

Rapport

Handläggare
Walter Gyllenram
Jesper Österling
Anna Collin
Tel
+46105051935
Mobil
+46720837803
E-post
walter.gyllenram@afry.com
Granskare
Christin Eriksson

Datum
2025-06-09

Projekt ID
D0208974

Kund
Karlskrona Kommun

Extremvattenstånd i Karlskrona år 2150 inklusive lokala effekter av vågor och vind

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	4
1.1	Lokala effekter.....	5
1.2	Vinduppstuvning	6
1.3	Vågor	6
1.4	Våguppstuvning	6
1.5	Våguppsköljning.....	6
2	Metodik.....	7
2.1	Medelvattenstånd 2150.....	7
2.2	Extremvindar.....	7
2.3	Vindhastigheter vid höga vattenstånd	8
2.4	Extremvattenstånd vid olika vindriktningar.....	9
2.5	Beräkning av lokala effekter	10
3	Generellt om skyddsåtgärder	11
4	Resultat	13
4.1	Lokala effekter inom ö-barriären	13
4.1.1	Vågklimat.....	13
4.1.2	Våg- och vinduppstuvning	13
4.1.3	Våguppsköljning	14
4.2	Bedömning av vilka stränder inom ö-barriären som har minst risk för framtida översvämningar.....	14
4.3	Platsspecifika bedömningar	14
4.3.1	Pottholmen (infartsleden).....	15
4.3.2	Hattholmen	16
4.3.3	Södra Verkö	17
4.3.4	Torstäva	18
4.3.5	Mariedal.....	18
4.3.6	Saltö	19
4.3.7	Södra Långö och nordvästra Trossö	19
4.3.8	Stumholmen.....	20
4.3.9	Handelshamnen	20
4.3.10	Västra och östra Ringö.....	21
4.3.11	Lyckeby	21
5	Diskussion	22
6	Figurer.....	23

Sammanfattning

Karlskrona kommun har gett AFRY uppdraget att genomföra en utredning av lokala effekter av våg- och vinduppstuvning samt våguppsköljning vid framtida extrema vattenstånd inom ö-barriären i Karlskrona skärgård. Utredningens syfte är att undersöka hur förutsättningarna skiljer sig år vid ett tiotal utpekade strandnära områden och att utifrån detta ta fram lokalt anpassade rekommendationer om lämplig höjdsättning. I fyra områden tas även fram förslag på skyddsåtgärder som minskar risken för översvämning.

Länsstyrelsen rekommenderar en planeringshorisont på 100 år, vilket innebär att dagens planering bör ta höjd för medelvattenståndet om ett sekel. I samråd med Karlskrona kommun fokuserar AFRY:s beräkningar på år 2150.

Det högsta beräknade extremvattenståndet inklusive vind- och våguppstuvning med minst 500 års återkomsttid är lägre än 3,65 m i RH2000 och gäller för Torstäva. Torstäva bedöms vara naturlig skyddad mot ytterligare bidrag från våguppsköljning. Vid Lyckeby kan extremvattenståndet nå nästan lika högt: 3,6 meter och dessutom kan det behövas åtgärder mot våguppsköljning som annars kan bidra med ytterligare 0,35 meter.

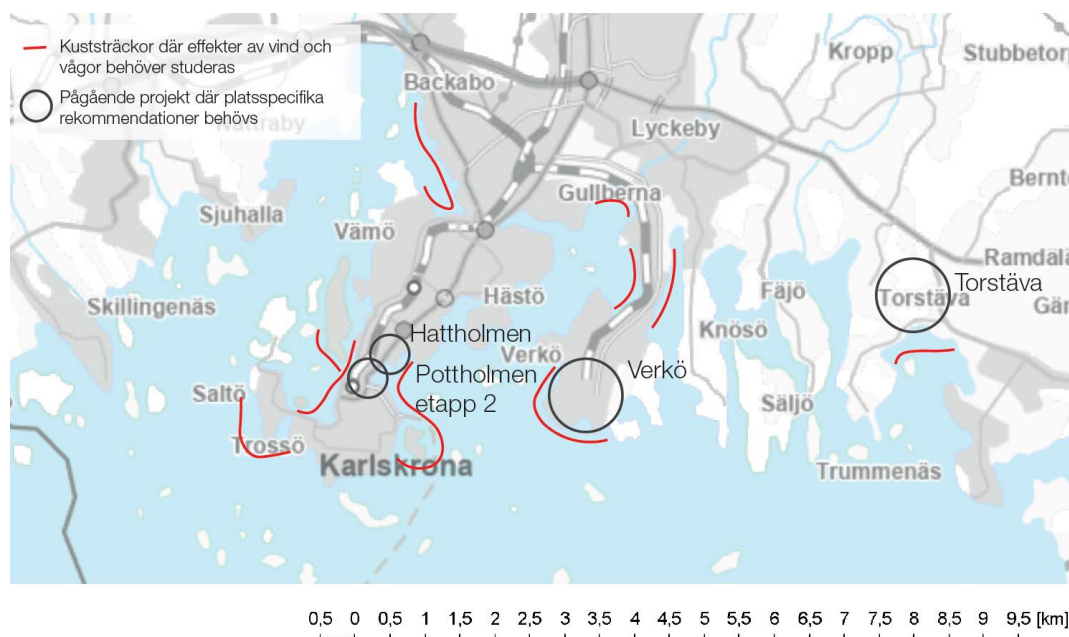
För övriga platser som studerats är extremvattenståndet lägre. Våguppsköljningshöjden kan dock bli betydande på ett flertal andra platser med brantare och mer vågutsatta stränder. Således bedöms det i flera fall vara nödvändigt att vidta åtgärder mot våguppsköljning och/eller vågöverspolning. Detta gäller främst Pottholmen, Hattholmen, södra Verkö, Saltö, Stumholmen och Handelshamnen.

Sydvästra, västra och centrala delarna av området inom ö-barriären bedöms vara de som löper minst risk att drabbas av översvämningar i samband med extremvattenstånd innan år 2150 så länge de ligger över 3,5 meter i RH2000 och kan skyddas mot våguppsköljning.

1 Bakgrund

På uppdrag av Karlskrona kommun har AFRY genomfört en utredning av lokala effekter av våg- och vinduppstuvning samt våguppsköljning vid extrema vattenstånd inom ö-barriären i Karlskrona skärgård. Syftet med utredningen är att undersöka hur förutsättningarna varierar vid ett tiotal specifika strandnära områden samt att ta fram lokalt anpassade rekommendationer om lämplig höjdsättning. I fyra områden tas även fram förslag på skyddsåtgärder.

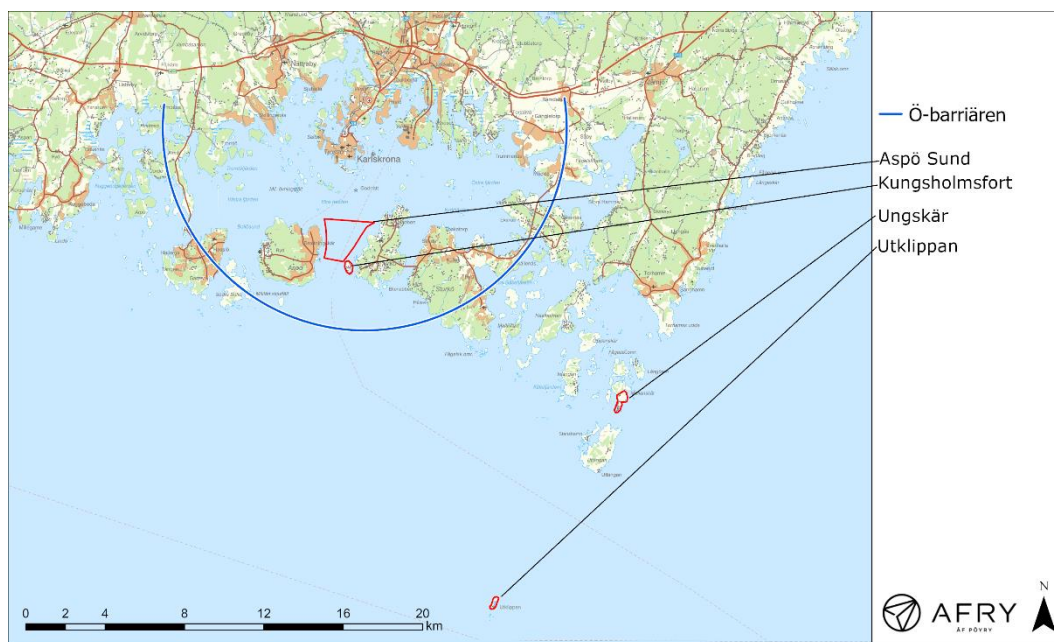
De specifika områden som har studerats illustreras i kartbilden nedan (Figur 1-1). En översikt visas i Figur 1-2.



