

Bedömning av extremvattenstånd i Nyköping

I nuvarande och framtida klimat



Ändringsförteckning

Ver	Datum	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänd av
1	2024-05-08	Grundversion	Gustav Edlund	Daniel Lundqvist

Sweco Sverige AB RegNo 556767-9849
Uppdrag Spelhagen_second_opinion
Uppdragsnummer 30070586
Kund Klövern Nyköping Spelhagen 1:7 AB

Upprättad av Gustav Edlund & David Hirdman
Datum 2024-05-08
Dokumentreferens Bedömning av extremvattenstånd i Nyköping

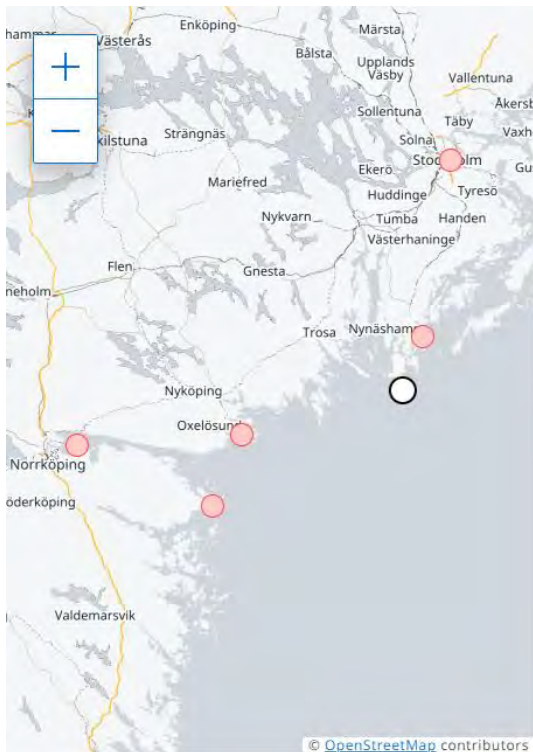
Innehållsförteckning

1	Bakgrund och syfte.....	4
2	Metod.....	5
3	Resultat	6
3.1	Högvattenhändelser utomskärs	6
3.2	Extremhögvatten utomskärs i ett framtida klimat.....	8
3.3	Lokal vinduppstuvning i Stads- och Mellanfjärden.....	9
3.4	Högt havsvattenstånd och höga flöden i Nyköpingsån.....	10
3.5	Extremhögvatten från havet i Nyköping år 2100.....	12
4	Slutsats och diskussion	13
5	Referenser.....	13

1 Bakgrund och syfte

Klövern AB önskar att Sweco utför en second opinion av de tidigare utredningarna samt utför ytterligare utredning rörande skyfallshanteringen och skydd mot höga havsnivåer för detaljplanen. Arbetet innefattar bedömning av rimligheten av tidigare föreslagna dagvattenhantering, översyn av planeringshorisonter med framtagande av framtida havsnivåer, utförande av kompletterande modellberäkningar för att dimensionera skyfallsåtgärder samt säkerställa att detaljplanen uppfyller länsstyrelsens riktlinjer för skyfallshantering.

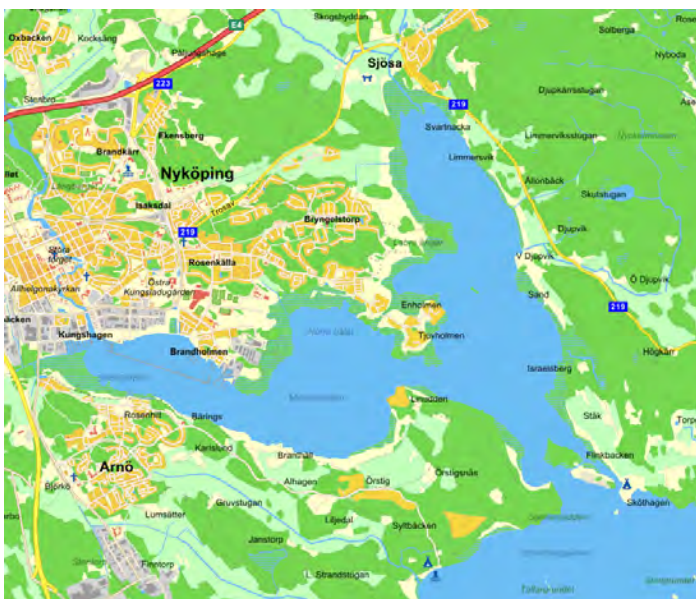
Den föregående utredningen med avseende på översvämningssrisker i samband med högvattenhändelser från havet (Sweco, 2022) använde senast tillgängliga data med avseende på framtida havsnivåer (IPCC, AR6), men den bedömning som gjordes av platsens dimensionerande högvattenhändelse bedöms som icke representativ. Högvattenhändelsen togs fram utifrån observationer från observationsstationen för havsnivåer, Landsort Norra (vit cirkel i Figur 1). Denna observationsstation har en lång mätserie, men dess läge ute i Södermanlands yttre skärgård, att jämföra med Nyköpings läge inne i slutet av en vik på fastlandet medför att observationerna från Landsort inte bedöms kunna användas rakt av vid en bedömning av högvattennivåer i Nyköping. Syftet med denna utredning är att ta fram mer representativa nivåer för extrema högvattenhändelser för området kring Nyköping och översiktligt beskriva hur dessa nivåer samvarierar med nivåerna vid närbelägna observationsstationer med avseende på exempelvis vindriktning. Därutöver kommer det redovisas hur framtagna extrema högvattenhändelser påverkas av pågående havsnivåhöjningar vilket kommer att redovisas för ett flertal tidssteg. Framtagna framtida extrema högvattenhändelser redovisas med ett kombinerat konfidensintervall.



