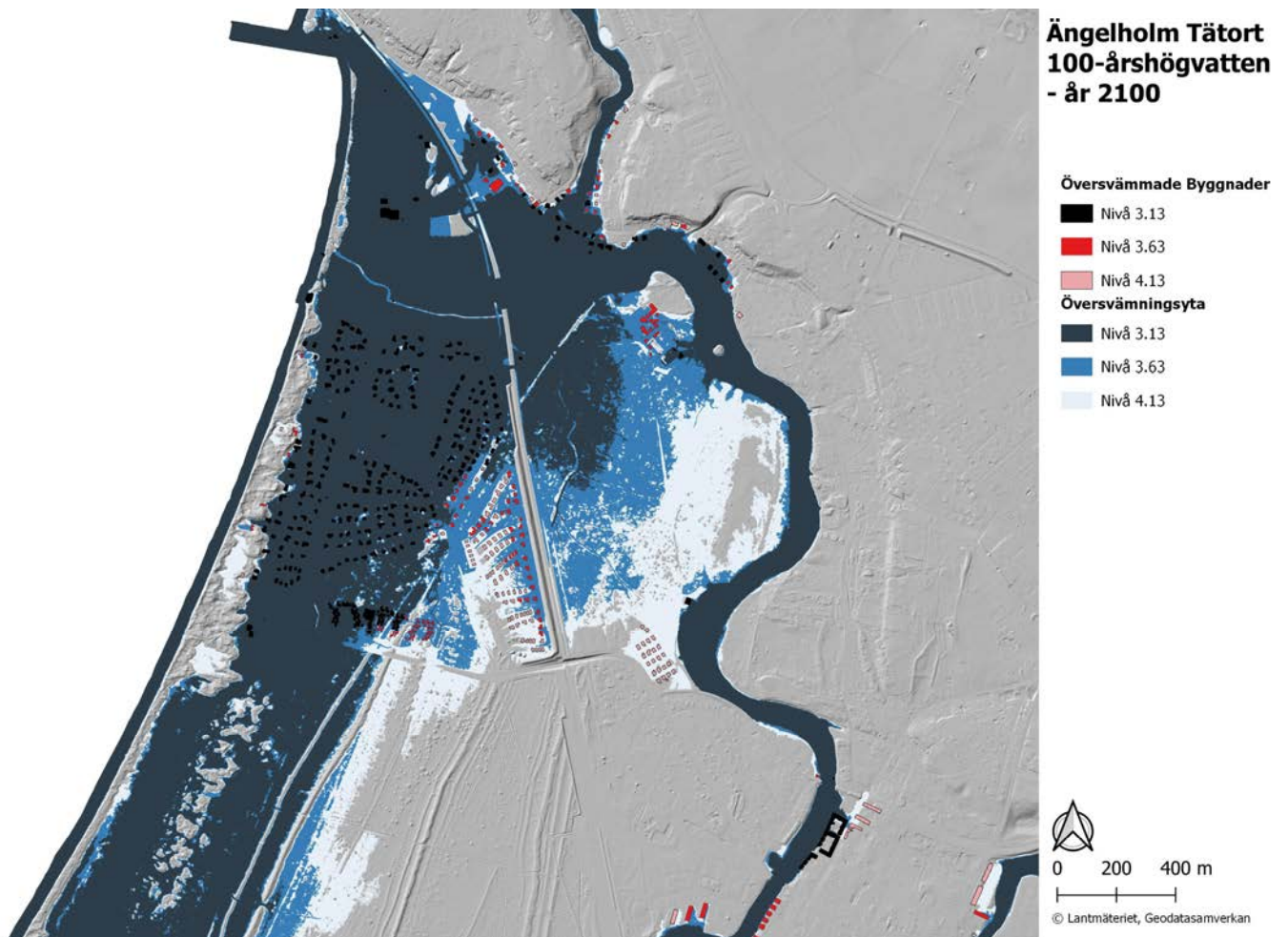
I karteringen behöver hänsyn tas till risken för översvämning på grund av akut erosion. Detta beskrivs mer ingående i kapitel 3.2.1.

### 3.2 Översvämningskartering

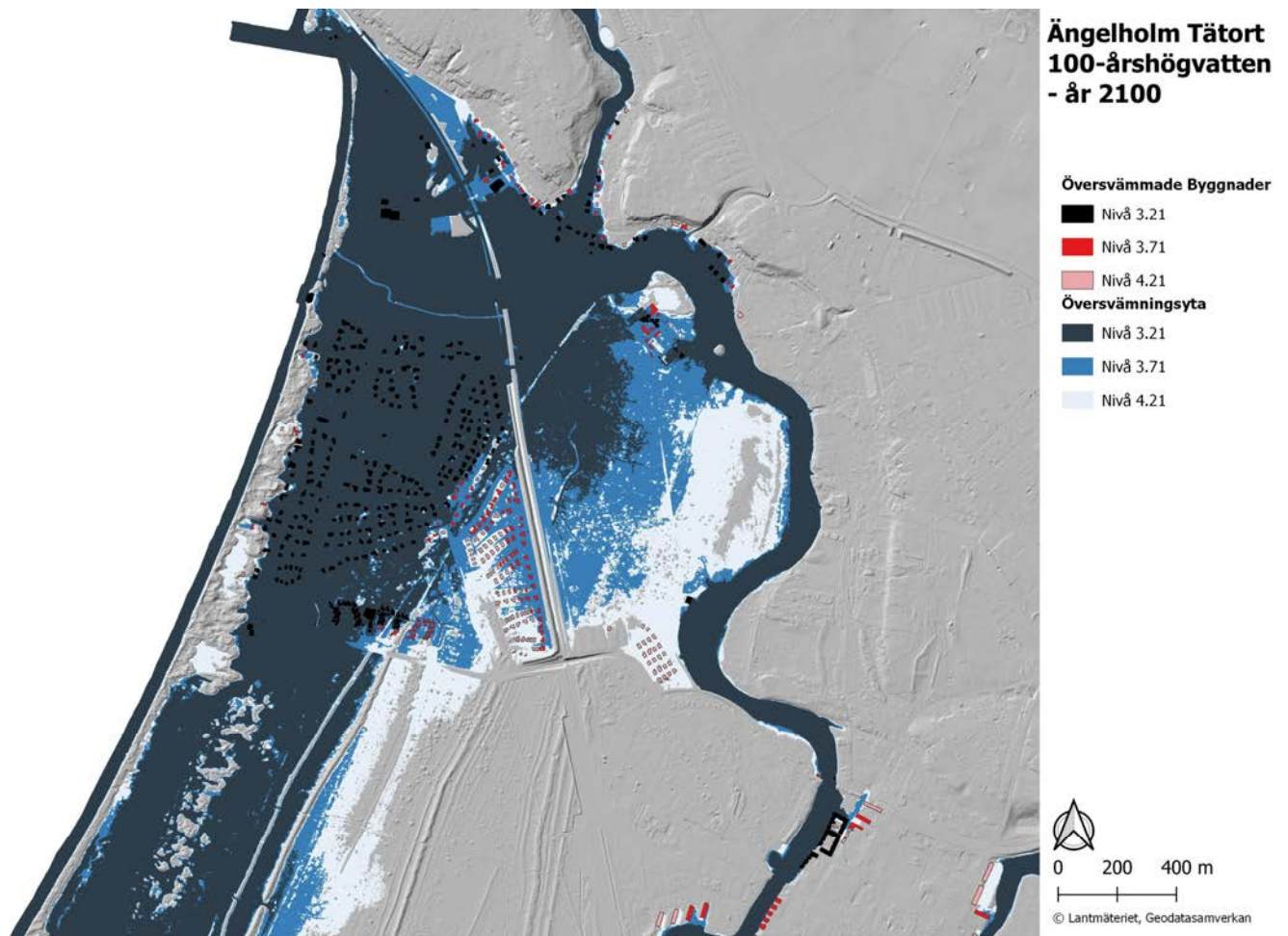
I Figur 3-1 – Figur 3-3 visas översvämningsutbredningen för de karteringsnivåer som presenteras i Tabell 3-1. I kartmaterialet har även byggnader som drabbas vid respektive nivå markerats. För samtliga figurer visas utöver karteringsnivå även översvämningsutbredningen vid 0,5 m under och över respektive karteringsnivå.

I samtliga figurer är det området Havsbaden som riskerar att påverkas först och av högst vattennivåer. Mer än hälften av byggnaderna i detta område svämmas över 0,5 m under ett 100-årshögvatten år 2100. Även byggnader längs Rönne å riskerar att påverkas, dock inte i lika stor utsträckning.