Figur 1-1: Bild som visar de platser där lokala effekter av vind och vågor har studerats. Bilden är tillhandahållen av Karlskrona kommun.

I januari 2024 antog Länsstyrelsen i Blekinge nya riktlinjer för att bedöma översvämningsrisker längs kusten. Syftet är att ge stöd i att bedöma vad som utgör en säker nivå för ny bebyggelse. Riktlinjerna anger inte en fast höjd, utan beskriver hur man ska räkna fram en lämplig nivå i varje enskilt fall. Den säkra nivån beräknas genom att kombinera framtida medelvattenstånd med en högvattenhändelse, samt en säkerhetsmarginal som ska användas där lokala beräkningar av våg- och vindpåverkan saknas.

Länsstyrelsen rekommenderar en planeringshorisont på 100 år, vilket innebär att dagens planering bör ta höjd för medelvattenståndet om ett sekel. Om platsspecifika beräkningar saknas rekommenderar Länsstyrelsen en säkerhetsmarginal på 0,4 meter. Genom att utreda de lokala effekterna av våg- och vindpåverkan har Karlskrona kommun möjlighet att föreslå platsspecifika säkerhetsmarginaler baserat på beräkningar i föreliggande utredning.



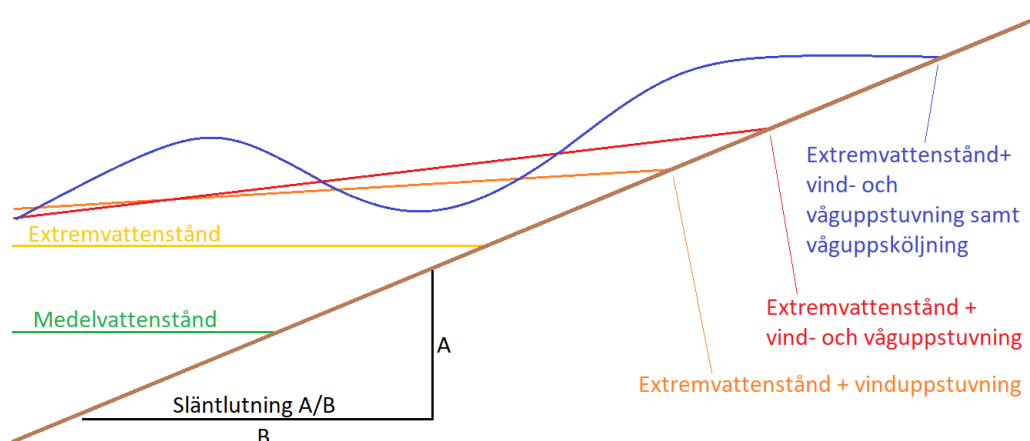
Figur 1-2: Översiktsskarta som visar Karlskrona, ö-barriären och några platser som diskuteras senare i rapporten. Bakgrundskarta © Lantmäteriet.

1.1 Lokala effekter

Vattenstånd har sedan 1887 uppmätts vid Kungsholmsforts mätstation som ligger nära öppet vatten. Innanför ö-barriären kommer vindar och vågor att skapa ytterligare lokala bidrag till vattenståndet beroende på vindriktning och vattendjup. Dessa bidrag benämns här som lokala effekter. De lokala effekterna består av vinduppstuvning, våguppstuvning och våguppsköljning. Vind- och våguppstuvning drivs av vindens friktion mot vattenytan respektive vattnets friktion mot botten. Våguppsköljning drivs av varje enskild vågs rörelsemängd.

Vind- och våguppstuvning kan vanligtvis inte ses med blotta ögat. De kan endast mätas som tidsmedelvärden av vattenytans läge eftersom förekomsten av vågor gör att vattenytan aldrig är platt i något enskilt ögonblick.

Fysiken bakom dessa olika effekter beskrivs översiktligt i separata avsnitt nedan. Effekterna visualiseras schematiskt i Figur 1-3.



Figur 1-3: Schematisk bild av hur medelvattenstånd förhåller sig till extremvattenstånd och bidrag från vinduppstuvning, våguppstuvning och våguppsköljning. Observera att de olika effekternas relativa storlek inte är realistiska. Skillnaden mellan extremvattenstånd och medelvattenstånd längs Östersjökusten är exempelvis betydligt större än bidraget från vinduppstuvning.

1.2 Vinduppstuvning

Vinduppstuvning skapas av vindens friktion mot vattenytan. Friktionen leder till att vattenytan börjar luta mot vindriktningen. Vid en storm över Östersjön får friktionen hela Östersjön att svänga. Denna svängning är relativt långsam eftersom Östersjön är stor och den inkluderas i uppmätta data vid mätstationen vid Kungsholmsfort. Det lokala bidraget från vinduppstuvning innanför ö-barriären kan vara både positivt och negativt relativt det uppmätta vattenståndet vid Kungsholmsfort.

1.3 Vågor

Vindens friktion mot vattenytan skapar även vågor. I ett fält av vinddrivna vågor på en viss plats förekommer en stor variation av våghöjder och vågperioder samtidigt. Låga och korta vågor har skapats lokalt, medan högre och längre vågor har byggts upp under en längre tid och sträcka innan de nått fram till platsen. I Karlskronas fall kan vågor rulla in från havet via sunden i ö-barriären. På grund av interaktion med botten och stränder kommer dessa vågor dock relativt snabbt att bli betydligt mindre än vad de är ute på öppet vatten.

1.4 Våguppstuvning

Vågor på djupt vatten som inte bryter rör sig endast i cirklar och skapar därmed ingen vattentransport över tid. Men när en våg bryter rullar vatten från vågens topp framåt i nerförsbacke på vågens framkant. Detta leder till en vattentransport i vågens riktning. När många vågor samtidigt bryter på sin väg mot en långgrund strand hindras vattentransporten som går längs vattenytan av stranden. Det måste därmed uppstå en returström av vatten nära botten. På grund av returströmmens friktion mot botten börjar vattenytan att luta, vilket leder till ett högre vattenstånd nära stranden jämfört med längre ut från stranden.

1.5 Våguppsköljning

Våguppsköljning är till skillnad mot våguppstuvning en effekt av enskilda vågor. Höjden av de enskilda vågorna relaterar till den lokala vattenytans läge, vilken bestäms av extremvattenståndet inklusive bidragen från vind- och våguppstuvning.

Höjden på uppsköljningen påverkas av en kombination av strandens lutning, vågperioden och våghöjden, samt strandmaterialets dämpande effekt. I takt med att medelvattenståndet stiger kommer strändernas geometri att förändras kontinuerligt. Våguppsköljningen beräknas för ett spann av lutningar som bedöms vara relevanta i respektive fall.

2 Metodik

Lokala extremvattenstånd för år 2150 har beräknats genom en kombination av a) framtida klimatprognoser, b) lokal statistisk analys av hur vindar och vattenstånd samverkar och b) numeriska modeller.

Topografi är inköpt från Lantmäteriet och djupdata från Sjöfartsverket. Nya infartsleden och två intilliggande områden är justerade till en tänkt framtida marknivå på 3,5 m i RH2000.

2.1 Medelvattenstånd 2150

Medelvattenståndet 2150 är hämtat från SMHI¹. Eftersom framtida projektioner är osäkra har 83-percentilen valts, i överensstämmelse med Länsstyrelsen Blekinges rekommendationer. För det högsta troliga klimatscenarioet SSP5-8.5 ligger denna nivå på 196 cm i RH2000.

2.2 Extremvindar

Uppmätta vindhastigheter och vindriktningar från SMHI:s mätstationer Utklippan och Ungskär har hämtats från SMHI:s öppna data. Dataserien från Utklippan börjar år 1942. Det saknas data från Utklippan från tidigt sjuttioal till i mitten av nittioal, men detta glapp täcks av mätserien från Ungskär. Således har dessa båda mätserier slagits ihop för att få en mer eller mindre komplett tidsserie för åren 1942-2025. Årshögsta vindar sorterats fram över brutna år (juli-juni). Förutom de riktningsoberoende extremvindarna har extremvindar i fyra 90°-sektorer beräknats med en GEV-fördelning². Dessutom 95% konfidensintervall³ tagits fram. Resultaten visas i Tabell 1. Extremvindarna beräknade för olika sektorer är lägre än de riktningsoberoende extremvindarna. Detsamma gäller för konfidensintervallen. Observera att dessa vindhastigheter inte har använts i några simuleringar av lokala effekter i denna utredning. De är endast inkluderade här som jämförelse med de vindstyrkor som är relevanta vid höga vattenstånd och som diskuteras i följande avsnitt.