Figur 1. Tillgängliga SMHI observationsstationer för havsvattenstånd i regionen kring Nyköping (karta från smhi.se).

2 Metod

Flödet av havsvatten i samband med en högvattenhändelse in i den havsvik som ansluter Nyköping till havet (se Figur 2) bedöms vara obegränsat av områdets batymetri. Detta innebär att högvattnets magnitud utomskärs även återfås inne i havsviken.



Figur 2. Översiktsbild över Nyköping och intilliggande havsvik.

SMHI och Sjöfartsverket tillhandahåller mätningar av havsvattenstånd vid tre, för Nyköping relevanta, stationer: Marviken/Arkö, Landsort Norra samt Oxelösund. Vid Marviken/Arkö och Landsort Norra är mätserierna förhållandevis långa, cirka 60 respektive cirka 138 år, jämfört med den vid Oxelösund på cirka 8 år. För de längre mätserierna vid Marviken/Arkö och Landsort Norra (belägna på längre avstånd från Nyköping) finns beräkningar av extremhögvattennivåer utförda av SMHI tillgängliga på smhi.se (SMHI, 2023). För att undersöka förhållandet mellan dessa längre mätserier och Oxelösund (belägen vid kustlinjen utomskärs utanför Nyköping) jämförs dessa statistiskt med avseende på högvattenhändelser.

Det saknas tillräckliga mätningar av havsvattenstånd i Nyköping eller i inomskärs havsvik (Stadsfjärden/Mellanfjärden). Lokala effekters påverkan på högvattenståndet inomskärs, så som vinduppstuvning i Stadsfjärden/Mellanfjärden och flöden i Nyköpingsån, undersöks genom att studera samvariationen mellan högvattenhändelser vid kusten (Oxelösund) och vind- och flödesförhållanden. Möjlig lokal vinduppstuvningskomponent till det totala vattenståndet vid ett extremhögvatten i Nyköping uppskattas med hjälp av överslagsräkning och information från sjökort.

Slutligen beräknas nivåer för extrema högvattenhändelser i Nyköping från idag (2024) fram till tidshorisonten 2150 för utsläppsscenarioet SSP5-8,5. Beräkningarna presenterar ett medianvärde samt ett tillhörande kombinerat konfidensintervall för respektive tidshorisont. Konfidensintervallet är baserat på den kombinerade osäkerheten från klimatprojektioner för framtida medelvattennivå samt osäkerheten i beräkningen av extremnivån. Beräkningen görs utifrån antaganden i enlighet med metodiken för skattning av höga havsvattenstånd och kombinerade konfidensintervall som togs fram åt MSB av SMHI i samband med Översvämningsdirektivets andra cykel. För en fullständig redogörelse av gällande beräkningsantaganden hänvisas läsaren till (SMHI, 2018), kapitel 3.1.

