

PM

Handläggare
Walter Gyllenram
Jesper Österling
Anna Collin
Tel
+46105051935
Mobil
+46720837803
E-post
walter.gyllenram@afry.com
Datum
2025-05-12
Projekt ID
D0208974
Granskare
Christin Eriksson

Mottagare
Linda Nilsson
Karlskrona kommun

Våg- och vinduppstuvning samt våguppsköljning intill infartsleden i Karlskrona baserat på extremväderhändelse år 2150

1 Bakgrund

På uppdrag av Karlskrona kommun genomför AFRY en utredning av lokala effekter av våg- och vinduppstuvning samt våguppsköljning vid extrema vattenstånd i Karlskrona skärgård. Syftet med utredningen är att undersöka hur förutsättningarna varierar längs olika delar av kusten, och att ta fram lokalt anpassade rekommendationer om lämplig höjdsättning samt, i vissa fall, även förslag på skyddsåtgärder såsom kustskydd.

Utredningen omfattar detaljerade studier av särskilt utpekade platser i kommunen där utvecklingsprojekt pågår. En av dessa platser är infartsleden i Karlskrona, där flera delprojekt genomförs som en del i arbetet med att utveckla stadens nya entré. Detta PM utgör en delleverans inom AFRY:s större uppdrag och redovisar resultaten för det område som angränsar tre delprojekt i stadens entré: Östra pottholmen, Skeppsbron och Hattholmen.

PM



Figur 1-1: Flygvy över området som studeras i detta PM. Bild tillhandahållen av Karlskrona kommun.

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.

PM

2.1 Medelvattenstånd 2150

Medelvattenståndet 2150 är hämtat från SMHI¹. Eftersom framtida projektioner är osäkra har 83-percentilen valts. För det högsta troliga klimatscenariot SSP5-8.5 ligger denna nivå på 196 cm i RH2000.

2.2 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 visat i Tabell 1. 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 % konfidensintervall.

Tabell 1: 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 % konfidensintervall. 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)

Översta raden i Tabell 1 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 trunkerade tidsserien 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 2.

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

PM

Tabell 2: 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)

2.3 Vindhastigheter vid extremvattenstånd

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

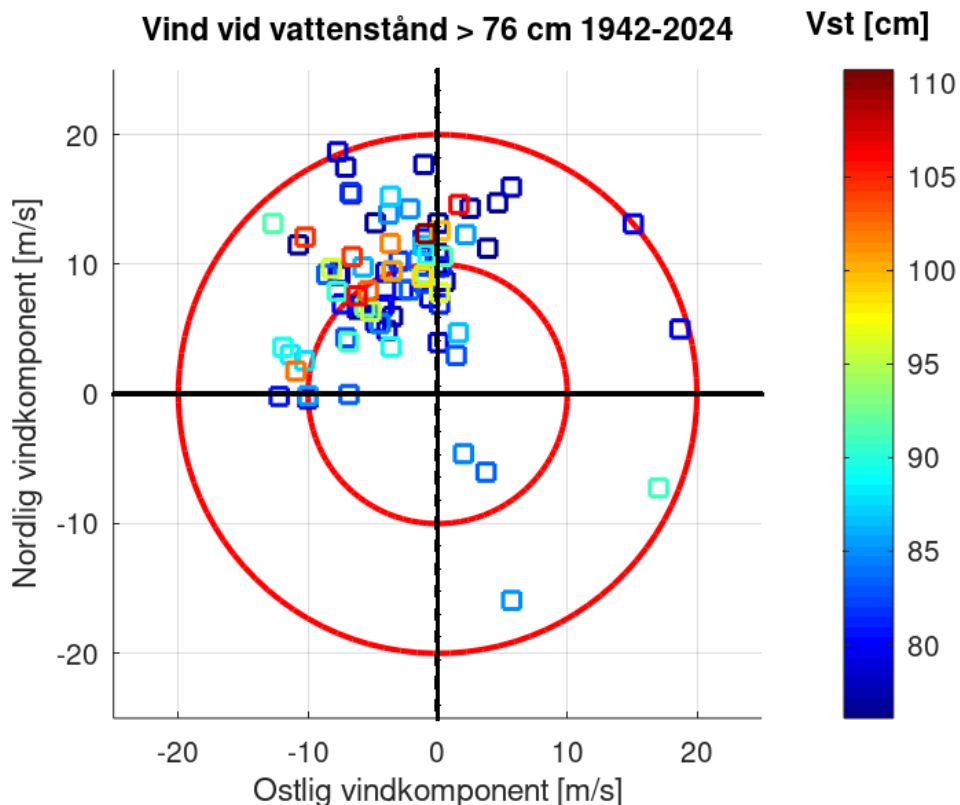
Figur 2-1 visar sambandet mellan de högsta uppmätta vattenstånd, vindriktning och vindstyrka för åren 1942-2024. Resultaten visar att det oftast råder nordvästliga vindar vid höga vattenstånd. Vindkomponenterna avser den riktning vinden kommer ifrån.