Tabell 1: Extremvindar (m/s) vid Utklippan/Ungskär beräknade med GEV-fördelning. Återkomstvärden (ÅKV) med 100 och 200 års återkomsttid visas i separata kolumner, inklusive respektive konfidensintervall (KI).

Vindriktning	ÅKV 100 år (KI)	ÅKV 200 år (KI)
0-360°	31 (28-34)	32 (29-36)
Nord	26 (23-29)	27 (24-32)
Ost	27 (23-32)	29 (24-35)
Syd	26 (23-29)	27 (24-31)
Väst	30 (28-32)	31 (28-34)

¹ <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand/projektioner> (2025-05-09)

² Förkortningen GEV står för "Generalized Extreme Value". En GEV-fördelning är en kombination av tre olika statistiska metoder för att anpassa en kurva till oberoende och tidsmässigt jämnt fördelade data insamlade under en viss mätperiod. Genom att extrapolera den anpassade kurvan kan återkomsttider som är längre än mätperioden beräknas.

³ Spannet av ett konfidensintervall är ett mått på den statistiska osäkerheten. Det är 95% sannolikhet att det faktiska extremvärdet ligger inom 95% konfidensintervall.

2.3 Vindhastigheter vid höga vattenstånd

Extremvattenstånd i Karlskrona uppstår i samband med stormtillfällen över Östersjön men inte samtidigt som respektive storm har sin kulmen över Karlskrona. Detta beror på att extremvattenstånden skapas av vattnets svängningar i Östersjön vilka inte ligger i fas med stormens kulmen lokalt i Karlskrona.

Sedan 1942 har det aldrig blåst mer än cirka 20 m/s samtidigt som det rått vattenstånd över 76 cm relativt medelvattenstånd. Vid det tillfället var vattenståndet vid Kungsholmsfort cirka 80 cm över medelvattenstånd. Vid det högsta registrerade vattenståndet sedan år 1942 uppmättes vindhastigheten till 13 m/s, med en nordlig vindriktning.

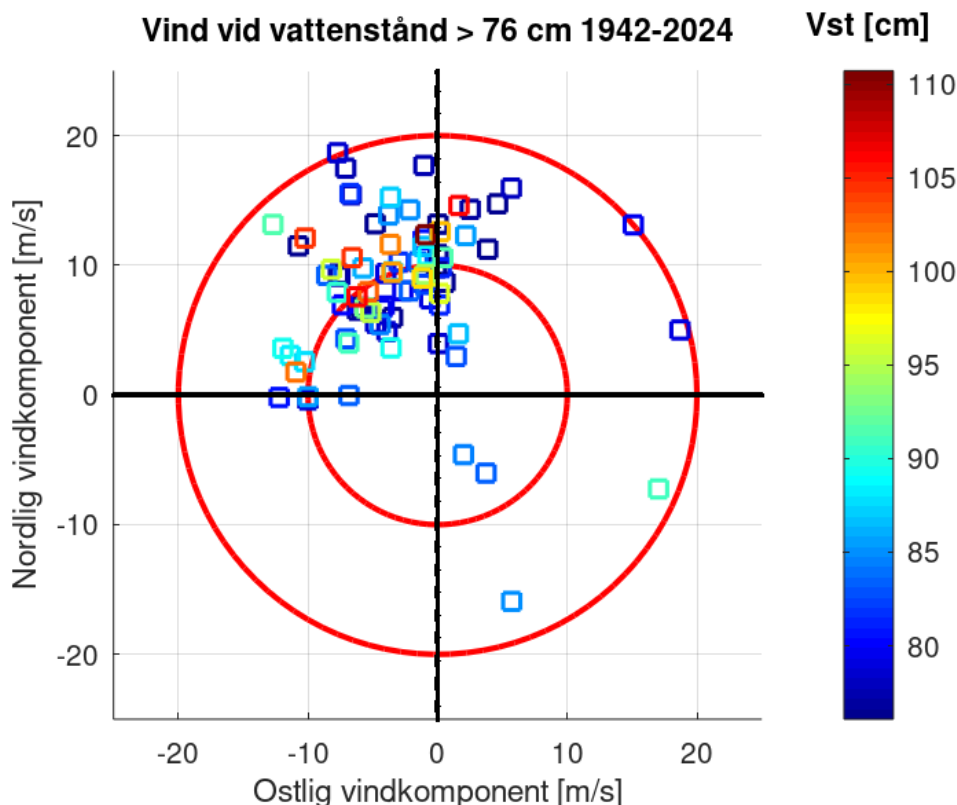
Figur 2-1 visar sambandet mellan de högsta uppmätta vattenstånd, vindriktning och vindstyrka för åren 1942-2024. Resultaten visar att det oftast råder nordvästliga vindar vid höga vattenstånd. Vindkomponenterna avser den riktning vinden kommer ifrån.

Vindhastigheten med 200 års återkomsttid för samtliga vindriktningar är 32 m/s. 200-årsvärdena för olika riktningar är lägre. Men eftersom tidpunkten för stormarnas kulmen inte sammanfaller med tidpunkten för extremvattenståndet är det inte rimligt att använda detta värde som underlag för att beräkna lokala tillkommande effekter i form av våg- och vinduppstuvning.

Återkomstvärden för extremvindar har istället beräknats baserat på vindhastigheter vid alla noterade årsmaximala vattenstånd. Detta resulterar i en vindhastighet med 200 års återkomsttid på 20 m/s. Majoriteten av registrerade vindriktningar i detta dataunderlag ligger inom sektorn nordväst-nord, vilket innebär att extremvärdena huvudsakligen gäller för dessa riktningar. Dataunderlaget för övriga vindriktningar är otillräckligt för att möjliggöra en riktad analys, eftersom höga vattenstånd sällan förekommit vid andra vindriktningar.

Vindhastigheten 20 m/s är betydligt lägre än de 100- och 200-årsvärden som togs fram i avsnitt 2.2, vilka låg omkring 30 m/s. Detta är en följd av att extremvindar och extremvattenstånd i Karlskronas fall inte sammanfaller i tiden.

Sammanfattningsvis används vindhastigheter på 20 m/s för att beräkna våg- och vinduppstuvning. Utifrån dataunderlaget i Figur 2-1 bedöms 20 m/s vara ett konservativt men rimligt val av vindstyrka som sammanfaller med ett högt vattenstånd.



Figur 2-1: Samband mellan höga vattenstånd (vst), vindriktning och vindstyrka för åren 1942-2024. Resultaten visar att det oftast var nordvästliga vindar vid de flesta höga vattenstånd. Vindkomponenterna avser den riktning vinden kommer ifrån. Den totala vindhastigheten vid en viss markering utläses som avståndet till origo, och den inre och yttre röda cirklarna motsvarar vindstyrkor på 10 respektive och 20 m/s.

2.4 Extremvattenstånd vid olika vindriktningar

Återkomstvärden för extremvattenstånd relativt medelvattenstånd med 500 års återkomsttid har beräknats vid olika vindriktningar. Indata till dessa beräkningar består av mätningar av vattenstånd och vindar utförda av SMHI (Kungsholmsfort, Utklippan och Ungskär) och som finns tillgängliga på SMHI:s hemsida. Resultaten sammanfattas i Tabell 2. Extremvattenstånden är högst vid nordliga vindriktningar och lägst vid sydliga vindriktningar. Värdena är beräknade för den tidsperiod där det finns överlappande vind- och vattenståndsdata, det vill säga från år 1942 och framåt. För att ta höjd för den statistiska osäkerheten används den övre gränsen av ett 95 % konfidsensintervall.

Tabell 2: Återkomstvärden (cm) av extremvattenstånd (EVS) relativt medelvattenstånd vid Kungsholmsfort med 500 års återkomsttid vid olika vindriktningar, beräknade utifrån data från åren 1942-2024. Siffrorna inom parentes beskriver den statistiska osäkerheten med ett 95 % konfidsensintervall. Tidsseriens längd begränsas av att det inte finns tillgång till relevanta vinddata äldre än 1942.

Vindriktning	EVS 500 (KI)
0-360°	119 (105-133)
Nord 315-45°	117 (104-129)
Ost 45-135°	94 (80-111)
Syd 135-225°	92 (77-113)
Väst 225-315°	114 (92-141)

Den överlappande tidsserien från 1942 och framåt är betydligt kortare än den kompletta tidsserien som finns tillgänglig från Kungsholmsfort. Översta raden i Tabell 2 inkluderar riktningsoberoende återkomstvärden att jämföra med återkomstvärden från Kungsholmsforts kompletta tidsserie från år 1887 och framåt. Den kompletta tidsserien från Kungsholmsfort ger ett 500-årsvärde på 133 cm och 95%-konfidensintervall 116-150 cm. Vid beräkning av återkomsttider som är längre än den tidsserie som är ligger till grund för beräkningarna, fås i regel säkrare resultat med längre tidsserier. Skillnaden mellan 500-årsvärdet från den kompletta tidsserien och den tidsserien som överlappar med vinddata är 14 cm och motsvarande skillnad för det övre konfidensintervallet är 17 cm. I syfte att inte underskatta de riktningsoberoende extremvärdena och konfidensintervallen används dessa skillnader för att justera de riktningsoberoende extremvärdena och konfidensintervallet uppåt. När de justerade extremvärdena och framtida klimatvattenstånd summeras fås värdena i Tabell 3.