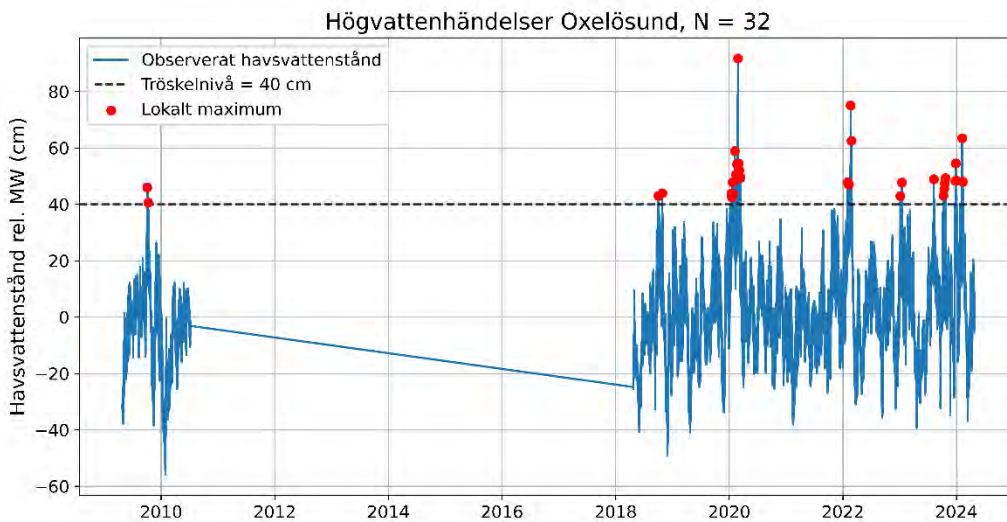
3 Resultat

Analysresultaten har delats upp i form av delresultat i följande underavsnitt. I Avsnitt 3.5 presenteras resulterande nivåer för extremhögvatten i Nyköping år 2100.

3.1 Högvattenhändelser utomskärs

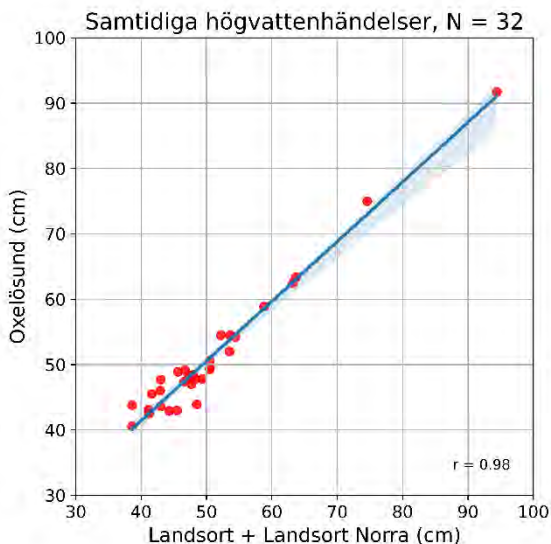
Medelvattenståndet är av SMHI uppskattat till samma nivå, cirka +9 cm, i förhållande till RH2000 år 2024 för de tre observationsstationerna Marviken/Arkö, Oxelösund samt Landsort. Vid en högvattenhändelse rör sig vattenståndshöjningen antingen från sydväst mot nordost eller tvärtom längs kusten vilket innebär att högvattentopparna inträffar med cirka en halvtimme till någon timmes fördröjning mellan Landsort, Oxelösund och Marviken.

Ett urval av högvattenhändelser vid Oxelösund (32 händelser högre än 40 cm relativt medelvattenståndet, se Figur 3) har jämförts mot samtidiga högvattenhändelser vid både Marviken/Arkö och Landsort. För att ta hänsyn till tidsfördröjningen har en samtidig högvattenhändelse definierats som den högsta uppmätta nivån inom samma 6-timmarsperiod. För att en händelse ska definieras som enskild måste den även uppfylla kriteriet om minst 24 timmars passerad tid i förhållande till föregående händelse.



Figur 3. Observerat havsvattenstånd vid Oxelösund med högvattenhändelser över 40 cm markerade i rött. Höjdsystem: relativt medelvattenstånd.

Korrelationen mellan samtidiga högvattenstånd är mycket hög för både Oxelösund och Marviken/Arkö såväl som Oxelösund och Landsort, se Figur 4. Regressionslinjens lutning och skärning motsvarar för båda kombinationer att $y \approx x$ vilket innebär att högvattenstånden vid både Marviken/Arkö och Landsort är representativa för de vid Oxelösund (trots Landsorts något längre avstånd till Oxelösund).