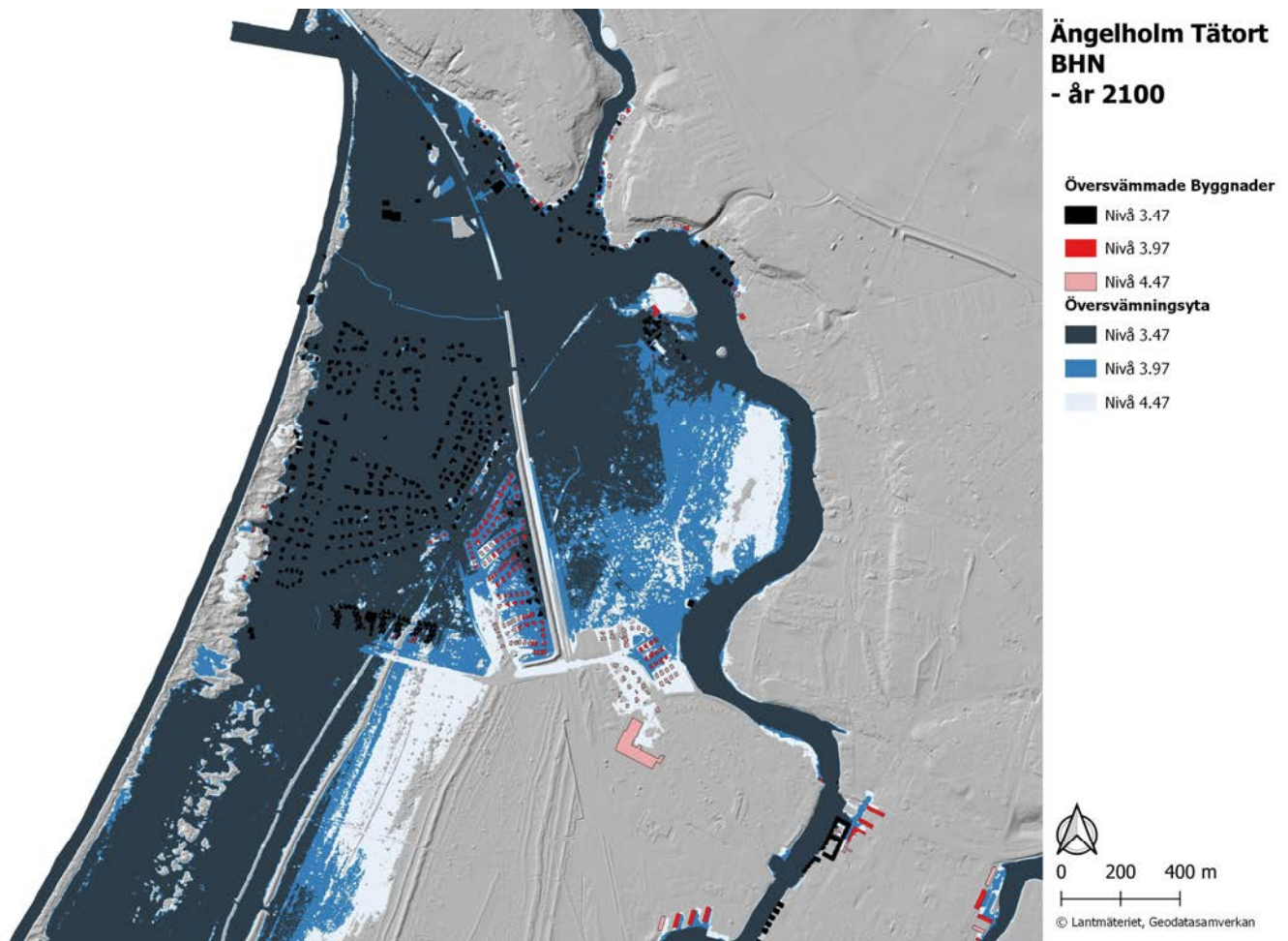
Sammanfattningsvis tyder denna översvämningskartering på att Ängelholm är ett riskområde för översvämningar år 2100, framför allt området Havsbaden men även längs Rönne å.



Figur 3-1 Översvämningsutbredning vid ett 100-årshögsvatten år 2100 (3,63 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



Figur 3-2 Översvämningsutbredning vid ett 200-årshögsvatten år 2100 (3,71 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



Figur 3-3 Översvämningsutbredning vid en beräknad högsta nivå år 2100 (3,97 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.

### 3.2.1 Erosionsrisk

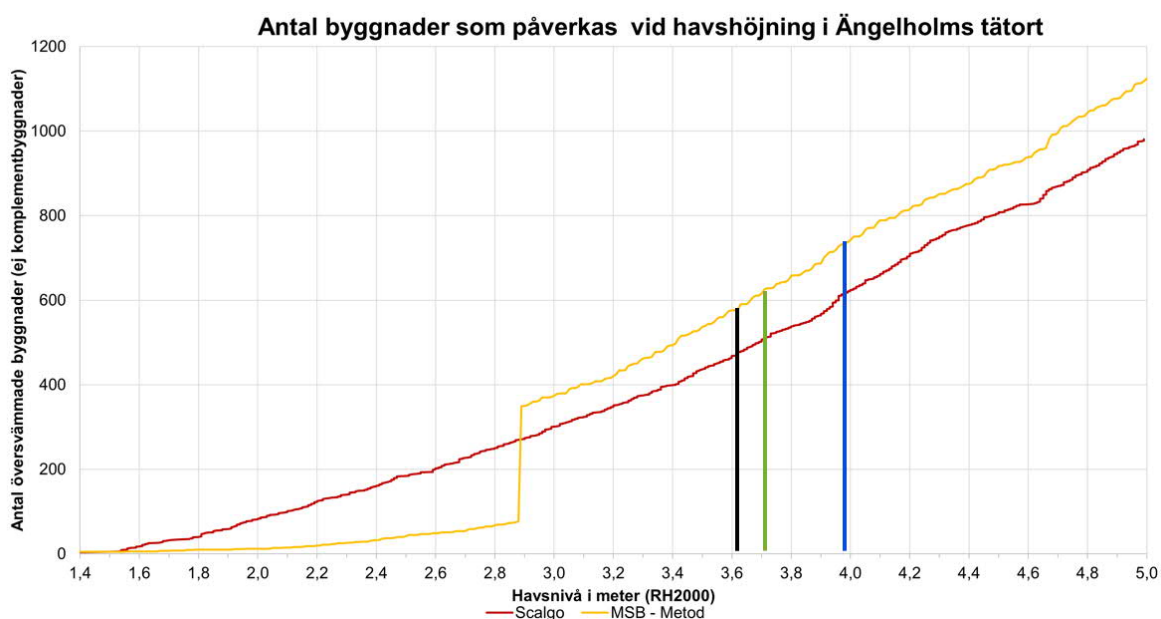
De sanddynor som löper längs Ångelholms kustlinje utgör en höjdrygg som skyddar bakomliggande stadsdel Havsbaden från översvämnningar vid havsnivåer som understiger cirka +2,8 m, se Figur 2-1. Över denna nivå finns andra inströmningsvägar till Havsbaden, så att dynorna då inte utgör ett skydd. I föreliggande kartering överstiger randvillkoren +2,8 m, vilket innebär att dynorna vid högvattenhändelser runt år 2100 inte utgör översvämningskydd. På kortare sikt föreligger dock risk att akut erosion kan öka risken för översvämnningar. Hänsyn måste tas till att dynornas skyddande funktion bibehålls och att erosionsförhållanden längs dynorna följs noga över tid så att eventuella svaga punkter i dynsystemet kan förhindras eller åtgärdas.

### 3.3 Tröskelanalys

Tröskelanalysen sammanfattas i Figur 3-4. De två karteringsmetodernas resultat skiljer sig åt, där MSB:s metod uppvisar en fysisk tröskel vid cirka +2,9 m över vilken antalet påverkade byggnader ökar betydligt. Vid området Havsbaden finns en skyddsvall som i nuläget skyddar området mot översvämnning vid havsnivåer upp till cirka +2,85 m, detta gäller dock bara om kulverten som går under vallen är stängd. I den kartering som utförts med

Scalgo har kulvertar antagits vara öppna, medan MSB-metoden inte innehåller någon information om kulvertar eller dylika korrigeringar av höjdmodellen. Därmed uppvisar de två metoderna stora skillnader för Ängelholm, och det framgår att det gör stor skillnad för tröskelanalysen om kulvertar antas vara öppna eller stängda i höjdmodellen.

Under tröskeln vid Havsbaden påvisar Scalgo en jämn ökning av påverkade byggnader. Över tröskeln ger Scalgo ett lägre antal påverkade byggnader vid ett givet havsvattenstånd. Detta beror huvudsakligen på att Scalgo-karteringen definierar en byggnad som översvämmad om dess centerpunkt ligger under vatten. I MSB-metoden har en byggnad definierats som översvämmad så snart byggnaden kommer i kontakt med vattenytan, vilket ger ett mer konservativt resultat.



Figur 3-4 Tröskelanalys för Ängelholms tätort. Svart, grön och blå stapel markerar havsnivån vid ett 100-årshögvatten, ett 200-årshögvatten respektive beräknad högsta nivå.

Tabell 3-2 visar antalet byggnader som drabbas vid de karteringsnivåer som visas i Tabell 3-1, samt antalet byggnader som drabbas vid nivåer 0,5 m under och över respektive högvattenhändelse. Denna tabell bygger på analysen gjord i Scalgo. Ur Figur 3-4 framgår det inte finns några större trösklar vid havsnivåer i detta spann, utan antalet påverkade byggnader ökar relativt jämnt.

Tabell 3-2 Antal byggnader som drabbas vid olika högvattenhändelser baserat på Scalgo. En känslighetsanalys presenteras genom att även visa antalet byggnader som drabbas en halv meter under och över en given högvattenhändelse. Komplementbyggnader inkluderas ej i analysen.

Högvattenhändelse	-0,5 m	Drabbade vid aktuell nivå	+0,5 m
100-årshögvatten	334	479	674
200-årshögvatten	352	512	712
Beräknad högsta nivå	427	614	798



## 4 Tidigare studier

Sweco har utfört flertalet uppdrag i Ängelholm relaterat till kustöversvämning. I föreliggande kapitel presenteras först de mest uppdaterade karteringsnivåerna inklusive bedömningar av påverkan från höga flöden i Rönne å samt vind- och vågeffekter. Därefter redovisas de riskområden som identifierats i Ängelholm i olika utredningar.

### 4.1 Karteringsnivåer

#### Sweco PM Högvattenberäkningar Ängelholm 2021

På uppdrag av Ängelholms kommun beräknade Sweco (2021a) högvattennivåer i Ängelholm i ett framtida klimat. Nivåerna karterades inte, men har inkluderats här för jämförelse med pilotstudiens resultat. Återkomstnivåer hämtades från en frekvensanalys som gjordes av LTH och bygger på mätvärden i Magnarp, cirka 5 km nordväst om Ängelholm. Tidsserien från Magnarp kompletterades med mätvärden från Viken genom regressionsanalys för att få en längre dataserie.

För medelvattenytans framtida läge användes SMHI:s prognoser från 2021. Klimatscenariot var RCP8,5 och nivån som användes var den övre nivån i SMHI:s konfidensintervall. Vind- och våguppstuvning inkluderas i mätvärden från Magnarp och därmed även i högvattennivåerna, men det bör noteras att Ängelholm ligger längre in i Skälderviken och därför sannolikt har en högre vinduppstuvning. Detta kan även gälla våguppstuvning. Explicita värden på vind- och våguppstuvning eller våguppstuvning gavs inte.

En sammanfattning av nivåerna ges i Tabell 4-1. Notera att medelvattenytan år 2100 är mycket snarlik den som anges i kapitel 2.1, men att 100-årshögvattnet år 2100 är 20 cm lägre i Sweco (2021a) jämfört med pilotstudien.

Tabell 4-1 Havsvattenstånd vid olika högvattennivåer idag och i framtiden. Alla nivåer anges relativt RH2000. Anpassad från Sweco (2021a).