Det är värt att notera att konfidensintervallet vid västliga vindar är betydligt större än för de övriga vindriktningarna, vilket indikerar en större statistisk osäkerhet.

Tabell 3: Återkomstvärden (cm RH2000) av extremvattenstånd (EVS) i RH2000 vid Kungsholmsfort med 500 års återkomsttid vid olika vindriktningar, beräknade utifrån data från åren 1942-2024 samt 83-percentilen av framtida medelvattenstånd 2150 (196 cm i RH2000). Data är justerade för att ta hänsyn till att den tidsserien är kortare än den kompletta tidsserien från Kungsholmsfort.

Vindriktning	EVS 500 (KI) 2150
Samtliga	267 (346)
N 315-45°	265 (342)
O 45-135°	242 (324)
S 135-225°	240 (326)
V 225-315°	262 (354)

2.5 Beräkning av lokala effekter

Det lokala bidraget av vinduppstuvning inom ö-barriären har beräknats med hjälp av den numeriska modellen Delft3D-FLOW⁴. Modellens upplösning är 25 m i horisontalld.

Lokal signifikant våghöjd och våguppstuvning inom ö-barriären har beräknats med hjälp av den numeriska modellen SWAN⁵. Modellens upplösning är samma som för vinduppstuvningen, det vill säga 25 m i horisontalld. Resultaten av simuleringarna av våghöjd redovisas som *signifikant våghöjd*, vilket är definierad som medelvärdet av den högsta tredjedelen av alla våghöjder i vågfältet. Således kommer 33 % av vågorna i vågfältet att vara högre än den signifikanta våghöjden.

Våguppsköljningen, det vill säga den vertikala höjd som enskilda vågor kan skölja upp är baserad på vedertagna empiriska metoder tillhandahållna av EurOtop⁶. Ett vågfält består av vågor av varierande våghöjd. Vid våguppsköljning är vedertagen praxis att studera uppsköljningshöjden av de 2 % högsta vågorna. I snitt 49 av 50 uppsköljande vågor når med andra ord inte denna höjd. Om den genomsnittliga vågperioden är 1,5

⁴ <https://oss.deltares.nl/web/delft3d> (2025-05-09)

⁵ <https://swanmodel.sourceforge.io> (2025-05-09)

⁶ <https://www.overtopping-manual.com> (2025-05-09)

sekunder bedöms det i snitt gå över en minut mellan de tillfällen då en våg når den beräknade uppsköljningshöjden.

3 Generellt om skyddsåtgärder

Olika typer av skyddsåtgärder kommer att behövas på olika platser, beroende på om det är våguppsköljning eller våg- och vinduppstuvning som bedöms skapa störst problem. I Karlskronas fall bedöms det enklare att skydda sig mot våguppsköljning än mot extremvattenstånd.

Skyddsåtgärder innebär ofta ingrepp i miljön som behöver miljöprövas. De behöver också värderas mot andra intressen. Åtgärder som avser att skydda en viss plats kan komma att förvärra situationen på närliggande platser. Således behöver konsekvenser av en planerad skyddsåtgärd utvärderas noggrant och på flera olika plan innan de realiseras.

Skydd mot våguppsköljning kan ske antingen genom att a) begränsa de vågor som rullar in mot stranden, b) begränsa själva uppsköljningen, eller c) ta hand om uppsköljningen. Det kan också komma att behövas kombinationer av nämnda funktioner.

Fasta eller flytande vågbrytare begränsar de vågor som rullar in mot stranden.

Flytande vågbrytare reflekterar⁷ kortare vågor men släpper igenom längre vågor, och generellt gäller att längre vågor sköljer upp högre än korta vågor. Reflekterade vågor riskerar dessutom att förvärra vågsituationen på närliggande platser. En del av vågenergin kan eventuellt försvinna genom turbulens vid översköljning. Långa vågor dessutom få de flytande vågbrytarna att börja gunga, vilket i sig skapar vågrörelser som sprider sig åt alla håll.

Fasta vågbrytare i form av stenblock som absorberar vågenergi och begränsar reflektionen är ofta betydligt mer effektiva än flytande vågbrytare och mer robusta.

Uppsköljningshöjden kan begränsas av anpassade (helst mycket flacka) släntlutningar, permeabla och vågdämpande material (exempelvis stenblock), och permeabla kajer⁸ som absorberar vågenergi. När en våg når sin högsta uppsköljningshöjd har den ingen rörelseenergi kvar. Således krävs det inte lika starka skydd om skydden kan placeras relativt högt, på en höjd som endast ett fåtal vågor når vid extrema vädersituationer. En kaj som är lägre än uppsköljningshöjden kommer att överspolas av vågor. Skydd mot våguppsköljning och begränsning av effekterna av överspolning kan exempelvis utgöras av murar.

Inflödet av vatten som sker när enstaka vågor sköljer över en kaj- eller strandkant kan dräneras på samma sätt som dagvatten. Detta dagvattensystem dimensioneras för att kunna hantera det inflöde som i värsta fall kan uppstå. Ju större skillnaden mellan kajens höjd och våguppsköljningshöjden är, desto större inflöde kommer att uppstå.

Skyddsåtgärder mot extremvattenstånd inklusive vind- och våguppstuvning (men inte nödvändigtvis våguppsköljning) består i första hand av att inte grundlägga byggnader

⁷ När en våg slår i en hög, hård och brant struktur kommer den att resa sig uppåt och sedan studsa tillbaka. Detta brukar kallas reflektion. Reflektion sker till viss del vid alla stränder.

⁸ Konstruktion och dimensionering av kajer ligger utom ramarna för detta projekt. Ett teoretiskt exempel på permeabel kaj skulle dock kunna vara en pålad betongplatta vars underkant ligger väl över extremvattenståndet med marginal för vågamlituden (halva våghöjden), för att möjliggöra att vågorna rullar in under betongplattan istället för att skölja upp på den. Utrymmet under betongplattan bör i så fall fyllas med stenblock eller någon struktur som absorberar vågenergin.

på lägre nivå än det extremvattenstånd som lokalt kan förväntas. Konstruktionen måste dessutom kunna tåla att underliggande mark tillfälligtvis kan få ett högt vatteninnehåll eftersom detta kan påverka markens stabilitet. Extremvattenstånd är kortvariga och varar i regel bara någon timme. En väl-dränerad mark kan därför under en kortare tid absorbera en del av vattnet som annars skulle nå fram till byggnader på liknande sätt som ett dagvattensystem.

Bebyggelse på marknivåer som ligger under framtida extremvattenstånd kan möjliggöras genom att marken vallas in. Invallningar kan dock skapa problem vid skyfall. Skyfall sker dock i princip aldrig i samband med extremvattenstånd i Karlskrona, vilket AFRY nyligen har visat i en annan rapport⁹. Utlopp med backventiler som möjliggör för skyfall att dräneras till havet men som samtidigt hindrar havsvatten att tränga in, kan därför vara en nödvändig lösning i kombination med invallningar. Invallningar innebär samtidigt stora förändringar i lokalmiljön och kan komma i konflikt med många andra intressen.

En annan skyddsåtgärd kan vara att skapa magasineringsmöjligheter för kortvariga höga vattenstånd i form av lågpunktsområden innanför vallar. Om dessa magasin är stora nog skulle de lokalt kunna mildra effekten av kortvariga höga vattenstånd och även kunna hantera skyfall. Liksom ovan behöver det finnas utlopp med backventiler. Tröskelnivån på vallarna måste vara tillräckligt hög för att minimera riskerna att hela magasinet fylls vid en högvattenhändelse men kan vara något lägre än bebyggelsens grundsättning, som i sin tur kan vara något lägre än det extremvattenstånd som kan förväntas utan magasinering. Detaljer i lokal topografi avgör om sådana lösningar är möjliga.

Havsvattennivån kommer fortsätta stiga även efter år 2150. Om Karlskrona i ett mycket långt framtida perspektiv ska ligga kvar på sin nuvarande plats, kan en teoretiskt möjlig skyddsåtgärd bestå av portar i sunden mot havet som tillfälligt kan stängas inför extrema väderhändelser. På ytterligare längre sikt skulle det vara nödvändigt att stänga dessa sund permanent. Detta skulle dock innebära ett extremt stort ingrepp i naturen och kan förväntas komma i konflikt med betydligt fler intressen än ovan nämnda lokala invallningar.