Figur 4. Samtidiga högvattenhändelser vid Oxelösund och Landsort (röda prickar). Händelserna motsvarar den högsta noteringen för respektive station inom samma 6-timmarsperiod. Blå linje och skuggning markerar en regressionslinje samt dess 95-procentiga konfidensintervall.

Eftersom observationerna vid Landsort pågått under längre tid än de lika vid Marviken/Arkö rekommenderas den förstnämnda att användas för fortsatta beräkning av extrema havsvattenstånd för Nyköping (en längre

observationsserie innebär ett bättre statistiskt underlag behäftat med lägre osäkerhet med avseende på extremvärdesberäkningen). Beräknade extremnivåer för Landsort finns tillgängliga på smhi.se och presenteras i Tabell 1 nedan. GEV och Lognormal innebär resulterande nivå relativt medelvattenståndet för två olika sannolikhetsfördelningar som anpassats mot underliggande årshögsta observationer vid Landsort enligt Blockmaximum-metoden. GPD innebär resulterande nivå för en sannolikhetsfördelning som anpassats mot underliggande högvattenhändelser över en viss tröskelnivå enligt Peak-Over-Threshold-metoden. För fördjupande information om respektive beräkningsmetoder hänvisas läsaren till (SMHI, 2022). Skillnaden mellan de tre sannolikhetsfördelningarna/metoderna är relativt liten (på centimeternivå). För vidare beräkningar används resultatet från Lognormal-fördelningen.

Tabell 1. Beräknade extremnivåer med tillhörande återkomsttid vid Landsort för tre olika sannolikhetsfördelningar/metoder. Tillhörande 90-procentigt konfidensintervall inom parentes. Höjdsystem: relativt medelvattenstånd. Källa: smhi.se

Återkomsttid	GEV	Lognormal	GPD
5 år	65 (63 - 68)	65 (63 - 68)	69 (67 - 72)
10 år	73 (70 - 76)	73 (70 - 76)	75 (73 - 78)
50 år	87 (82 - 93)	88 (83 - 94)	88 (83 - 93)
100 år	93 (86 - 100)	95 (88 - 101)	94 (87 - 101)
200 år	98 (90 - 107)	101 (94 - 108)	99 (91 - 109)

3.2 Extremhögvatten utomskärs i ett framtida klimat

SMHI:s beräkning av framtida medelvattenyta för Nyköpings kommun och utsläppsscenario SSP5-8,5 (SMHI, 2023) presenteras i Tabell 2.

Tabell 2. Beräknad medelvattenyta i RH2000 för Nyköpings kommun enligt (SMHI, 2023), median samt "sannolikt" intervall. Beräknade nivåer baseras på IPCC:s projektioner av framtida medelvattennivå på regional nivå enligt AR6, historisk lokal medelvattennivå samt lokal landhöjning.

	2050	2070	2100	2120	2150
Medelvattenstånd i RH2000 (SMHI, 2023)	0.22 (0.13-0.32)	0.31 (0.17-0.48)	0.54 (0.31-0.85)	0.63 (0.29-1.08)	0.83 (0.37-1.44)

Utifrån antaganden enligt (SMHI, 2018), kapitel 3.1, presenteras nivån för en extrem högvattenhändelse utomskärs i ett framtida klimat (SSP5-8,5) och ett tillhörande 95-procentigt konfidensintervall i Tabell 3. Konfidensintervallet kombinerar och inkluderar osäkerheten från klimatprojektionen (Tabell 2) samt osäkerheten i beräkningen av extremnivån i Avsnitt 3.1.