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.

Återkomstvärdena för extremvindar har beräknats baserat på vindhastigheter vid alla noterade årsmaximala vattenstånd. Detta resulterar i en vindhastighet med 200-årig 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 förekommer vid andra vindriktningar.

Sammanfattningsvis används vindhastigheter på 20 m/s för att beräkna våg- och vinduppstuvning. Med tanke på att dessa lokala effekter främst uppstår vid andra vindriktningar än nordväst till nord är 20 m/s ett konservativt val.

PM



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 Vinduppstuvning

Lokal vinduppstuvning har beräknats med hjälp av den numeriska modellen Delft3D-FLOW².

2.5 Våguppstuvning och våghöjd

Lokal våguppstuvning och signifikant våghöjd har beräknats med hjälp av den numeriska modellen SWAN³. 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.

² <https://oss.deltares.nl/web/delft3d> (2025-05-09)

³ <https://swanmodel.sourceforge.io/> (2025-05-09)

PM

2.6 Våguppsköljning

Våguppsköljningen, det vill säga den vertikala höjd som enskilda vågor kan skölja upp är baserad på vedertagna empiriska metoder tillhandahållna av EurOtop⁴. Ett vågfält består av vågor av varierande våghöjd. Vid våguppsköljning är vedertagen praxis att studera uppsköljningshöjden av de 2 % högsta vågorna. 49 av 50 uppsköljande vågor når med andra ord inte denna höjd.

Höjden på uppsköljningen påverkas av en kombination av strandens lutning, vågperioden och våghöjden.

3 Resultat

Resultater av extremvattenstånd år 2150 har beräknats i fyra vindriktningar. Resultaten presenteras visuellt i avsnitt 5 där även beräknade våghöjder visas.

Vid nordliga vindar kommer vattenståndet vid Karlskrona vara lägre än vattenståndet vid Kungsholmsfort (342 cm i RH2000) eftersom vinden trycker vattnet söderut. Även våghöjderna i det aktuella området kommer att vara små. Istället har ett beräkningsfall med sydvästliga vindar studerats. Som visas i Figur 2-1 har det sedan 1942 aldrig varit höga vattenstånd i Karlskrona vid sydvästlig vind. Denna vindriktning kan dock ge relativt höga vågor vid andra platser i närområdet som kommer att studeras i en kommande rapport. Indata till det sydvästliga beräkningsfallet baseras på medelvärden av indata till det sydliga och västliga beräkningsfallen.

Våguppsköljningen 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 (medelvärdet 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 lägre släntlutning på exempelvis 1:5 fås endast cirka 40 cm uppsköljningshöjd. Uppsköljningen kan dock reduceras ytterligare med lägre släntlutningar eller om slänten täcks av exempelvis sprängsten i lämplig dimension. Alternativt kan den reduceras med en friliggande vågbrytare i hamnbassängen öster om vägen eller genom att hamnens inlopp vid extrema väderhändelser tillfälligtvis stängs med en flytande vågbrytare av samma typ som planeras att användas vid inloppet. Om lämpliga åtgärder vidtas bedöms det rimligt att våguppsköljningen vid östliga-sydliga vindriktningar kan begränsas så att den totala nivån blir lägre än 3,5 m även vind östlig och sydlig vindriktning.

⁴ <https://www.overtopping-manual.com/> (2025-05-09)

PM

Tabell 3: Beräknat lokalt extremvattenstånd i RH2000 intill infartsleden år 2150 vid fyra olika vindriktningar samt bidrag från våguppstuvning.