Denna utredning adresserar inte erosionsfrågor eller sedimenttransport, men i vissa fall kan dessa komma att behöva beaktas vid valet av skyddsåtgärd. Skyddsåtgärder mot exempelvis vågor kan i vissa fall komma att påverka erosion och sedimenttransport i närområdet. I händelse av att erosionsproblematik uppstår i framtiden kan olika typer av skyddsåtgärder komma i fråga. I första hand kan mjuka lösningar i form av stabilisering (plantering av sandbindande växter) och strandfodring (tillförsel av sand) beaktas. I andra hand kan hårda lösningar som slätskoningar och vågbrytare vara aktuella. Oftast är en kombination av hårda och mjuka skydd en bra lösning.

⁹ Kombination av högt vattenstånd i havet och skyfall, AFRY PM 2025-04-23, Projekt ID: D0208974

4 Resultat

Resultaterande extremvattenstånd år 2150 har beräknats i fyra vindriktningar: ostliga, sydliga, sydvästliga och västliga. Resultaten presenteras visuellt i avsnitt 6 där även beräknade våghöjder visas. Nordliga vindar har inte beaktats. Vid nordliga vindar kommer vattenståndet vid Karlskrona vara lägre än vattenståndet vid Kungsholmsfort (342 cm i RH2000) eftersom vindens friktion mot vattnet pressar vattnet söderut. Även våghöjderna i det aktuella området kommer att vara små. Sydvästlig vindriktning bedöms vara relevant att studera då den generellt sett är mycket vanlig och ofta ger starka extremvindar vilket kan skapa relativt höga vågor vid exempelvis Saltö. Som visas i Figur 2-1 har det dock sedan 1942 aldrig varit höga vattenstånd i Karlskrona samtidigt som vinden kommit från sydvästlig sektor (180–270°) och det finns därmed inget underlag för att ta fram återkomstvärden av dessa. Indata till det sydvästliga beräkningsfallet baseras därför på medelvärden av indata till det sydliga och västliga beräkningsfallen.

Resultaten i form av extremvattennivå inklusive lokala effekter och signifikant våghöjd visas i bilder i avsnitt 6.

4.1 Lokala effekter inom ö-barriären

Karlskrona ligger i en fjärd som kantas av fastland i norr och öar i övriga väderstreck. Dessa öar utgör den så kallade ö-barriären. SMHI har sedan 1887 mätt vattenståndet vid Kungsholmsfort som ligger i Aspösund, strax söder om denna fjärd. Detta sund är relativt öppet mot havet.

4.1.1 Vågklimat

Den högre vattennivån i ett framtida klimat innebär att vattendjupet i skärgården blir större, vilket i sin tur medför att vågorna blir högre än de som idag kan förväntas vid samma vindstyrka. Effekten blir störst på grundare vatten eftersom den relativa skillnaden mellan framtida och nuvarande djup blir desto större ju grundare det är. Som en följd av detta kommer särskilt den vågreducerande effekten av befintliga bränningar och skär att bli betydligt mindre i framtiden.

Ö-barriären skyddar fjärden från vågor i alla riktningar. Inrullande havsvågor från syd, sydväst och väst kan ibland nå fram till Karlskrona, om än försvagade.

Högst vågor inom ö-barriären fås vid sydliga stormvindar. Vågor som rullar in via Aspösund kan ha en signifikant våghöjd på cirka 2 meter vid en vindhastighet på 20 m/s. De vågor som vid sådana tillfällen når fram till Trossö har en våghöjd på cirka 1,5 meter. En betydande del av vågor från havet kan även rulla in vid sydvästliga vindar.

Fjärden innanför ö-barriären är stor nog för att även lokala vågor ska kunna utvecklas. Ostliga vindar på 20 m/s kan skapa våghöjder på cirka 1,2 meter i västra delen av fjärden. Motsvarande västliga vindar kan skapa våghöjder på cirka 1,1 meter i östra delen av fjärden. I nord-sydlig riktning har fjärden betydligt mindre utsträckning än i väst-östlig riktning. Vågklimatet vid nordliga vindar i södra delen av fjärden kommer därmed generellt bli betydligt mildare.

4.1.2 Våg- och vinduppstuvning

Lokal våg- och vinduppstuvning blir högst vid långgrundna stränder. Vid sydliga vindar kommer dessa effekter ge upphov till högre vattenstånd inom ö-barriären än det som mäts vid Kungsholmsfort. Vid nordliga vindar gäller det omvända.

4.1.3 Våguppsköljning

Våguppsköljningen inom ö-barriären blir generellt sett högst vid stränder med öppet vatten söderut och där det inte är långgrund.

4.2 Bedömning av vilka stränder inom ö-barriären som har minst risk för framtida översvämningar

Höga vattenstånd förekommer oftast vid nordliga till nordvästliga vindar. Dessa vindar kommer inte att skapa några ytterligare lokala bidrag inom ö-barriären utöver de som mäts vid Kungsholmsfort. Därför är stränderna i norra delen av området innanför ö-barriären oftast skyddade från lokala effekter av våg- och vinduppstuvning som förekommer i samband med de flesta höga vattenstånd. Stränderna där är dessutom oftast skyddade mot våguppsköljning vid dessa tillfällen. Den statistiska analysen visar att de allra högsta vattenstånden riskerar att ske vid västlig vindriktning. Detta resultat fås när hänsyn tagits till att den statistiska osäkerheten är som störst i denna vindriktning.

Resultaten som visas i avsnitt 6 indikerar att extremvattennivån vid norra delen av områdets stränder blir mycket höga vid västliga vindriktningar. Vid ett enskilt tillfälle har ett relativt högt vattenstånd uppmätts i västliga sektorn (225-315°) och detta tillfälle har därmed mycket stor påverkan på statistiken. Stränderna i norra delarna av området innanför ö-barriären bedöms inte vara mer skyddade än övriga stränder vid de mest extrema vattenstånden som kan förekomma. Undantaget extremerna är dessa stränder oftast mer skyddade vid höga vattenstånd.

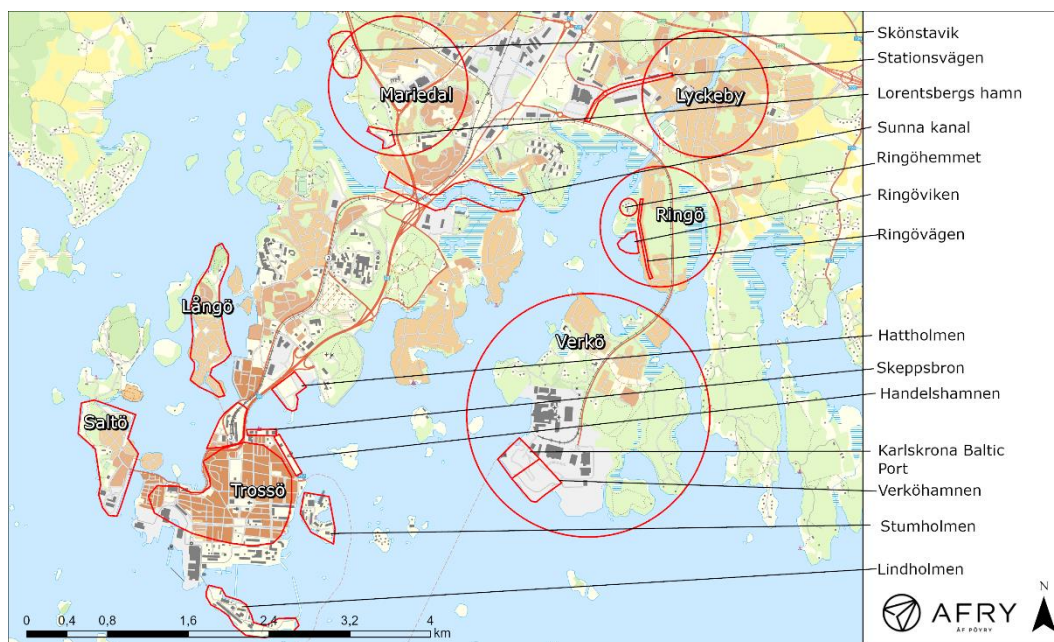
Stränderna i västra delen av området inom ö-barriären är utsatta för lokala effekter vid östlig och sydlig vind. Dock är extremvattenstånden vid dessa vindriktningar relativt låga, vilket skapar uppemot tre decimeters marginal mot lokala effekter.