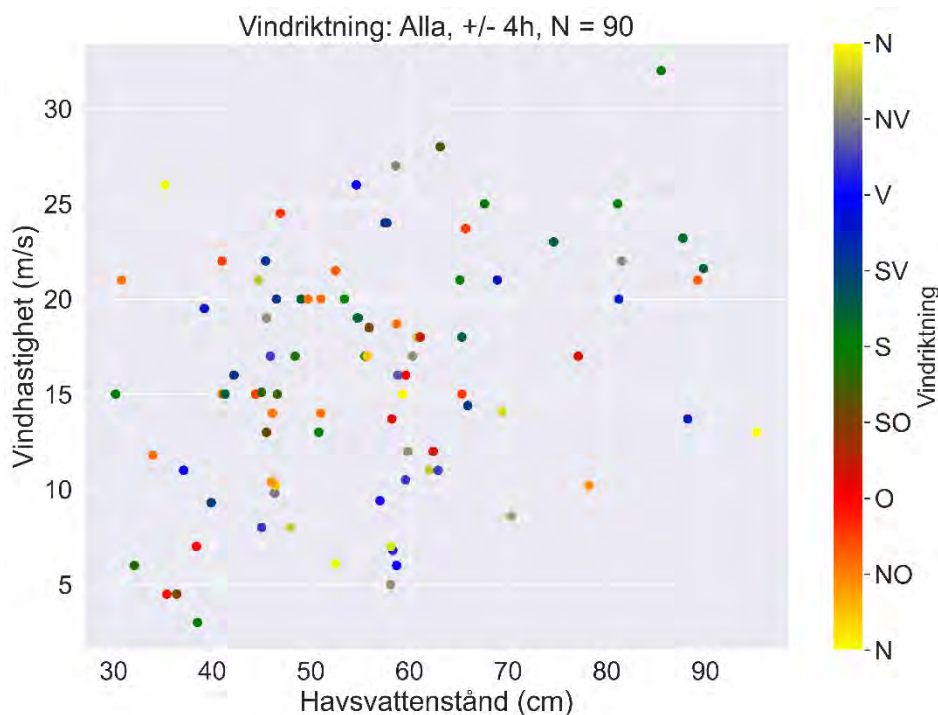
Tabell 3. Skattad utomskärs extremnivå med 100 respektive 200 års återkomsttid i RH2000 i dagens och ett framtida klimat enligt utsläppsscenario SSP5-8,5, median samt intervall med 95 % konfidens.

Extremhögsvatten RH2000	2024	2050	2070	2100	2120	2150
100 år	1.04 (0.94-1.14)	1.17 (0.95-1.39)	1.26 (0.93-1.59)	1.49 (0.93-2.05)	1.58 (0.76-2.40)	1.78 (0.68-2.88)
200 år	1.10 (1.00-1.20)	1.23 (1.01-1.45)	1.32 (0.99-1.65)	1.55 (0.99-2.11)	1.64 (0.82-2.46)	1.84 (0.74-2.94)

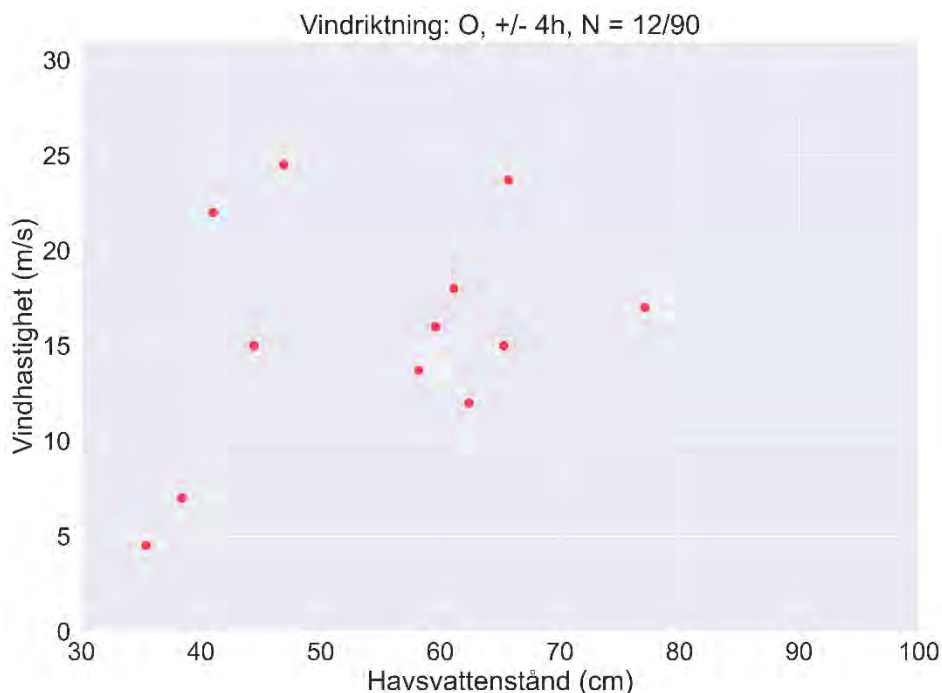
3.3 Lokal vinduppstuvning i Stads- och Mellanfjärden

Figur 5 visar årshögsta observationer av havsvattenstånd vid Landsort och högsta noterade vindhastighet samt tillhörande riktning inom +/- 4 timmar från högvattentoppen. Vindens riktning och styrka visar på stor variation i samband med högvattentoppar med en tendens åt starkare vind i samband med högvattentoppar över +70 cm.