Vindriktning	Ost	Syd	Sydväst	Väst
Extremvattenstånd inkl. våg och vinduppstuvning	<3,3 m	< 3,25 m	< 3,45 m	< 3,5 m
Som ovan inkl. våguppstuvning vid släntlutning 1:3	<4,0 m	< 3,9 m		
Som ovan med släntlutning 1:5	<3,7 m	< 3,65 m		

4 Diskussion

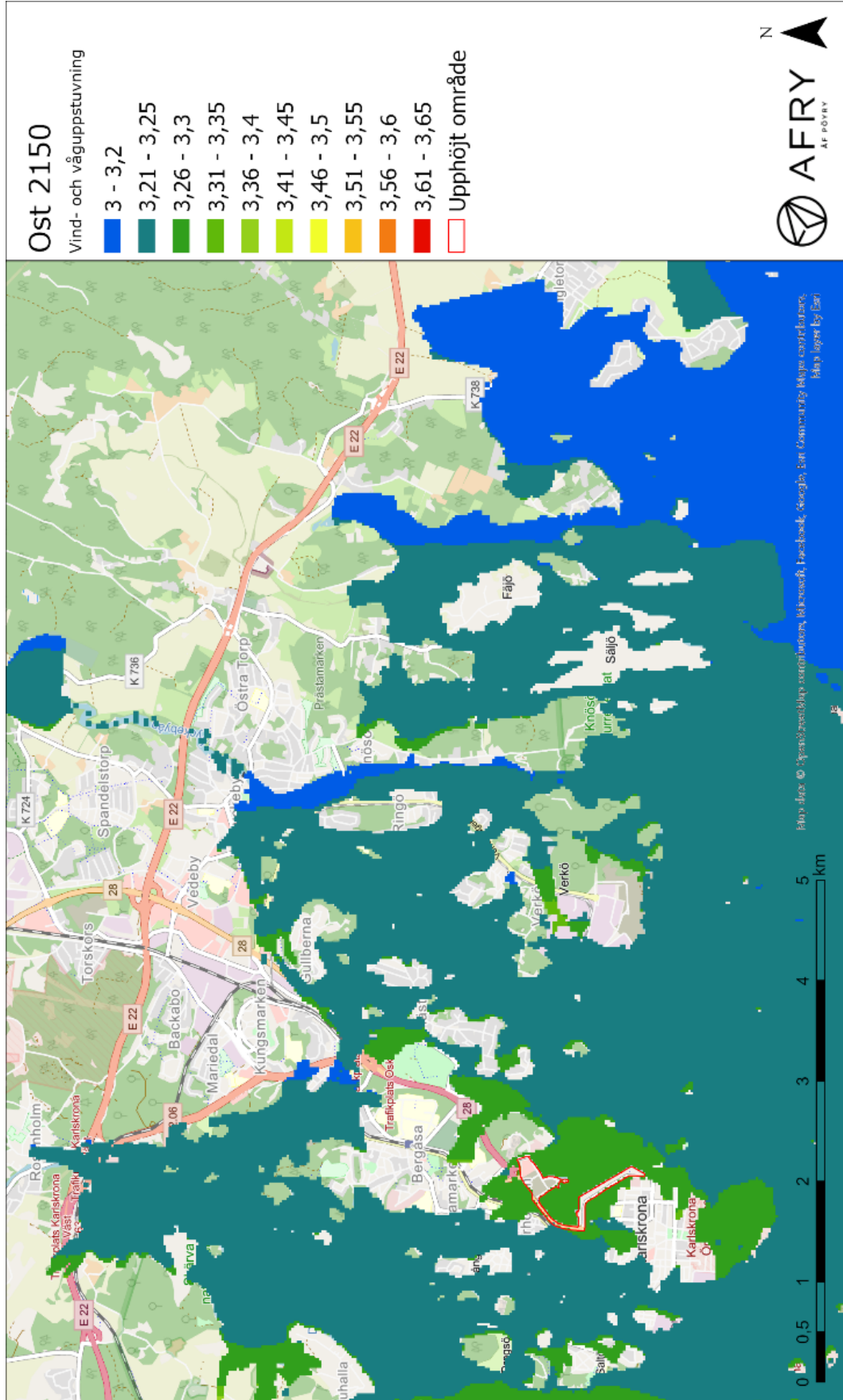
Extremtillfällen av höga vattenstånd är kortvariga och varar i regel bara någon timme. Resultaten är konservativa, vilket innebär att de är försiktiga på flera sätt. När vi pratar om återkomsttid, menar vi hur ofta ett extremt väderfenomen förväntas inträffa. Den kombinerade återkomsttiden för ett tillfälle där en vindhastighet med 200 års återkomsttid 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.