Strandnära områden i sydväst inom ö-barriären bedöms löpa minst risk för översvämningar vid extremvattenstånd före år 2150. Detta gäller under förutsättning att dessa områden ligger över 3,45 meter i RH2000 och kan skyddas mot våguppsköljning. Trossö ligger också relativt bra till med samma förbehåll. Dock bedöms 3,5 meter vara en minimal planeringsnivå för Trossö, och det behövs sannolikt större åtgärder för att reducera våguppsköljning. Områden i norr och öster inom ö-barriären bedöms kräva högre planeringsnivåer. Om vattnen utanför aktuell strandlinje i framtiden är långgrunda begränsas våguppsköljningens bidrag av vattendjupet. Vågorna kommer då att bryta och därmed förlora sin energi innan de når fram till stranden. I andra fall kan det behöva kompletteras med vågreducerande åtgärder i närheten av framtida aktuell strandlinje.

4.3 Platsspecifika bedömningar

I detta avsnitt görs ett antal platsspecifika bedömningar utifrån de speciella områden som är markerade i Figur 1-1. Bedömningarna av våguppsköljning förutsätter att de stränder som idag helt eller delvis är anlagda, exempelvis med slänter av stenblock eller kajer, antas vara anlagda på samma sätt år 2150 men till en högre nivå.

Figur 4-1 visar en översiktsbild med platsangivelser som nämns i kommande avsnitt.



Figur 4-1: Översiktsskild med platsangivelser som nämns i kommande avsnitt. Bakgrundskarta © Lantmäteriet.

4.3.1 Pottholmen (infartsleden)

Beräkningarna förutsätter att befintliga pirar/vågbrytare i närheten av inloppet till hamnbassängen norr om Skeppsbron finns kvar. Dessa har i modellen antagits vara flytande och att de därmed släpper igenom en viss del av vågenergin då de kan börja gunga. Även effekten av tre av dagens nio flytbryggor i hamnbassängen har lagts in i modellen.

Tabell 4 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 intill infartsleden år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning. Våguppsköljningen vid Pottholmen har endast beräknats vid östlig och sydlig vind eftersom infallande våghöjder vid sydvästlig och västlig vind är försumbara för det aktuella området.

Öster om infartsleden planeras ett parkområde där dagens infartsled passerar. Detta kan komma att bli översvämmat i framtiden. Slänten ned mot detta parkområde planeras enligt kommunen preliminärt vara gräsbevuxen och ha en lutning på 1:3 (höjd:bredd). De högsta signifikanta våghöjderna (medelvärde av den högsta tredjedelen av alla våghöjder i vågfältet) i detta område har beräknats kunna bli omkring 45 cm höga och ha en vågperiod på 1,9 sekunder. Detta skulle ge en uppsköljningshöjd på cirka 70 cm vid östlig vindriktning för de 2 % högsta vågorna, vilket skulle innebära att vägen i samtliga studerade fall riskerar att sköljas över. Vid sydlig vindriktning blir uppsköljningshöjden något lägre. Med en flackare släntlutning på exempelvis 1:5 fås endast cirka 40 cm uppsköljningshöjd.

Tabell 4: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 intill infartsleden vid Pottholmen år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg och vinduppstuvning	<3,3 m	< 3,35 m	< 3,45 m	< 3,5 m
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:3	<4,0 m	< 4,0 m		
Som ovan med släntlutning 1:5	<3,7 m	< 3,7 m		

4.3.1.1 Förslag på skyddsåtgärder Pottholmen

Våguppsköljningen kan reduceras med längre slänthlutningar eller om slänten täcks av exempelvis stenblock i lämplig dimension. Alternativt kan våguppsköljningen reduceras med en friliggande fast vågbrytare i hamnbassängen öster om vägen eller genom att hamnens inlopp vid extrema väderhändelser tillfälligtvis stängs med ytterligare en flytande vågbrytare liknande den som enligt information från Karlskrona kommun redan planeras att användas vid inloppet. Om lämpliga åtgärder vidtas bedöms det rimligt att våguppsköljningen vid ostliga-sydliga vindriktningar kan begränsas så att den totala nivån blir lägre än 3,5 m även för östlig och sydlig vindriktning. De flytande vågbrytarna behöver dimensioneras för att kunna vara effektiva för vågor med en vågperiod på minst 2 sekunder. Detta ställer krav på både bredd och vikt. Observera att reflektioner från vågbrytare i mynningen till denna hamnbassäng kan förvärra vågsituationen vid både Handelshamnen och Hattholmen.

Viss översköljning av vågor kan vara acceptabel. Vattenflödet från dessa översköljande vågor behöver i så fall helst avledas eller stoppas innan det når fram till vägen. Detta kan ske genom dagvattenbrunnar eller en lägre mur.

4.3.2 Hattholmen

Tabell 5 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 intill Hattholmen år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

De högsta signifikanta våghöjderna som rullar in mot Hattholmen har beräknats kunna bli strax över 60 cm höga och ha en vågperiod på 2,1 sekunder. Även i detta fall planeras slänterna preliminärt vara gräsbevuxna. Gräsbevuxna slänter med lutning 1:3 beräknas få en uppsköljningshöjd på cirka 115 cm vid östlig vindriktning för de 2 % högsta vågorna. Med en lägre slänthlutning på exempelvis 1:5 fås endast cirka 70 cm uppsköljningshöjd. Vid sydlig vindriktning blir uppsköljningshöjden något lägre.

Tabell 5: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 intill Hattholmen år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg och vinduppstuvning	<3,3 m	< 3,35 m	< 3,45 m	< 3,5 m
EVS inkl. våguppsköljning vid slänthlutning 1:3	<4,45 m	< 3,9 m		
Som ovan med slänthlutning 1:5	<4,0 m	< 3,95 m		

4.3.2.1 Förslag på skyddsåtgärder Hattholmen

Våguppsköljningen kan liksom vid infartsleden reduceras genom lägre slänthlutningar och/eller om slänten täcks av exempelvis sprängsten i lämplig dimension.

Vid behov kan detta kompletteras med en längre flytande vågbrytare eller genom att hamnens inlopp vid extrema väderhändelser tillfälligtvis stängs med ytterligare en flytande vågbrytare. De flytande vågbrytarna behöver dimensioneras för att kunna vara effektiva för vågor med en vågperiod på minst 2,5 sekunder. Detta ställer krav på både bredd och vikt. Om lämpliga åtgärder vidtas bedöms det rimligt att våguppsköljningen vid ostliga-sydliga vindriktningar kan begränsas så att den totala nivån blir lägre än 3,5 m även vid östlig och sydlig vindriktning. Observera att reflektioner från vågbrytare i mynningen till hamnbassäng vid Hattholmen kan förvärra vågsituationen vid både Handelshamnen och Pottholmen.

4.3.3 Södra Verkö

Tabell 6 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid södra Verkö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning. Hamnplanen vid sydvästra delen av Verkö (Karlskrona Baltic Port) samt intilliggande Verköhamnen riskerar att bli översvämmade även om det bortses från våguppsköljning. Idag ligger det ett fåtal byggnader i detta område. Bidraget från våguppsköljning kan dock bli betydande.

De högsta signifikanta våghöjderna som rullar in mot Verkö vid en vindhastighet på 20 m/s har beräknats kunna bli 1,3 m höga och ha en vågperiod på 3,4 sekunder. Detta gäller vid sydlig och sydvästlig vind. Idag utgörs stränderna på södra Verkö av vertikala kajer eller slänter med stenblock. Lutningen av dessa slänter varierar från 1:2 till 1:1 och antas ha samma lutning i framtiden.

Våguppsköljningen av de 2 % högsta vågorna beräknas vid sydlig vindriktning kunna uppgå till 2,3 meter på de vertikala kajerna. Slänterna med stenblock kommer få en uppsköljningshöjd på cirka 2,2 till 2,35 meter där den högre siffran gäller den lägre lutningen, vilken ligger mycket nära den lutning som skapar allra högst våguppsköljning. Vid sydvästlig vindriktning fås ett extremvattenstånd inklusive uppsköljningshöjd på totalt upp till 5,85 meter i RH2000 vid de vertikala kajerna. Observera att dessa siffror endast är applicerbara om kajerna är minst lika höga. En lägre kaj än 5,85 meter kommer att översköljas av minst 2 % av vågorna. Ju lägre kajen är, ju fler vågor kommer att skölja över. En kajkant på 3,4 meters höjd kommer i att sköljas över av alla inrullande vågor vid sydlig vind.

Tabell 6: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid södra delen av Verkö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg och vinduppstuvning	<3,25 m	< 3,4 m	< 3,55 m	< 3,55 m
EVS inkl. våguppsköljning vid vertikala kajer		< 5,7 m	< 5,85 m	
Som ovan vid slänt med sprängsten, släntlutning 1:2		< 5,75 m	< 5,9 m	

4.3.3.1 Förslag på skyddsåtgärder södra Verkö

Högst våguppsköljning vid Södra Verkö sker på de vertikala kajerna. Uppsköljningen skulle kunna reduceras genom permeabla kajer som är konstruerade för att absorbera en del av vågenergin från den typ av vågor som i värsta fall kan förekomma.