Havsvattenstånd	Rel. MVY	Idag	År 2050	År 2100
Medelvattenstånd	-	7 cm	41 cm	115 cm
50-årshögvatten	208	215 cm	256 cm	330 cm
100-årshögvatten	224	231 cm	272 cm	346 cm

#### Sweco PM Modellbeskrivning Rönneå

Inom ramen för ett examensarbete på LTH togs en hydraulisk modell över Rönneå fram år 2020 (Inamdeen, 2020) som Sweco beskrev i PM i samråd med LTH och Ängelholms kommun (Sweco, 2021b). Randvillkor till modellen utgjordes av flöden i Rönneå som har beräknats av SMHI, samt havsvattenstånd baserat på data från mätstationen i Magnarp.

Olika kombinationer av höga flöden och höga havsvattenstånd användes i modelleringen för att undersöka hur översvämningsutbredningen påverkades, vilket närmare beskrivs i kapitel 4.2.

Ett av modellresultaten berörde det relativa bidraget av havsvattenståndet och flödet i Rönneå till vattennivån vid ett visst avstånd från Rönne ås mynning ut i Skälderviken. Genom dominansanalys av varierande flöde i vattendraget och

varierande havsvattenstånd kunde deras relativa bidraget till vattennivån vid olika lägen i Rönne å bestämmas. Resultatet sammanfattas i Tabell 4-2. Ur tabellen framgår att havsnivån är en känslig parameter nära åmynningen som är styrande för vattennivån. Ett ökat flöde i ån ger med andra ord inte upphov till större översvämning nära havet.

Tabell 4-2 Relativ påverkan av flöde respektive havsvattenstånd på beräknat vattenstånd i olika delar av Rönne å. Från Sweco (2021b)

Relativ påverkan %		
Läge (m, uppströms)	Havsnivå	Flöde
1 000	91,7	8,3
2 000	83,7	16,3
3 000	74,6	25,4
4 000	66,8	33,2

### Sweco Skälderviken vågmodell

Sweco har tidigare upprättat en vågmodell över Skälderviken (Sweco, 2019). Vågmodellen bygger bland annat på högupplöst djupdata från inmätningar av Ängelholms kust och modellen kalibrerades mot tillgängliga vågdata från SMHI:s urdrifftagna station Laholmsbukten boj. Vinddata hämtades från SMHI:s station i Glommen.

Baserat på en uppskattning gjord av SMHI ansattes vinduppstuvning till 44 cm. Detta gäller för Magnarp, som ligger cirka 5 km närmare Skäldervikens mynning jämfört med Ängelholm. I rapporten noterades att vinduppstuvningen längre in i Viken sannolikt är högre.

Rapporten beräknade även våguppspolningshöjden längs kusten i Ängelholms kommun. Våguppspolningshöjden består av våguppstuvning och våguppspolning, där det först nämnda är en lokal ökning av vattennivån på grund av vågeffekter och det sist nämnda är ett mått på hur högt upp på land en viss procentandel av vågorna kan nå.

Våguppspolningen beräknades till mellan 1 och 3 m över stillvattenytan. Denna effekt kommer att alltså att vara betydande vid områden som ligger direkt vid kustlinjen och är exponerade för vågpåverkan. Så som metodiken i föreliggande kartering är utformad så underskattas vågeffekterna mycket kraftigt då endast våguppstuvning beaktas (25 cm). I områden som ligger skyddade från vågpåverkan kommer både våguppspolning och våguppstuvning vara mycket liten, exempelvis i den lägre delen av Rönne ås mynning. Att öka stillvattenytan med 25 cm för att inkludera vågeffekter kan i dessa områden leda till att karteringsnivån höjs för mycket.

## 4.2 Identifierade riskområden

### Sweco PM Kartlager för översvämning från hav

År 2020 tog Sweco fram GIS-material över översvämningsutbredningen i Ängelholm vid olika havsvattenstånd i syfte att användas i kommunens interna webbGIS-system (Sweco, 2020). Figur 4-1 visar utbredningen av ett 100-årshögvattnet år 2100 enligt det kartmaterialet som togs fram. Jämfört med högvattenberäkningarna som utfördes av Sweco (2021a) så användes äldre prognoser över medelvattenytans stigning och 100-årshögvattnet år 2100

inklusive vinduppstuvning bedömdes uppgå till +3,04 m i RH2000. Karteringen visar att Havsbaden är ett riskområde för kustöversvämning.

### Sweco Översvämningsskydd Havsbaden

Inom ramen för ett uppdrag att ta fram översvämningsskydd för bostadsområdet Havsbaden identifierade Sweco (2019) inströmningsvägar till området. Dessa visas i Figur 4-2. Den tidigaste inströmningsvägen har en nivå på +2,8 m (RH2000) och ligger söder om området, därefter följer Flygaretunneln som går under E22:an, som ligger på +2,9 m (se Figur 4-2). Flygaretunneln utgör den tröskel som identifierades i tröskelanalysen i kapitel 3.3. Under denna tröskelnivå skyddar dynerna Havsbaden från översvämning.



Figur 4-1 Översvämningsskydd vid ett 100-årshögvattnet år 2100 (+3,04 m i RH2000).  
Från Sweco (2020).



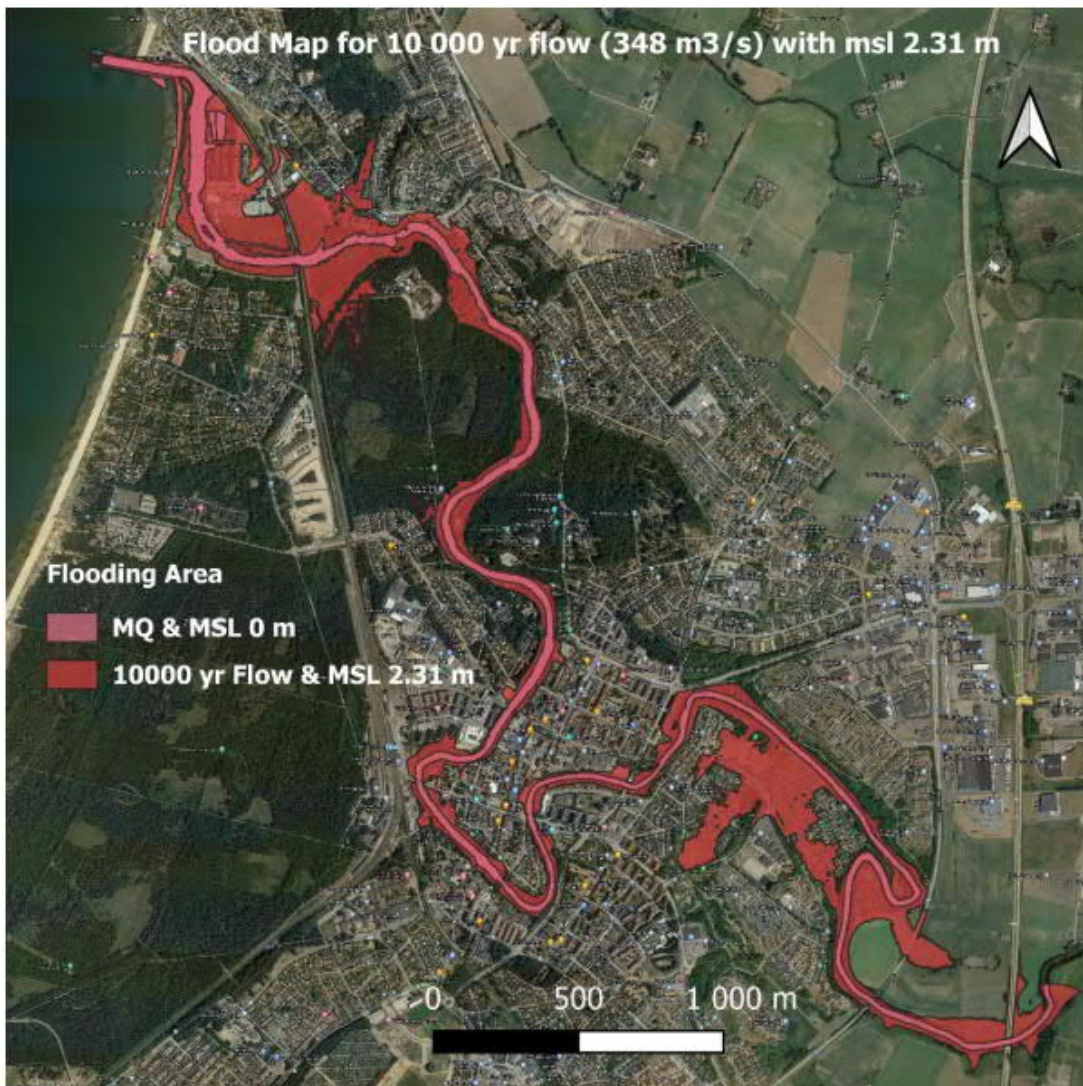
Figur 4-2 Identifierade inströmningsvägar till Havsbaden och tillhörande tröskelnivåer (RH2000). Från Sweco (2019).

### Sweco PM Modellbeskrivning Rönne å

Vid översvämningskarteringen av Rönne å undersöktes olika kombinationer av höga flöden i ån och höga vattenstånd i havet (Sweco, 2021). Figur 4-3 visar kombinationen av ett 1000-årsflöde i ån och ett havsvattenstånd på +2,31 m (RH2000), Figur 4-4 visar samma havsvattenstånd men med ett 10 000-årsflöde. En jämförelse av figurerna visar att översvämningsutbredningen nära åmynningen är mycket snarlik trots ett mycket högre flöde i Rönne å i Figur 4-4. Det bekräftar resultaten som presenterades i Tabell 4-2, nämligen att det är havsnivån som är styrande för översvämningsutbredningen nära kusten, även vid höga flöden i Rönne å.



Figur 4-3 Översvämningssutbredning vid ett 1000-årsflöde med en vattennivå på +2,31 m (RH2000), motsvarande ett 100-årshögvattnet, i Skälderviken. Rosa fält visar vattenytan vid medelflöde. Från Sweco (2021b).



Figur 4-4 Översvämningsutbredning vid ett 10 000-årsflöde med en vattennivå på +2,31 m (RH2000), motsvarande ett 100-årshögvatten, i Skalderviken. Rosa fält visar vattenytan vid medelflöde. Från Sweco (2021b).

## 5 Diskussion

I denna pilotstudie har metodiken som beskrivs i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö* för att översiktligt bestämma havs-nivåer för översvämningskartering applicerats på Ängelholms tätort. Metodiken har varit enkel att använda eftersom bidraget till karteringsnivån av medel-vattenytans läge, regionala högvatten samt lokala effekter hämtas direkt från respektive kartlager beroende på den givna tätortens geografiska läge.