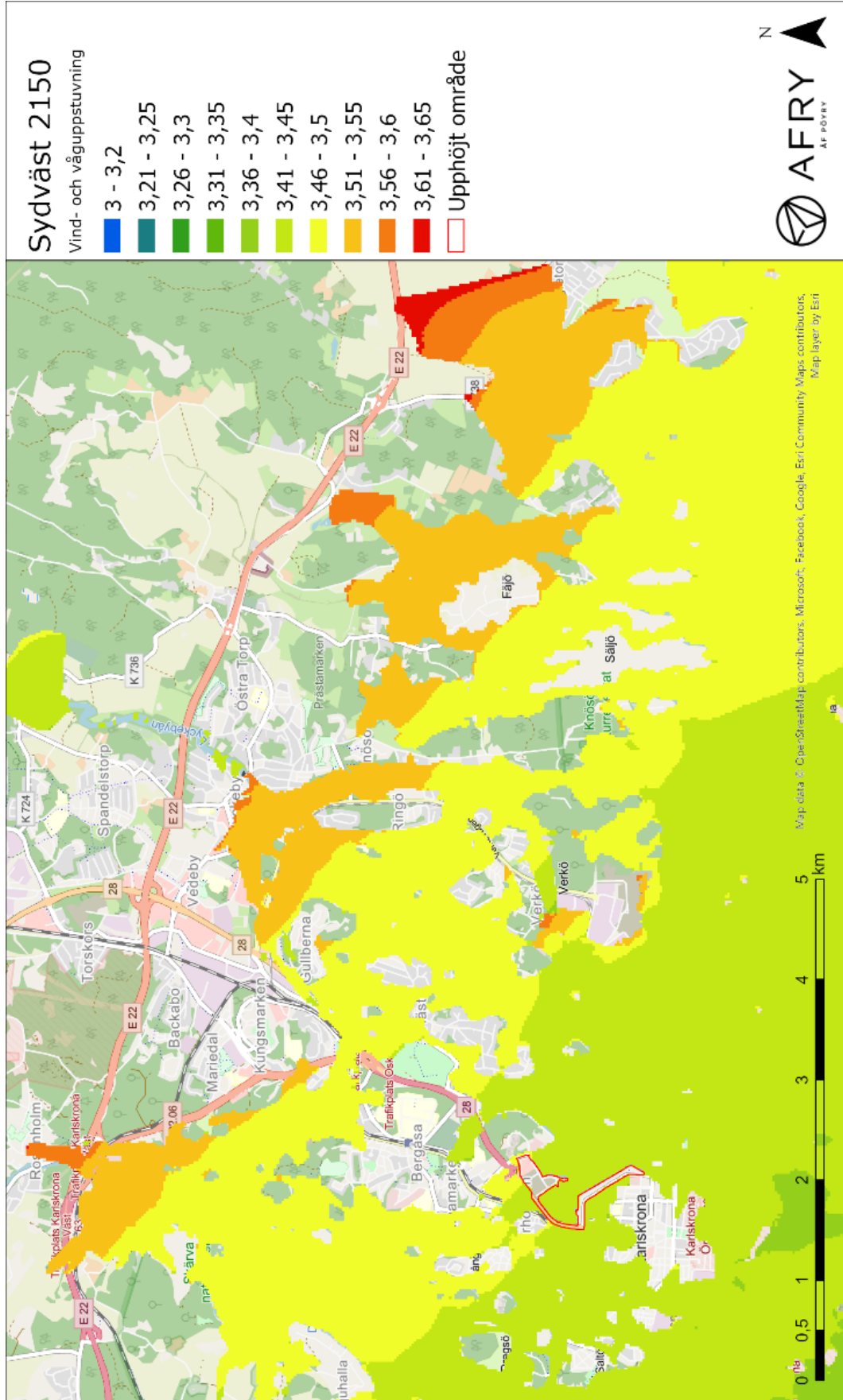
I Karlskrona är denna samvariation relativt svag, vilket betyder att de högsta vattenstånden inte har inträffat samtidigt som de högsta vindhastigheterna. Högst tillfälliga nivåer i det aktuella området uppstår vid ostliga vindar när våguppstuvningen också bidrar. Ostliga vindar samtidigt som höga vattenstånd är ovanligt, men när detta sker har vindhastigheten varit högre än vid andra vindriktningar. De allra högsta uppmätta vattenstånden sedan 1942 har dock endast förekommit vid nordvästliga och nordliga vindriktningar. Dessa vindriktningar ger dock inte upphov till några betydelsefulla lokala effekter i form av vind- och våguppstuvning i det aktuella området kring nya infartsleden.