Med en lägre släntlutning på exempelvis 1:3 fås endast cirka 1,5 meter uppsköljningshöjd om slänterna består av minst två lager stenblock. Flackare slänter innebär dock att slänterna blir bredare i horisontalled. För att inte riskera att skapa ett alltför begränsat vattendjup för sjöfarten i anslutning till kajerna, föreslås att slänterna görs flackare och breddas in mot land, alternativt ersätts med en permeabel kaj enligt beskrivning ovan.

En viss överspolning kan vara acceptabel på en kaj av denna typ om det inte finns några alltför känsliga objekt i närheten. I sådana fall bör det finnas dräneringskanaler/dagvattensystem som är dimensionerade för att avleda de vattenmängder som överspolande vågor kan ge upphov till. Om överspolning på kajen tillåts, bedöms det vara fördelaktigt att delar av stranden består av flacka slänter med stenblock. Sådana slänter skulle lokalt ge lägre uppsköljningshöjd och därmed minska den totala volym vatten som behöver avledas.

Ovanstående skyddsåtgärder kan med fördel kombineras med en friliggande vågbrytare sydväst om Verkö. Denna bör ligga på tillräckligt stort avstånd från ön för att inte påverka fartygs manöverutrymme.

4.3.4 Torstäva

Tabell 7 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Torstäva år 2150 vid fyra olika vindriktningar. Torstäva är det område där framtida extremvattenstånd beräknas påverka störst landyta. Flera områden med befintlig bebyggelse riskerar att bli översvämmade, liksom en liten del av Europaväg 22. Viken intill Torstäva är relativt skyddad och mycket långgrund. Eftersom strandnära mark är relativt flack bedöms viken vara långgrund även vid ett framtida extremvattenstånd. Att viken är långgrund innebär att inrullande vågor kommer att bryta på grund av begränsat djup och förlora större delen av sin energi innan de når fram till strandkanten. Våguppsköljningen i den inre delen av viken som är markerad i Figur 1-1 bedöms därför bli obetydlig. De brytande vågorna ger ändå upphov till en viss våguppstuvning vilken är medräknad i extremvattenståndet som presenteras i Tabell 7.

Tabell 7: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Torstäva år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,2 m	< 3,5 m	< 3,65 m	< 3,65 m

4.3.4.1 Förslag på skyddsåtgärder Torstäva

Inre delen av viken vid Torstäva är redan idag väl skyddad mot våguppsköljning. Som övriga skyddsåtgärder för Torstäva föreslås generellt att marken under och i närheten av byggnader, vars grundsättning ligger på en höjd som riskerar att nås av vatten, bör vara mycket väl dränerad för att under en kortare tid kunna absorbera en del av vattnet som annars skulle nå fram till byggnader.

4.3.5 Mariedal

Tabell 8 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Mariedal år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning. Delar av campingplatsen nära Skönstavik, den småbåtshamn som ligger söder om Lorentsberg och delar av Sunnavägen riskerar att översvämmas.

Våghöjden utanför Mariedal kan vid högvattentillfällen uppgå till omkring 0,5 meter utanför Mariedal. Stränderna består idag främst av klippor med varierande lutning samt sandstränder. Våguppsköljningen på klipporna beräknas kunna bli upp till 1,3 meter utöver extremvattenståndet vid sydvästlig vind vid den släntlutning som ger högst uppsköljningshöjd (cirka 1:2). Släntlutningar på 1:5 beräknas exempelvis endast ge en uppsköljningshöjd på drygt 0,5 meter utöver extremvattenståndet.

Vid övriga vindriktningar kommer våguppsköljningen bli lägre.

Stranden väster om Mariedal utgörs till stor del av klippor. Dock finns det ett par sandstränder som riskerar att erodera i framtiden.

Tabell 8: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Mariedal år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,25 m	< 3,4 m	< 3,55 m	< 3,55 m
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:2			< 4,85 m	
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:5			< 4,1 m	

4.3.6 Saltö

Tabell 9 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Saltö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Våghöjden utanför Saltö kan vid högvattentillfällen och stark sydvästlig vind uppgå till omkring 1,1 meter. Stränderna består idag främst av klippor med varierande lutning samt sandstränder. Våguppsköljningen på klippor beräknas kunna bli upp till 2,8 meter utöver extremvattenståndet vid sydvästlig vind vid den släntlutning som ger högst uppsköljningshöjd (cirka 1:2). Släntlutningar på 1:5 beräknas endast ge en uppsköljningshöjd på knappt 1,1 meter utöver extremvattenståndet. Våguppsköljningen summeras med extremvattenståndet i Tabell 9.

Saltö kommer i framtiden att bli ännu mer utsatt för vågor jämfört med idag, eftersom de skär och grundområden som ligger sydväst om Saltö kommer att ge mindre skydd när havet stiger. Det finns därmed en uppenbar risk att sandstränderna på sydvästra Saltö (Saltösand) kommer att erodera i framtiden. Erosionen kan påverka stabiliteten i marken även på högre nivåer.

Tabell 9: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Saltö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,25 m	< 3,35 m	< 3,45 m	< 3,45 m
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:2		< 5,95 m	< 6,25 m	
Som ovan vid släntlutning 1:5		< 4,25 m	< 4,55 m	

4.3.7 Södra Långö och nordvästra Trossö

Tabell 10 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid södra Långö och nordvästra Trossö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning. Det är främst områden på södra och norra delarna av ön som riskerar att översvämmas. Dock kan våguppsköljningen bli stor längs sydvästra stranden.

Våghöjden i denna inre fjärd kan vid högvattentillfällen och stark sydvästlig vind uppgå till omkring 0,5 meter. Stränderna består idag främst av klippor och steniga stränder med varierande lutning. Våguppsköljningen på klipporna beräknas kunna bli upp till 1,3 meter utöver extremvattenståndet vid sydvästlig vind vid den släntlutning som ger högst uppsköljningshöjd (cirka 1:2). Uppsköljningen på de steniga stränderna bedöms

bli betydligt lägre, maximalt 0,9 meter. Lutningar på 1:5 beräknas endast ge en uppsköljningshöjd på drygt 0,4 meter utöver extremvattenståndet.

Tabell 10: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid södra delen av Verkö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,3 m	< 3,35 m	< 3,45 m	< 3,5 m
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:2			< 4,75 m	
Som ovan med släntlutning 1:5			< 3,85 m	

4.3.8 Stumholmen

Tabell 11 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Stumholmen år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

De värsta vindriktningarna med avseende på vågor och extremvattenstånd är syd och sydväst. Idag är Stumholmen delvis skyddad av Lindholmen vid dessa vindriktningar. Lindholmen beräknas dock till stor del vara översvämmad vid ett extremvattenstånd 2150 och vågskyddet blir därmed svagare om inga framtida åtgärder görs vid Lindholmen.

Våghöjden kan vid högvattentillfällen uppgå till omkring 0,7 meter. Stränderna består idag främst av kajer och steniga stränder. Våguppsköljningen på kajerna beräknas kunna bli upp till 1,3 meter utöver extremvattenståndet. Uppsköljningen på de steniga stränderna bedöms bli likvärdig, upp till maximalt 1,3 meter vid en lutning på 1:2. Vid flackare lutningar blir uppsköljningshöjden lägre.

Tabell 11: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Stumholmen år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,3 m	< 3,25 m	< 3,45 m	< 3,5 m
EVS inkl. våguppsköljning vid vertikala kajer			< 4,75	
Som ovan vid slänt med sprängsten, lutning 1:2			< 4,75	

4.3.9 Handelshamnen

Tabell 12 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Handelshamnen år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning på hamnens vertikala kajer.

De vindriktningar som ger högst extremvattenstånd är västliga och sydvästliga. Vid dessa vindriktningar fås dock inget ytterligare bidrag i form av våguppsköljning.

Våghöjden kan däremot vid framtida extremvattenstånd uppgå till nästan 1 meter vid 20 m/s ostlig vind. Om Handelshamnens framtida kajer är vertikala och icke-permeabla kan våguppsköljningen addera upp till 1,8 meter utöver extremvattenståndet. Om de framtida kajerna konstrueras för att absorbera vågenergi kan detta även ha positiv inverkan på vågklimatet vid Pottholmen och Hattholmen.

Tabell 12: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Handelshamnen år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,3 m	< 3,25 m	< 3,45 m	< 3,5 m
EVS inkl. våguppsköljning vid vertikala kajer	<5,1 m			

4.3.10 Västra och östra Ringö

Tabell 13 Tabell 12 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid västra Ringö och norra Verkö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning. Den strandnära bebyggelsen väster om Ringövägen riskerar att översvämmas, och vattnet riskerar även att nå upp till Ringöhemmet som ligger beläget på udden norr om Ringövikén.