### 5.1.1 Karteringsnivå

En jämförelse av pilotstudiens översvämningskartering med den kartering som utfördes av Sweco 2020, samt de högvattennivåer som beräknades av Sweco (2021a) visar på skillnader i bedömning av ett 100-årshögvatten år 2100. I föreliggande pilotstudie bedöms denna händelse uppgå till +3,63 m i RH2000, medan Swecos tidigare utredningar bedömt samma händelse till +3,46 m (Sweco, 2021a) och +3,04 m (Sweco, 2020). Detta förklaras framför allt av att

utredningarna skiljer sig med avseende på 100-årshögvattnets höjning över medelvattenytan. Längre tidsserier finns inte i närheten av Ängelholm, i stället har olika bedömningar använts av 100-årshögvattnet. Relativt medelvattenytan uppgår de olika bedömningarna till 224 cm (Sweco 2021a), 238 cm (Sweco 2019) och 251 cm (denna pilotstudie).

Bedömningen av vinduppstuvning i pilotstudien (50 cm) är mycket lik den vinduppstuvning som bedömts i Swecos tidigare studier på 44 cm. En stor skillnad med pilotstudien jämfört med tidigare studier är inkluderingen av våguppstuvning som en komponent av högvattennivån. Här har 25 cm adderats, vilket förklarar pilotstudiens högre högvattennivå. Detta bidrag överskattar troligtvis högvattennivån i områden som skyddas från vågeffekter, exempelvis Rönne å och Skäldervikens hamn. Samtidigt underskattas våguppstuvning i de områden som ligger i vågexponerade lägen längs kusten. Vågeffekter har därmed visat sig vara en svår parameter att inkludera då dess effekt är mycket lokal.

I pilotstudien har ingen hänsyn tagits till höga flöden i Rönne å. Modellen som beskrevs av Sweco (2021b) indikerar dock att det är havsvattenståndet som styr översvämningsutbredningen närmast åmynningen. Att ta hänsyn till höga flöden samtidigt som höga havsvattenstånd kräver dessutom, förutom hydraulisk modellering, även en sannolikhetsanalys för att göra uttalanden om hur sannolikt det är att sådana händelser sammanfaller, vilket faller utom ramarna för en översiktlig översvämningskartering. Därför bedöms metodiken som använts i pilotstudien vara fullgod för att bestämma karteringsnivåer för kustöversvämning.

### 5.1.2 Kartering, tröskelanalys och erosion

En viktig slutsats från denna pilotstudie är att höjdmodellens kvalitet och inkludering av eventuella flödeshinder är av stor betydelse för utfallet av en översvämningskartering. I tröskelanalysen som presenteras under kapitel 3.3 framgår det att antalet byggnader som riskerar att påverkas vid en högvattennivå av cirka +2,8 m (RH2000) skiljer sig kraftigt beroende på om kulvertar bedöms vara öppna eller stängda. I tröskelanalysen som baseras på Scalgo Live, där korrigeringar av höjdmodellen skett, blir utfallet av denna kartering betydligt högre än med den konventionella karteringsmetoden (MSB-metoden) för nivåer upp till tröskeln på +2,85 m. Scalgo Live har automatiskt korrigerat höjdmodellen enligt antagande om att det finns en kulvert som löper mellan Havsbaden och Rönne å. Om denna kulvert i praktiken är öppen eller stängd under högvatten utreds inte i denna studie, men det kan konstateras att det påverkar översvämningsrisken. Detta faktum påverkar dock inte slutsatsen av denna kartläggning – Ängelholm är ett område med risk för översvämning.

Denna pilotstudie kan även konkludera att sanddynerna i Ängelholm (mer specifikt i Klitterhus) har en viktig funktion, och utan dem hade översvämning sannolikt kunnat ske vid betydligt lägre nivåer än idag. Vid studier av översvämningsrisken i Ängelholm bör därmed hänsyn tas till akut erosion genom någon typ av kustteknisk modell (empirisk modell eller eventuellt hydrodynamisk).

### 5.1.3 Sammanfattning

Sammanfattningsvis bedöms metodiken som använts i denna pilotstudie vara enkel att applicera. Ovanstående diskussion belyser vikten av korrekta och uppdaterade datakällor, särskilt avseende framtida medelvattenstånd och högvattennivåer, eftersom detta kan ha stor effekt på utfallet vid översvämningskartering.

Studien illustrerar vidare värdet av att utföra en tröskelanalys där utfallet av olika karteringsnivåer enkelt kan jämföras i ett diagram. Av detta diagram framgår att det finns eventuella hinder för översvämning (exempelvis genom kulverteringar) och en viktig slutsats är därmed att användningen av tröskeldiagram som ett komplement till översvämningsskartering är värdefullt.

Föreliggande studie har tydligt belyst svårigheterna med att översätta vågverkan till en fast nivå. Effekterna av vågor i Ängelholm är mycket lokal. Längs stränderna ger de upphov till våguppspolning som kan medföra att vatten spolas upp 1-3 meter högre än högvattenståndet. Den metodik som applicerats medför en förändrad riskklassning och en ökad karteringsnivå av 0,25 meter. Studien visar tydligt att denna bedömning är trubbig, och riskerar att ge en felaktig uppskattning av översvämningens utbredning.



## 6 Referenser

Inamdeen, F. 2020. *Evaluation of Local Scour along Rönne å at Ängelholm – Application of detailed bathymetric data in combination with HEC RAS modeling*. Lund: TVRL, LTH.

MSB 2018. *Översyn av områden med betydande översvämningsrisk. Enligt förordning (2009:956) om översvämningsrisker*. Publikationsnummer: MSB1152

Sweco 2019. *Skälderviken vågmodell*.

Sweco 2020. *Kartlager för översvämnning från hav*.

Sweco 2021a. *PM Högvattenberäkningar Ängelholm*.

Sweco 2021b. *PM Modellbeskrivning Rönneå*.

# Pilotstudie Kalmar

## 1 Inledning

Följande dokument utgör en bilaga till *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö* och syftar till att applicera och utvärdera den metodik för översiktlig kartering av kustöversvämning som presenteras i kapitel 4 i densamma. För närmare beskrivning av metoden hänvisas läsaren till huvudrapporten.

Utvärderingen inleds med att föreslagen metodik tillämpas för att ta fram karteringsnivåer, därefter sker kartering enligt metodik beskriven i MSB (2018). I tillägg till denna kartering utförs även en analys av fysiska tröskelnivåer i Kalmar för att illustrera hur valet av karteringsnivå påverkar utfallet. En mer detaljerad beskrivning av arbetsmetodiken beskrivs i kapitel 5 huvudrapporten. I tillägg till dessa analyser sker en genomgång av tidigare studier med avseende på karteringsnivåer och identifierade riskområden.

Avslutningsvis utvärderas den tillämpade metodiken genom att jämföra resultat av föreliggande kartering med resultat från tidigare studier. Det huvudsakliga målet med pilotstudien är att utvärdera och anpassa föreslagen metodik för att säkerställa arbetsmetoden är robust, träffsäker och applicerbar på nationell nivå.

## 2 Tillämpning av metodik

I följande kapitel tillämpas den metodik som presenteras i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningskartering i kustmiljö*.

### 2.1 Medelvattenytans läge

Medelvattenytans läge år 2100 har hämtats från kartlagret *Medelvattenyta*.

För tillämpning och kartering har övre percentilen i klimatscenario SSP5-8,5 för år 2100 använts. För Kalmar kommun motsvarar detta ett prognosticerat läge av medelvattenytan på +113 cm i RH2000.

### 2.2 Regionala högvatten

I huvudrapporten presenteras högvattennivåer på regional skala. Värden finns tillgängliga för återkomsttider på 100 år och 200 år samt för en beräknad högsta nivå (BHN). Kartlagret *Högvattenregimer* nyttjas för att hämta ut värden för aktuell högvattenregim.

För Kalmars tätort uppgår nivåerna till:

- +118 cm (100-årshögvatten)
- +123 cm (200-årshögvatten)
- +155 cm (BHN)

Samtliga nivåer anges relativt medelvattenytan.

## 2.3 Lokala effekter

Inom ramen för pilotstudien har en översiktlig indelning gjorts av Sveriges kust med avseende på lokala effekter som kan påverka högvattennivån. De effekter som tagits hänsyn till är vinduppstuvning och vågeffekter. Kartlagret *Lokala effekter* nyttjas för att se om lokala effekter på vattenståndet kan förväntas.

För Kalmars kommun förväntas varken vinduppstuvning eller vågeffekter under extrema högvattenhändelser.

## 2.4 Erosion

Enligt kartlagret *Erosion* föreligger ingen risk för erosion i Kalmars kommun.

## 2.5 Tröskelanalys

Utöver att definiera randvillkor för översvämningskartering har även en tröskelanalys utförts för att undersöka förekomst av eventuella topografiska trösklar. Med tröskel menas här en högvattennivå där en förhållandevis liten skillnad i nivå innebär en relativt stor ökning av antalet drabbade byggnader.

Tröskelanalysen har utförts genom att undersöka antalet byggnader som påverkas av översvämning vid varje centimeter för havsnivåer mellan 1,4 m och 5 m (RH2000). Två karteringsmetoder har använts för att bestämma antalet översvämmade byggnader. Den ena metoden används av MSB för översvämningskarteringar. Den andra metoden bygger på analysverktyget SCALGO, som är en statisk modell för översvämningskartering som bygger på Lantmäteriets höjdmmodell *Markhöjdmmodell grid 1+*. Resultatet presenteras i ett diagram där områdets högvattennivåer även anges som referensnivåer.

# 3 Resultat

## 3.1 Karteringsnivåer

I Tabell 3-1 sammanfattas de havsnivåer som har bestämts för Kalmars tätort utifrån ovan tillämpad metod.

Tabell 3-1 Karteringsnivåer för Kalmar år 2100 som har bestämts med metoden som beskrivs i huvudrapporten till detta PM.