PM

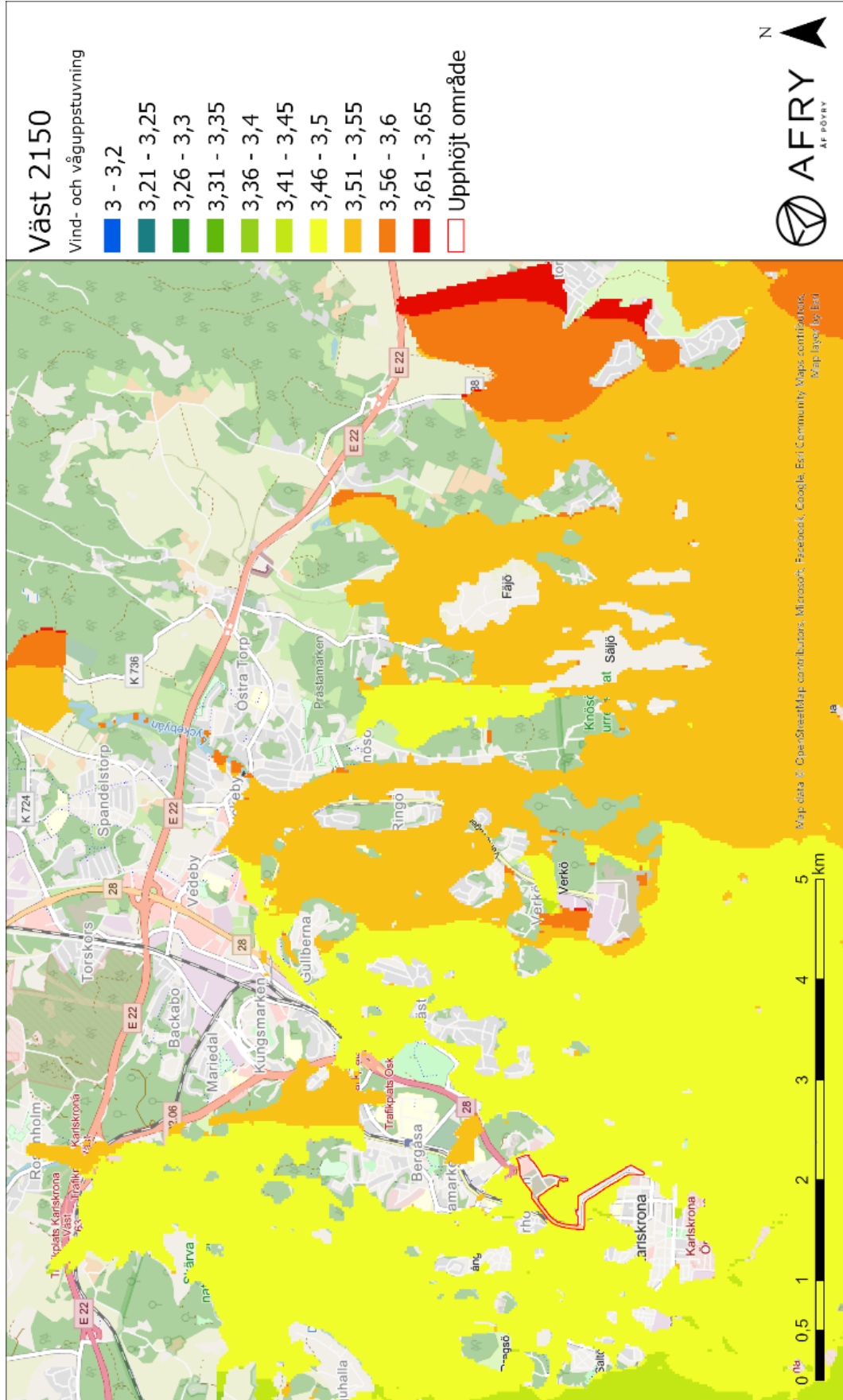
5 Figurer

På följande 8 sidor visas extremvattennivåer för år 2150 i RH2000 inklusive vind- och våguppstuvningseffekter samt beräknade signifikant våghöjder vid vindstyrkor med 200 års återkomsttid.