De vindriktningar som ger högst extremvattenstånd är västliga och sydvästliga. Vid dessa vindriktningar fås ytterligare bidrag i form av våguppsköljning.

De mest vågutsatta stränderna i detta delområde är västra Ringö. Våghöjden utanför västra och östra Ringö kan vid framtida extremvattenstånd uppgå till omkring 0,55 meter vid 20 m/s sydvästlig vind. Lutningen av framtida strandlinje på västra Ringö vid extremvattenstånd bedöms vara omkring 1:3 och denna slänt antas vara slät och gräsbevuxen. Våguppsköljningen beräknas utifrån detta bidra med cirka 0,8 meter utöver extremvattenståndet och kommer att spola upp mot bebyggelsen öster om Ringövägen. Detta förutsätter att eventuell översvämmad bebyggelse som år 2150 eventuellt finns kvar på västra sidan av Ringövägen inte fungerar som ett skydd mot vågor.

På östra Ringö kommer vattnet vid ett extremvattenstånd 2150 att nå upp till ett klippigt område som idag är täckt av skog. Våguppsköljningen beräknas här kunna bli omkring 0,7 meter.

Tabell 13: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid västra och östra Ringö år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppsköljning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,25 m	< 3,35 m	< 3,50 m	< 3,55 m
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:3 (västra Ringö)			< 4,3 m	
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:3 (östra Ringö)			< 4,2 m	

4.3.11 Lyckeby

Tabell 14 Tabell 12 visar beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Lyckeby år 2150 vid fyra olika vindriktningar. Näst efter Torstäva är detta det område som påverkas mest sett till översvämningsytan. Vattnet kan nå upp till Stationsvägen. Området kring Sunna kanal beräknas också bli översvämmat.

De vindriktningar som ger högst extremvattenstånd är västliga och sydvästliga. Våguppsköljningen beräknas dock bli högst vid sydvästlig och sydlig vind, vilket kan ge ett bidrag på cirka 0,35 respektive 0,3 meter om inga åtgärder mot våguppsköljning

vidtas i framtiden. Våghöjder beräknas bli lägre än 0,4 meter strax innan de når stranden med en vågperiod på 1,5–2 sekunder.

Tabell 14: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 vid Lyckeby år 2150 vid fyra olika vindriktningar.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd (EVS) inkl. våg- och vinduppstuvning	<3,25 m	< 3,45 m	< 3,6 m	< 3,55 m
EVS inkl. våguppsköljning vid släntlutning 1:5		< 3,75 m	< 3,95 m	

5 Diskussion

Resultaten är konservativa, vilket innebär att de är försiktiga på flera sätt. När vi pratar om återkomsttid, menar vi hur ofta ett extremt väderfenomen förväntas inträffa. I Karlskrona är det mycket ovanligt att ett extremvattenstånd förekommer samtidigt som stark vind. Vindhastigheten som använts har baserats på återkomstvärden av vindar som förekommer i samband med höga vattenstånd med 200 års återkomsttid. Den kombinerade återkomsttiden för ett tillfälle där en sådan vindhastighet förekommer samtidigt som ett extremvattenstånd med 500 års återkomsttid, bedöms vara betydligt längre än 500 år. Det vill säga, det är mycket ovanligt att dessa två extrema händelser inträffar samtidigt även om det finns en viss samvariation mellan extremvindar och extremvattenstånd. I Karlskrona är denna samvariation relativt svag, vilket betyder att de högsta vattenstånden inte har inträffat samtidigt som de högsta vindhastigheterna, vilket är tydligt i Figur 2-1. Detta beror på att det vid Karlskronas läge längs Östersjökusten uppstår en tidsförskjutning mellan tidpunkterna för stormens kulmen och extremvattenståndet som blir fördröjt eftersom det bestäms av vattnets svängningsperiod i Östersjöbassängen. På många andra platser längs kusten sammanfaller extremvindar och extremvattenstånd betydligt närmare varandra i tiden.

De allra högsta uppmätta vattenstånden sedan 1942 har endast förekommit vid nordvästliga och nordliga vindriktningar. Dessa vindriktningar ger dock inte upphov till några betydelsefulla lokala effekter i form av vind- och våguppstuvning. Utifrån den statistiska analysen riskerar dock de högsta extremvattenstånden att uppstå samtidigt som vinden är västlig. Det betyder inte att extremvattenståndet kommer att skapas av västlig vind utan endast att vinden kan ha vridit till väst vid den tidpunkt som vattenståndet är som högst. Det är dock endast vid ett enstaka tillfälle som ett relativt högt vattenstånd uppmäts medan vinden legat i den västliga sektorn (225-315°). Detta avvikande tillfälle har därmed mycket stor påverkan på statistiken. Detta har som följd att konfidensintervallet blir större i detta fall jämfört med övriga. Statistiskt sett är dock 500-årsvärdet vid västlig vindriktning är precis lika sannolikt som 500-årsvärdet vid nordlig vindriktning då de flesta höga vattenstånd förekommer.

Som nämnts i början av avsnitt 0 baserar sig beräkningarna av extremvattenståndet vid sydvästlig vind inte på samma statistiska underlag som beräkningarna av extremvattenståndet vid övriga vindriktningar. Enligt data i Figur 2-1 är det extremt ovanligt att höga vattenstånd förekommer samtidigt som sydvästlig vindriktning. Således är det svårt att bedöma hur sannolika de sammanlagda siffrorna av extremvattenstånd och våguppsköljning är vid sydvästlig vindriktning. Men i och med att vindriktningar kan varieras relativt snabbt bedöms även det sydvästliga fallet behöva beaktas. Vid flera utpekade platser är det just detta fall som ger högst sammanlagda siffror av extremvattenstånd och våguppsköljning.

För att ta höjd för osäkerheter i klimatprognosen har 83-percentilen av framtida klimatvattenstånd valts. Denna percentil motsvarar den övre gränsen för det sannolika intervallet i prognosen. För att ta höjd för statistiska osäkerheter har det övre 95 % konfidsintervall valts för de rikttningsberoende vattenstånden. Sammantaget bedöms även detta vara rimligt utifrån en försiktighetsprincip. De resulterande nivåerna är i samma storleksordning som de som idag rekommenderas av Boverket och som används i Länsstyrelsen Blekinges riktlinjer¹⁰.

Resultaten indikerar att ett flertal platser behöver skyddas mot våguppsköljning. Detta bedöms vara särskilt problematiskt vid kajer som behöver vara tillgängliga för förtöjning av större fartyg som både kräver manöverutrymme och relativt stort vattendjup, exempelvis kajen på södra Verkö. Sådana kajer behöver sannolikt konstrueras för att absorbera vågenergi eller för att klara den överspolning som blir resultatet av att våguppsköljningen når upp till kajens överkant. Observera att uppsköljningshöjden endast gäller för de 2 % allra högsta vågorna och att det i snitt kan förflyta minst en minut mellan de gånger som sådana vågor förekommer nära stränderna innanför ö-barriären. Eftersom ett extremvädertillfälle ofta har en varaktighet på någon timme är det följaktligen ett begränsat antal (några tiotals) vågor som når beräknad uppsköljningshöjd summerat med extremvattenstånd inklusive vind och våguppstuvning. Den sammanlagda varaktigheten av samtliga dessa våguppsköljningar bedöms vara några minuter. Strandnära höjder på samma nivå som det lokala extremvattenståndet kommer samtidigt att sköljas över i princip kontinuerligt av samtliga inrullande vågor.

Ett högre framtida vattenstånd kan innebära att risken för erosion av mark i närheten av stranden kan komma att öka. Detta gäller främst om markmaterialet består av en hög andel sand. Eventuell framtida erosion kommer dock sannolikt att begränsas till mindre isolerade områden eftersom kustlinjen innanför ö-barriären är mycket flikig och befintliga sandstränder är relativt korta och angränsas av klippor.

6 Figurer

På följande 8 sidor visas extremvattennivåer för år 2150 i RH2000 inklusive vind- och våguppstuvningseffekter samt beräknade signifikant våghöjder vid vindstyrkor kopplade till höga vattenstånd med 200 års återkomsttid. Upplösningen i beräkningarna och i dessa bilder är 25 meter. Detta innebär att de yttre gränserna av översvämmade ytor får ses som en grov uppskattning av utbredningsområdet. Beräknade höjder är betydligt mer exakta.

¹⁰ Riktlinjer för bedömning av översvämningsrisk längs Blekinges kust med hänsyn till klimatförändringar, Länsstyrelsen Blekinge, Diarienummer 2646-2023, 2023-12-08.