Högvattenhändelse	Nivå (RH2000)
100-årshögvatten	+231 cm
200-årshögvatten	+236 cm
Beräknad högsta nivå	+268 cm

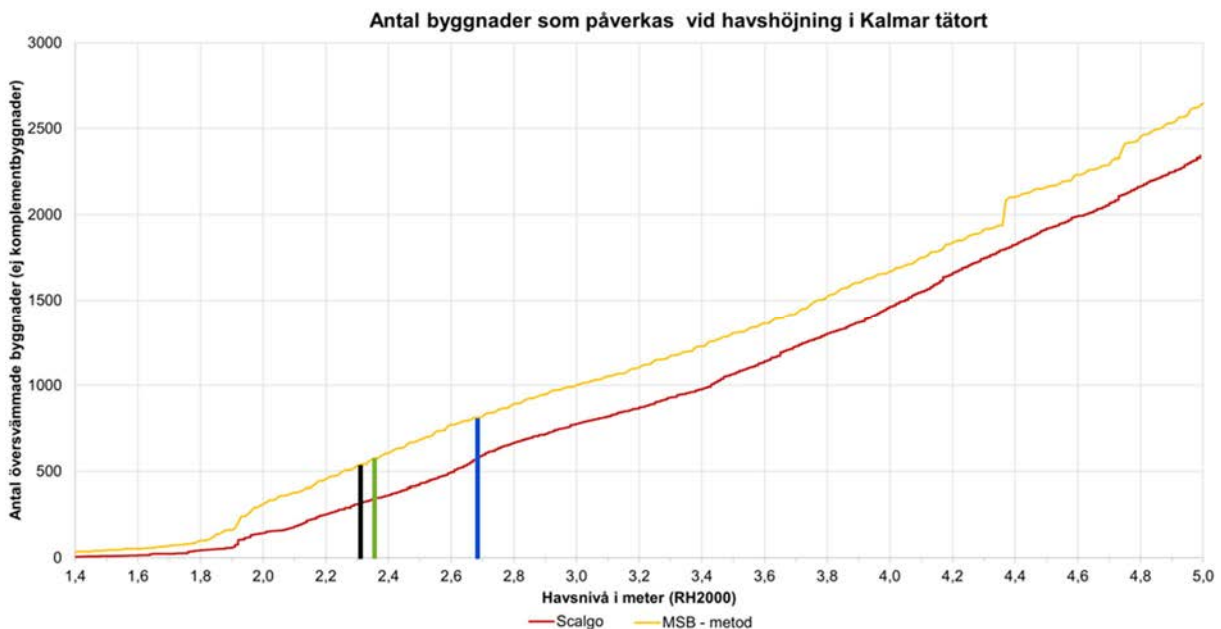
I karteringen behöver hänsyn ej tas till översvämning på grund av erosion eftersom förutsättningar för detta är låga eller saknas i Kalmar tätort.

## 3.2 Tröskelanalys

Resultat från utförd tröskelanalysen sammanfattas i Figur 3-1, där antalet påverkade byggnader visas på y-axeln och karteringsnivå (RH2000) på x-axeln.

Tröskelanalysen är utförd med två olika metoder och de två resultaten i tröskelanalysen skiljer sig åt beroende på metodval. MSB:s metod ger ett högre antal drabbade byggnader vid ett givet havsvattenstånd. Detta beror huvudsakligen på att karteringen som baseras på Scalgo Live definierar en byggnad som översvämmad om dess centerpunkt ligger under vatten.

För MSB-metoden kan tre trösklar ses, vid cirka +1,9 m, +4,4 m och +4,7 m (RH2000). Tröskeln vid +1,9 m kan också urskiljas i Scalgo-metoden men den är något lägre.



Figur 3-1 Tröskelanalys för Kalmar tätort. Svart, grön och blå stapel markerar havsnivån vid ett 100-årshögvatten, ett 200-årshögvatten respektive beräknad högsta nivå.

Tabell 3-2 visar antalet byggnader som drabbas vid de karteringsnivåer som visas i Tabell 3-1, samt antalet byggnader som drabbas vid nivåer 0,5 m under och över respektive högvattenhändelse. Utfallet skiljer sig inte mycket åt mellan 100- och 200-årshögvatten jämfört med den beräknade högsta nivån.

Tabell 3-2 Antal byggnader som drabbas vid olika högvattenhändelser baserat på SCALGO. En känslighetsanalys presenteras genom att även visa antalet byggnader som drabbas en halv meter under och över en given högvattenhändelse. Komplementbyggnader inkluderas ej i analysen.

Högvattenhändelse	-0,5 m	Drabbade vid aktuell nivå	+0,5 m
100-årshögvatten	43	321	673
200-årshögvatten	49	348	702
Beräknad högsta nivå	245	577	862

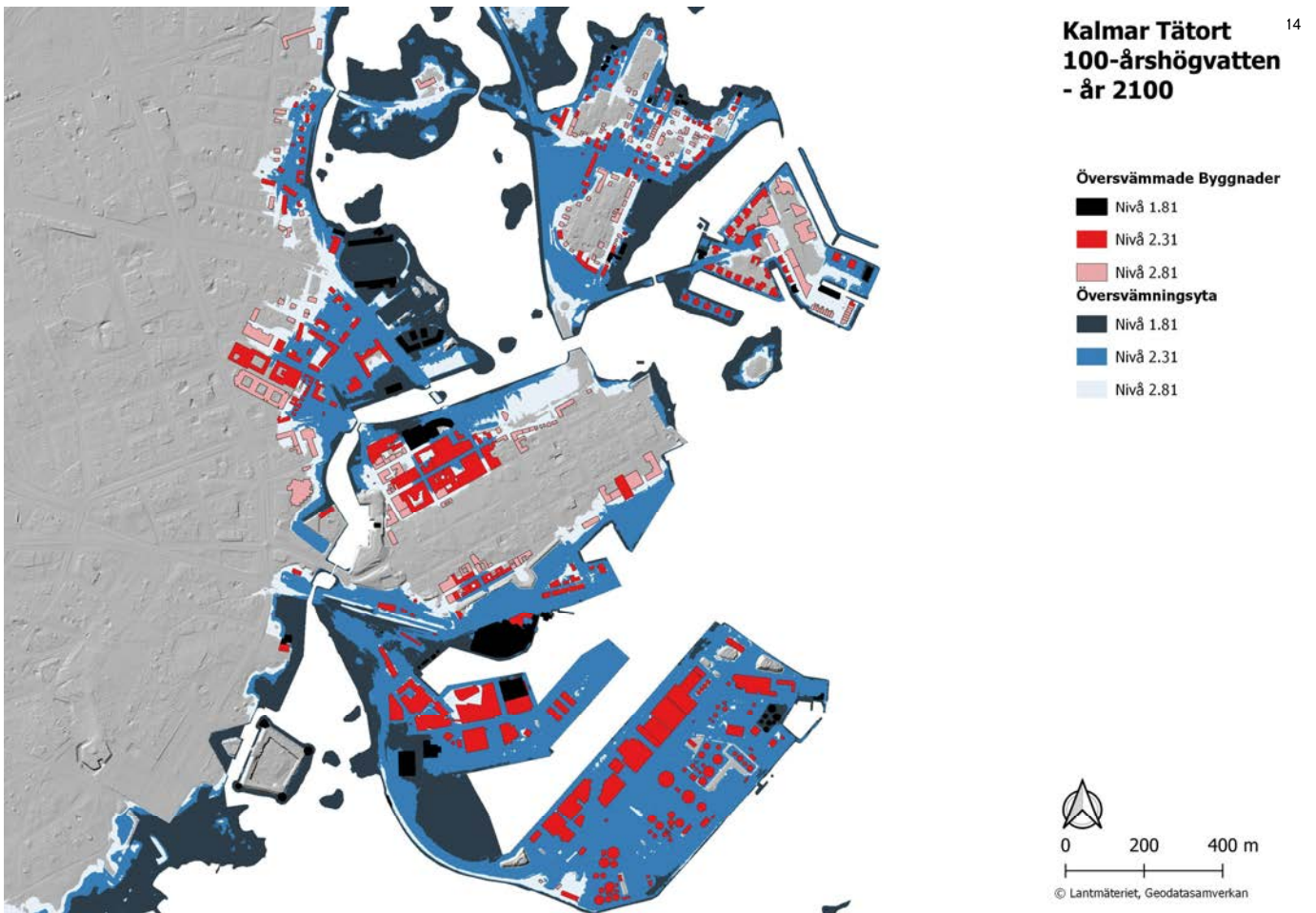
För alla högvattenhändelser gör en halvmeters skillnad i havsnivån åt endera håll däremot stor skillnad för antalet drabbade byggnader. Generellt blir skillnaden mellan utfallen större när vattennivån är 0,5 m över aktuell nivå än när den är 0,5 m under samma nivå. Det kan konstateras att karteringsnivån är en känslig parameter vid kartering av översvämning i Kalmar tätort, och en felbedömning av 0,5 meter kan påverka slutresultatet avsevärt. Det gäller särskilt vid nivåer runt +1,9 m. I föreliggande kartering kan det dock konstateras att den föreslagna metoden på ett tillfredsställande vis identifierar översvämningsriskerna i Kalmar.