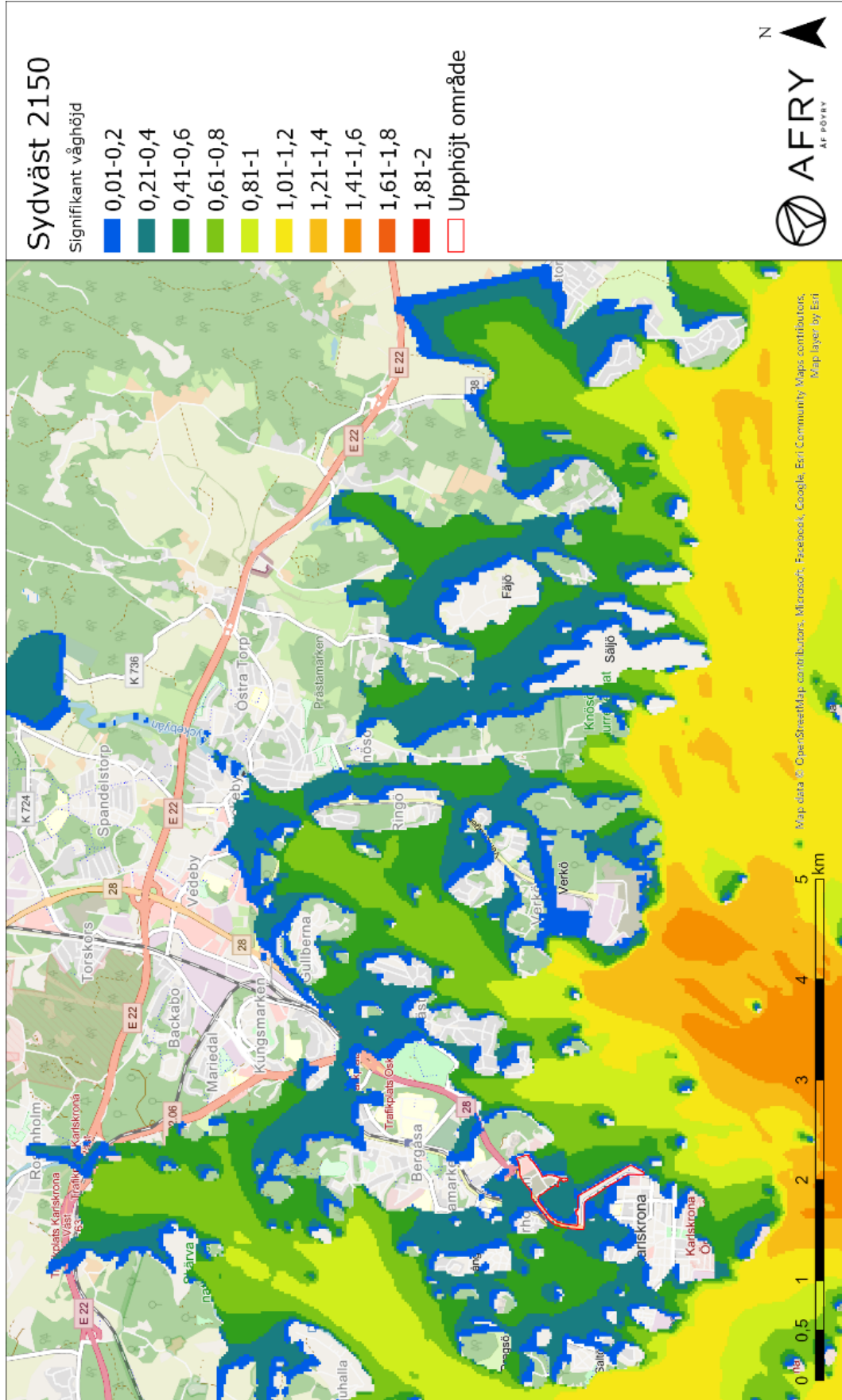
PM


PM


PM



PM



INTERNAL