### 3.3 Översvämningskartering

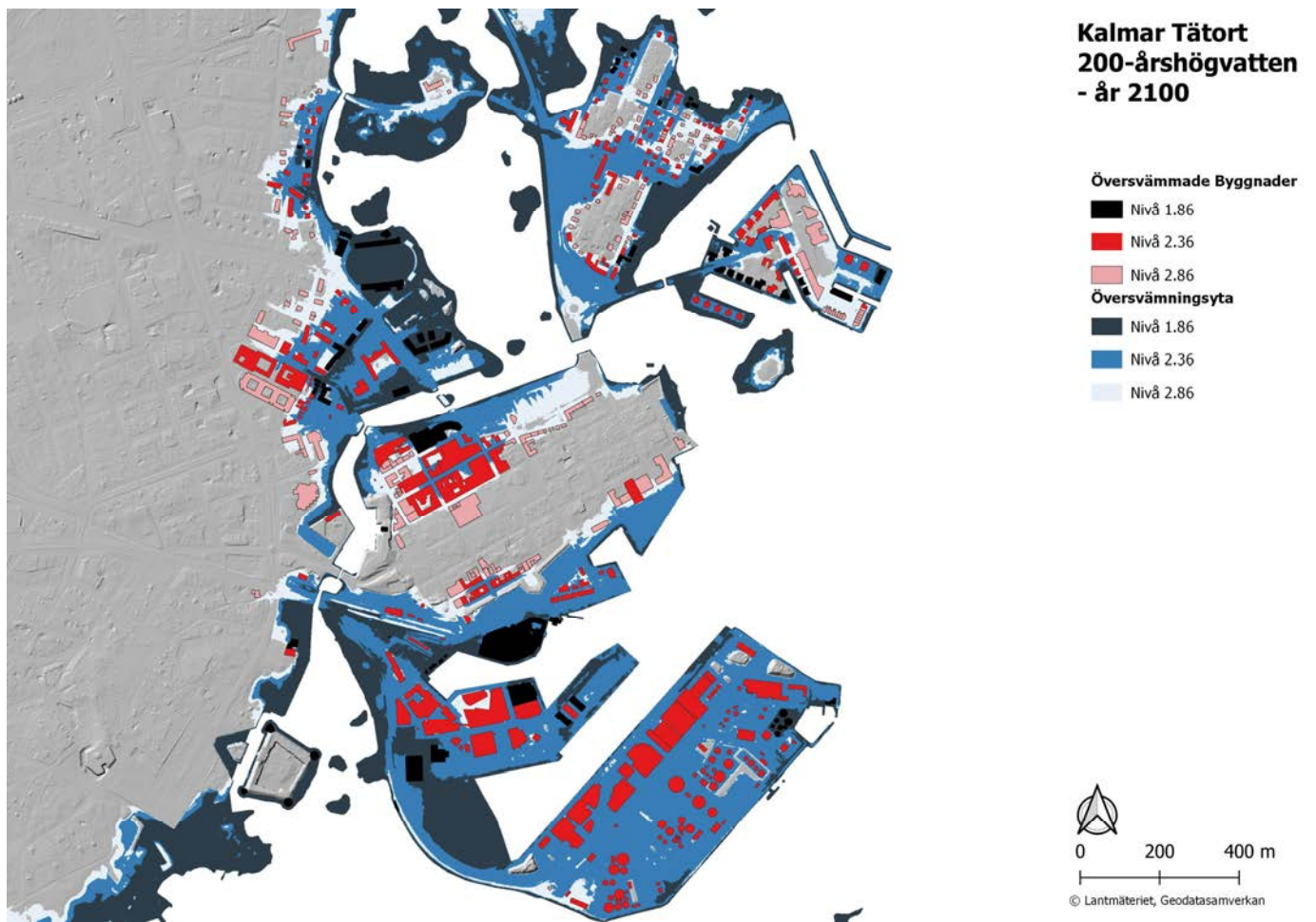
Figur 3-2 - Figur 3-4 visar översvämningsutbredningen för karteringsnivåerna som bestämts i Tabell 3-1, samt byggnader som drabbas vid respektive nivå. För samtliga figurer visas utöver karteringsnivå även översvämningsutbredningen vid 0,5 m under och över respektive högvattennivå.

Vid ett 100-årshögvatten påverkas nästan hela hamnområdet, vilket innefattar järnvägscentralen liksom universitetsområdet. Centrala delar av Kalmar påverkas av översvämningar, vilket skulle leda till stora samhällsstörningar. Skillnaden med ett 200-årshögvatten är marginell.

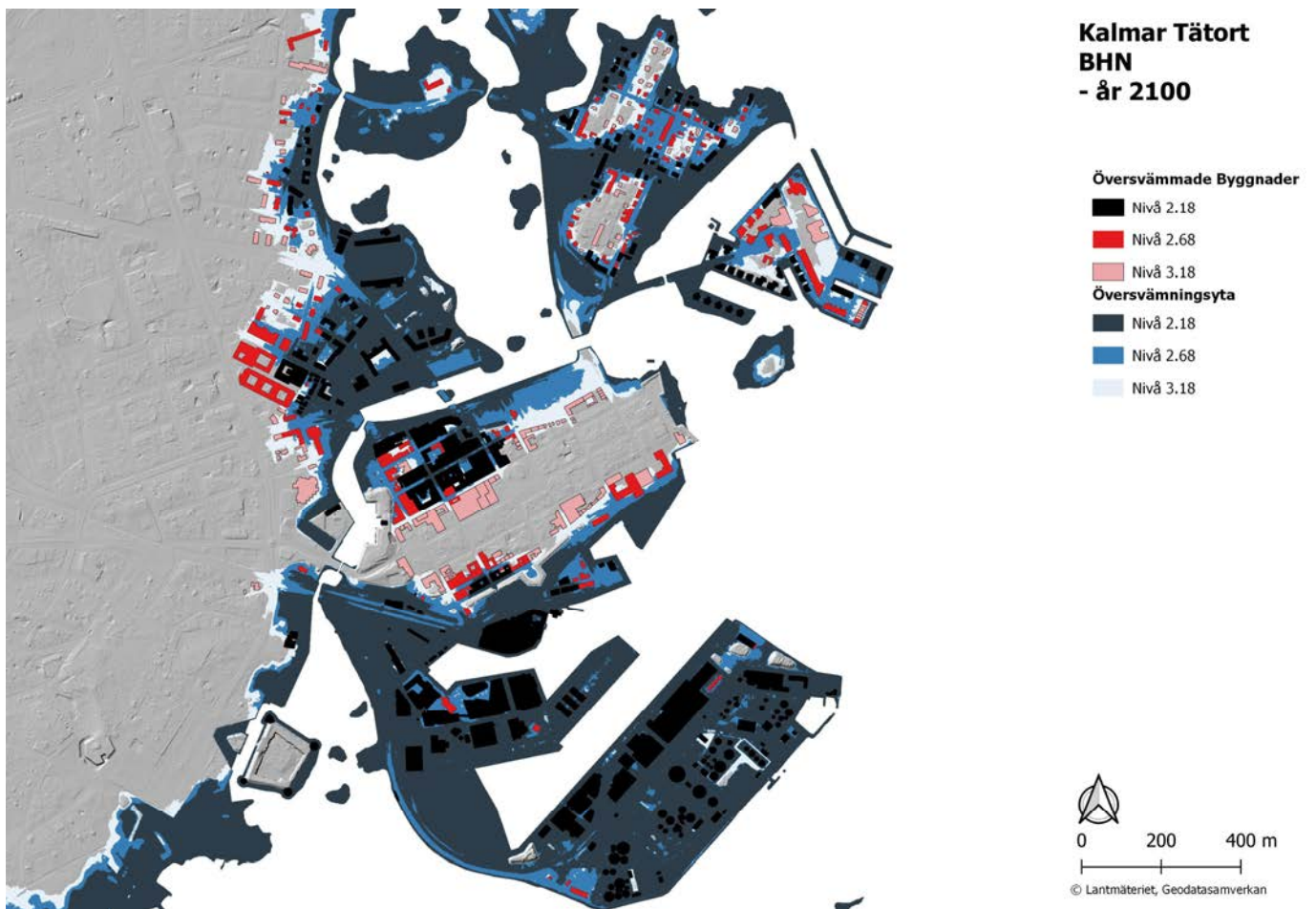
Vid en beräknad högsta nivå (+2,68 m i RH2000) är utbredningen större, med nästan hela Ängön och Kvarnholmen under vatten och stora delar av centrala Kalmar har påverkats. Enligt kartorna tycks dock den stora ökningen av översvämningsutbredningen ske mellan +1,8 m och +2,3 m (RH2000), vilket sammanfaller med den identifierade tröskeln i detta intervall i tröskelanalysen.



Figur 3-2 Översvämningsutbredning vid ett 100-årshögvatten år 2100 (2,31 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



Figur 3-3 Översvämningsutbredning vid ett 200-årshögsvatten år 2100 (2,36 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.



Figur 3-4 Översvämningsutbredning vid en beräknad högsta nivå år 2100 (2,68 m i RH2000) samt utbredningen när vattenståndet är en halv meter högre eller lägre. Drabbade byggnader vid respektive nivå visas även.

Sammanfattningsvis tyder pilotstudien på att Kalmar kommer att vara ett riskområde för kustöversvämningar.

## 4 Tidigare studier

### 4.1 Karteringsnivåer

Inom ramen för Förordningen om översvämningsrisker (SFS 2009: 956) tog Länsstyrelsen i Kalmar län fram en riskhanteringsplan för Kalmar (Länsstyrelsen Kalmar, 2021). Bland annat gjordes översvämningskarteringar för höga havsvattenstånd i Kalmar år 2100. Till grund för karteringsnivåerna låg de beräkningar av återkomstnivåer som SMHI utförde på uppdrag av MSB år 2018. Dessa nivåer utgör samma underlag som använts i metodiken som beskrivs i huvudrapporten till detta dokument, och är därmed samma nivåer relativt medelvattentytan som använts i pilotstudien (se kapitel 2.2).

Framtida medelvattennivå baserades på klimatscenariot RCP8,5, vilket är snarlikt det som har använts i pilotstudien, men prognoserna kommer från IPCC:s femte rapport, AR5, och är således utdaterade. För 100- och 200-årshögvattnet utgick rapporten från medianvärdet i konfidensintervallet, medan



högsta beräknade nivå utgick från övre nivån i konfidensintervallet (83:e percentilen). Nivåerna som användes sammanfattas i Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Högvattennivåer i Kalmar, relativt medelvattenytan samt relativt RH2000 år 2100. Från SMHI (2018).

	Relativt medelvattenytan	År 2100 (RH2000)
100-årshögvatten	118	185
200-årshögvatten	123	190
Beräknad högsta nivå	155	246

Riskhanteringsplanen nämner inte vind- eller vågeffekter, ej heller risken för erosion. Dessa faktorer har ej heller tagits hänsyn till i SMHI:s skattning av högvattennivåer i Kalmar (SMHI, 2018).

## 4.2 Identifierade riskområden

Nedan visas karteringen av ett 100-årshögvatten (Figur 4-1) och den beräknade högsta nivån (Figur 4-2) för Kalmar år 2100. Dessa kartor har tagits fram av MSB, men hänvisas till i riskhanteringsplanen. Ett 100-årshögvatten har snarlik utbredning som 0,5 m under 100-årshögvattnet enligt pilotstudien (se Figur 3-2). Vid denna nivå påverkas mindre områden i centrala Kalmar, däribland Fredriksskans IP, området vid Universitetskajen samt östra Ängön. Länsstyrelsens bedömning är att bostäder för cirka 140 personer påverkas, samtidigt som flera vägar som är av vikt för blåljusverksamhet riskerar problem med framkomlighet. Även kulturminnen riskeras drabbas, däribland Kalmar slott

Vid en beräknad högsta nivå drabbas centrala delar av Kalmar av översvämning, däribland järnvägsstationen, 1800 personers bostäder, samhällsviktiga verksamheter inom skola, vård och omsorg samt delar av dagvattensystemet och VA-nätet. De framkomlighetsproblem som uppstår vid ett 100-årshögvatten blir mycket värre vid beräknad högsta nivå. Cirka 480 arbetsplatser med runt 2700 anställda påverkas enligt Länsstyrelsen.



Figur 4-1 Översvämningsutbredning i Kalmar tätort vid ett 100-årshögvatten år 2100 (+1,85 m i RH2000). Från Länsstyrelsen i Kalmar (2021).



Figur 4-2 Översvämningsutbredning i Kalmar tätort vid en beräknad högsta nivå år 2100 (+2,46 m i RH2000). Från Länsstyrelsen i Kalmar (2021).

Sammanfattningsvis är Kalmar ett riskområde för översvämning vid ett havsvattenstånd på +1,85 m, motsvarande ett 100-årshögvatten år 2100. Vid högre nivåer, exempelvis vid +2,46 m som motsvarar en beräknad högsta nivå år 2100, riskerar Kalmar drabbas av stora störningar och många människor påverkas av översvämningar.

## 5 Diskussion

I denna pilotstudie har metodiken som beskrivs i huvudrapporten *Pilotstudie Kustöversvämning – Metodutveckling och pilotprojekt för översvämningsskartering i kustmiljö* för att översiktligt bestämma havs-nivåer för översvämningsskartering applicerats på Kalmars tätort. Metodiken har varit enkel att använda eftersom bidraget till karteringsnivån av medel-vattenytans läge, regionala högvatten samt lokala effekter hämtas direkt från respektive kartlager beroende på den givna tätortens geografiska läge.

Pilotstudien och Länsstyrelsen Kalmar läns underlag för regionala högvatten utgörs av samma källa, nämligen de extremvärdesanalyser som utfördes av SMHI år 2018. Varken pilotstudien eller riskhanteringsplanen har tagit hänsyn till vind- och vågeffekter eller erosion.

Däremot används olika prognoser för medelvattenytan, där pilotstudiens siffror är mer uppdaterade. Utöver detta utgår man från olika nivåer i konfidensintervallet, vilket sammantaget innebär att det skiljer nästan en halv meter mellan 100-årshögvattnet i pilotstudien jämför med riskhanteringsplanen. Det illustrerar vikten av användarens val, där exempelvis olika klimatscenario eller konfidensintervall kan leda till mycket olika utfall.

Trots denna skillnad identifierar båda studier Kalmar som ett riskområde avseende kustöversvämning runt år 2100.

Sammanfattningsvis är metodiken som använts i denna pilotstudie för att bestämma karteringsnivåer enkel att använda. Ovanstående diskussion visar vikten av korrekta och uppdaterade datakällor, samt att användarens val av högvattenhändelser, tidsperspektiv och klimatscenario kan ha stor påverkan på nivåerna. Detta illustrerar värdet av en tröskelanalys, där utfallet av olika karteringsnivåer enkelt kan jämföras i ett diagram. En viktig slutsats är därmed att användningen av tröskeldiagram som ett komplement till översvämningsskarteringar rekommenderas.

## 6 Referenser

Länsstyrelsen Kalmar 2021. *Riskhanteringsplan för Kalmar 2022 – 2027 – Enligt Översvämningförordningen SFS 2009:956.*

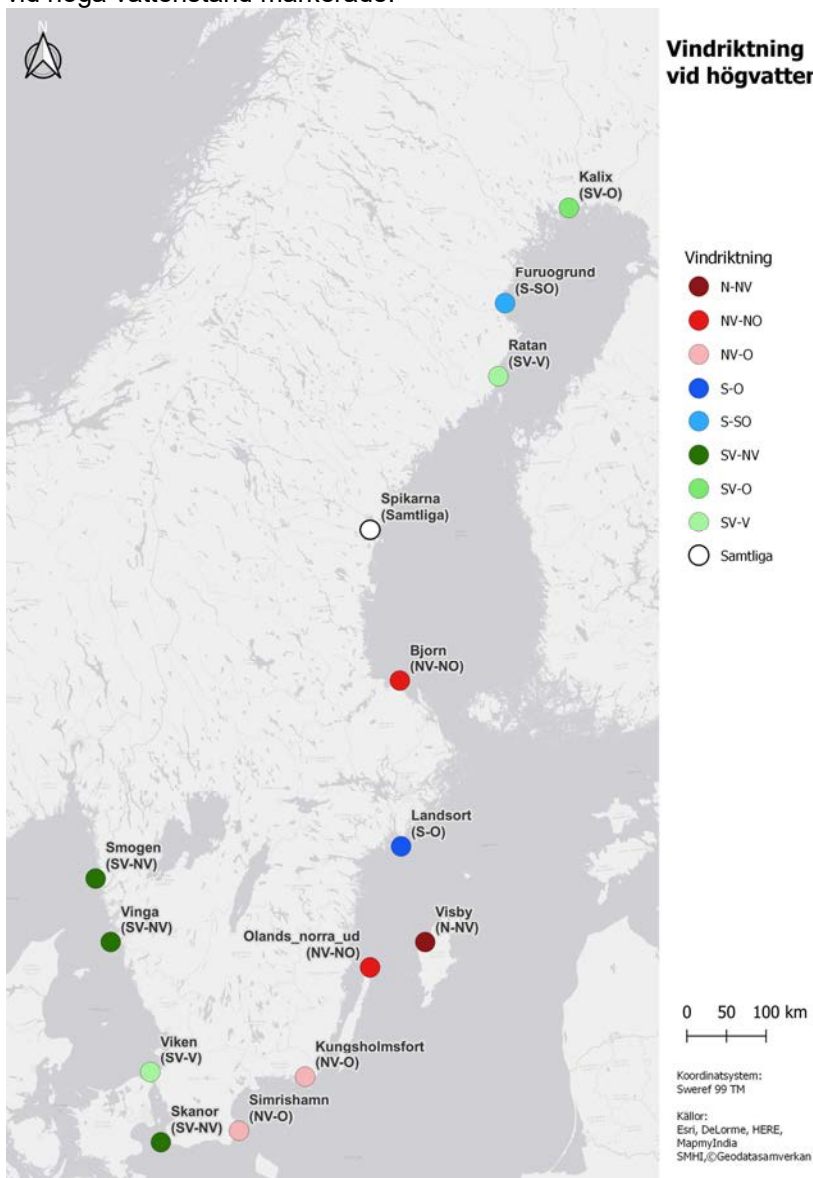
MSB 2018. *Översyn av områden med betydande översvämningrisk. Enligt förordning (2009:956) om översvämningrisker.* Publikationsnummer: MSB1152

SMHI 2018. *Extremvattenstånd i Kalmar.*

# Korrelation mellan vind- och extrema vattenstånd

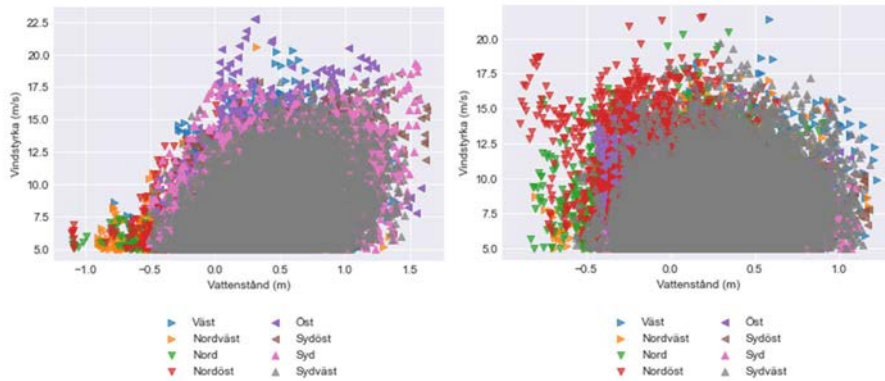
För att undersöka samvariationen mellan vindstyrka, vindriktning och havsvattenstånd har 14 vattenståndsstationer och närliggande väderstationer valts ut längs kusten. För varje tidssteg i tidsserierna har vindstyrkan och havsvattenståndet lagts in i ett diagram, med färgade symboler för att visa vindstyrkan. Stationerna visas i Figur 1, med de förhärskande vindriktningarna vid höga vattenstånd markerade.

Upprättad av: Charlie van Houwelingen  
 Uppdragsnummer: 30036603  
 Uppdrag: MSB Metodutveckling Kust  
 Kund: MSB  
 Uppdragsledare: Maja Coghlan

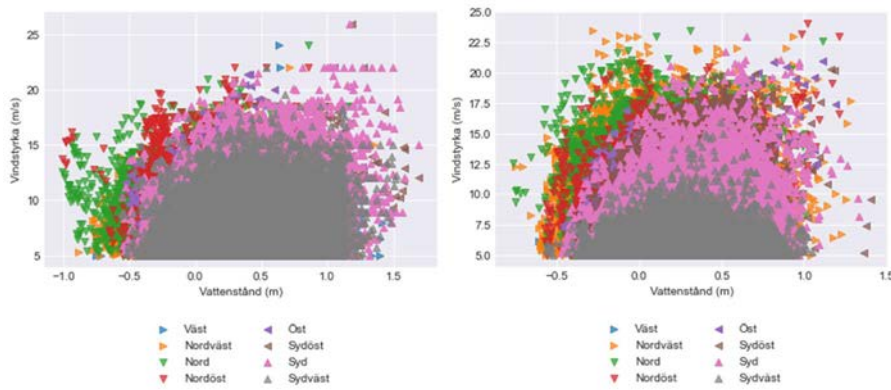


Figur 1 Stationer där samvariation mellan havsvattenstånd och vind har undersökts. Stationernas namn samt förhärskande vindriktning vid höga vattenstånd visas för samtliga stationer

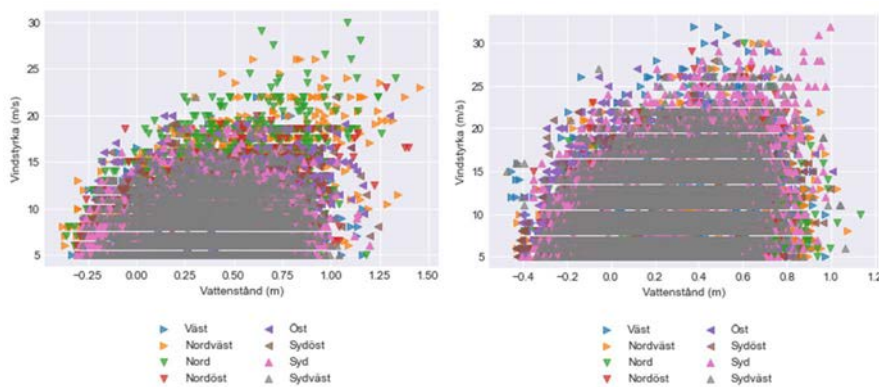
Figur 2 – Figur 8 nedan visar resultaten från samtliga väder- och vattenståndsstationer.



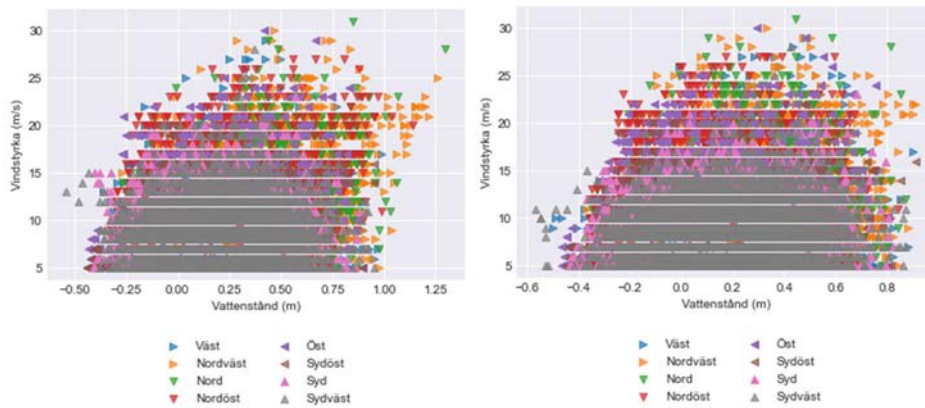
Figur 2 Kalix (till vänster) och Ratan (till höger)



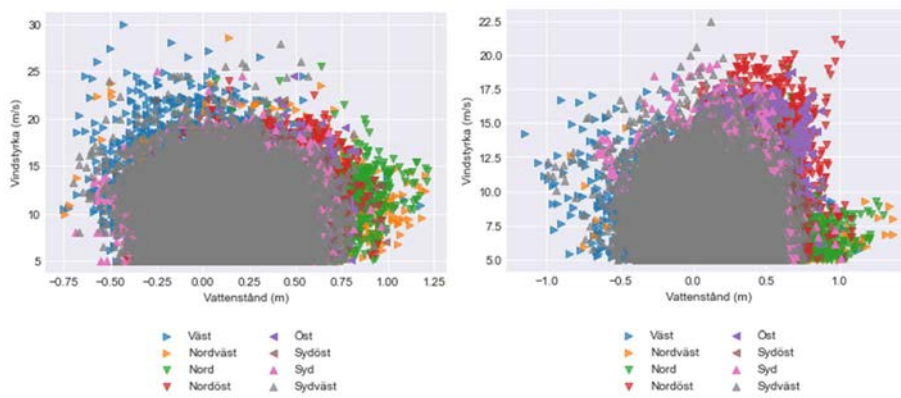
Figur 3 Furuögrund (t.v.) och Spikarna (t.h.).



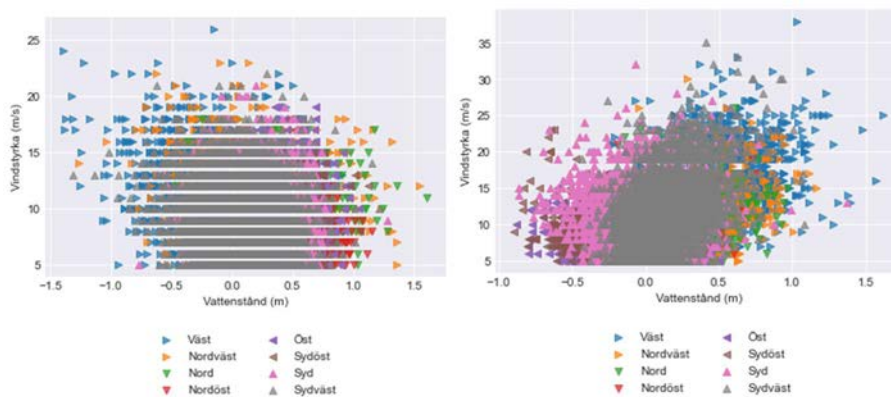
Figur 4 Björn (t.v.) och Landsort (t.h.).



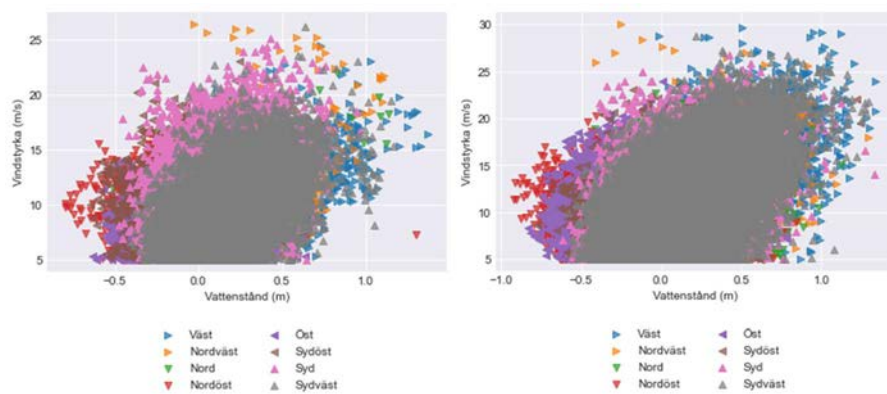
Figur 5 Ölands norra udde (t.v.) och Visby (t.h.)



Figur 6 Kungsholmsfort (t.v.) och Simrishamn (t.h.).



Figur 7 Skanör (t.v.) och Viken (t.h.)



Figur 8 Vinga (t.v.) och Smögen (t.h.).



## Beräkningsexempel av vinduppstuvning

I exemplet nedan illustreras hur vinduppstuvningen har uppskattats för en vik väster om Kalix. Enligt vind- och vattenståndsanalysen från Kalix uppstår höga vattenstånd vid sydvästliga till östliga vindar. Viken som undersöks är därmed i riskzonen för vinduppstuvning vid höga vattenstånd, då vikens riktning är nordväst – sydost med mynningen i sydost.

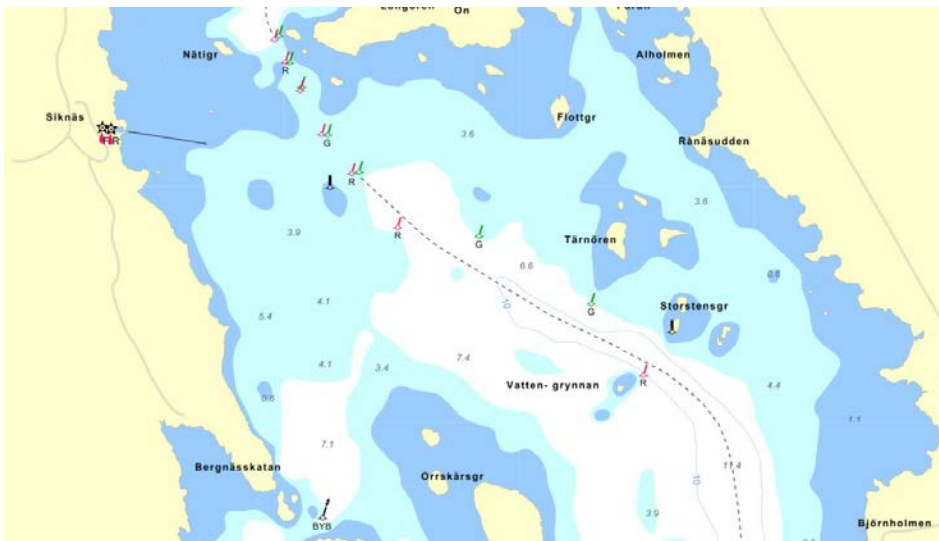
Upprättad av: Charlie van Houwelingen  
 Uppdragsnummer: 30036603  
 Uppdrag: MSB Metodutveckling Kust  
 Kund: MSB  
 Uppdragsledare: Maja Coghlan

Enligt mätning i GIS uppskattas vikens längd till cirka 17 km, se Figur 1 nedan. Mynningen har valts vid en punkt där vinden kan tänkas trycka in vind i viken. Bortom denna punkt kan vattnet röra sig fritt vid stark blåst och trycks därför ej in i viken.



Figur 1 Vik där vinduppstuvning ska uppskattas. Längst in i viken syns en tätort. Färgen på tätorten motsvarar befolkningmängden, i detta fall mellan 500 och 1000 invånare. Skärmlapp från QGIS 3.18.

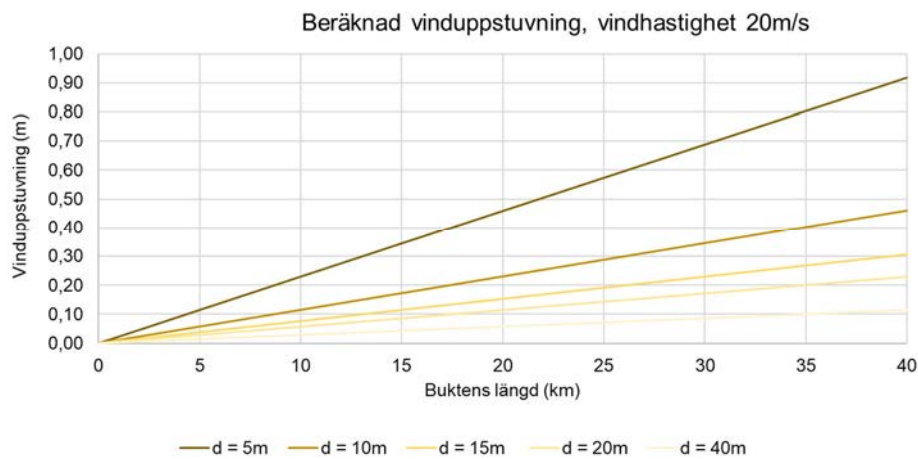
Med hjälp av sjökort uppskattas medeldjupet i viken vara cirka 7 m. En del av sjökortet för viken visas i Figur 2 nedan.



Figur 2 Sjökort som visar vattendjupen i en del av viken som beräkningsexemplet undersöker. Från eniro.se.

När medeldjup och buktens eller vikens längd har bestämts kan vinduppstuvningen uppskattas med hjälp av diagrammet i Figur 3 hämtad från huvudrapporten. Resultatet för ovanstående exempel blir:

- Medeldjup: 7 m
- Längd: 17 km
- Uppskattad vinduppstuvning blir då **0,25 m**.



Figur 3 Vinduppstuvning vid en vind på 20 m/s för olika medelvattendjup som en funktion av förträngningens längd.