Den av vinden uppstuvande effekten vid Nyköping blir större desto större vindkomponenten längs Stads- och Mellanfjärdens längsgående riktning är. Ett "worst case scenario" innebär alltså stark vind riktad från ost. Historiskt sett har den starkaste vinden från ost (upp mot 25 m/s) förekommit vid för området normala högvatten (cirka +40 till +50 m) till medelhöga högvatten (upp till cirka +70 cm), se Figur 6. Under endast en årshögsta observation över +70 cm har vindriktningen varit ostlig. Havsvattenståndet mättes då som mest +78 cm och den högsta samtida vindstyrkan cirka 17 m/s.



Figur 5. Årshögsta havsvattenstånd och samtidig (+/- 4 timmar) högsta vindhastighet och riktning vid Landsort.



Figur 6. Årshögsta havsvattenstånd och samtidig (+/- 4 timmar) högsta vindhastighet vid tillfällen av ostligt riktad vind vid Landsort.

Ovan analys av vinddata indikerar att en hög högvattenhändelse och en samtidig stark ostlig vind är relativt ovanlig, men att kombinationen **inte kan uteslutas**. För att inte underskatta bidraget av denna effekt rekommenderas ett påslag adderas till den extrema högvattennivån utomskärs (vid Oxelösund).

Den vinduppstuvande effekten kan överslagsmässigt uppskattas utifrån följande samband 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:

Δh	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		

Utifrån uppskattningar av lokalt medeldjup och stryklängd från sjökort approximeras storleken på den lokala vinduppstuvningseffekten vid Nyköping från en stark ostlig vind till cirka **+0.2 m**.

3.4 Högt havsvattenstånd och höga flöden i Nyköpingsån

Figur 7 visar hur flödet i Nyköpingsån, som är det mest signifikanta vattendraget i området, varierar över året. Statistiken är baserad på modellerat dygnsmedelflöde perioden 2010-2023 från den hydrologiska modellen S-HYPE,

tillhandahållen av SMHI (SMHI, 2023). I figuren visas även observerade högvattenhändelser, i detta fall tillfällen av havsvattenstånd högre än +40 cm relativt medelvattenytan, vid Landsort under samma tidsperiod.

De flesta händelser av förhöjt havsvattenstånd inträffar under tidsperiodens vinterhalvår vilket delvis överlappar högflödesperioden som vanligtvis pågår mellan januari och maj månad. Det förekommer således risk att högvattenhändelser i havet sammanfaller med höga flöden i Nyköpingsån.



Figur 7. Modellerat dygnsmedelflöde Nyköpingsån perioden 2010-2023 och observerat havsvattenstånd högre än +40 cm relativt medelvattenytan vid Landsort för samma tidsperiod.

I det tidigare utredningsmaterialet (Sweco, 2022) dras slutsatsen: *”De vattennivåer som riskerar översvämmas vid beräknat högsta flöde (BHF) i Nyköpingsån är lägre än det dimensionerande högvatten som använts för att beskriva översvämningsrisken från hav, vilket innebär att en åtgärd för tillfälliga högvatten i havet även skyddar mot höga flöden i vattendragen”.*

En förhöjd havsnivå medför dock en större risk för översvämning från vattendrag eftersom den bromsar flödet genom vattendraget i större utsträckning. Denna effekt är dynamisk och bör beaktas för två tidsskalor:

- Den tillfälliga höjningen av havsvattenståndet i samband med en högvattenhändelse som statistiskt sett kan inträffa samtidigt som höga flöden i Nyköpingsån (se Figur 7) men med förhållandevis låg sannolikhet.
- Den långsiktiga höjningen av medelvattenytan till följd av klimatförändringar (enligt utsläppsscenario SSP5-8,5). Denna kroniska höjning av havsytans medelläge medför att en allt mindre tillfällig högvattenhändelse (med allt lägre återkomsttid) kommer ha en direkt effekt på översvämningsrisken från vattendrag.

Exakt var den kritiska gränsen för samtidigt flöde och havsnivå ligger samt vilken eventuell dimensionerande nivå ett sådant scenario motsvarar är omöjlig att redogöra för utan detaljerad modellering. Detta eftersom faktorer så som varaktighet för respektive parameter och lokala rinnvägar, översvämningsutbredning, m.m. kraftigt påverkar översvämningsrisken.

3.5 Extremhögvattnen från havet i Nyköping år 2100

Tabell 4 summerar beräkningsposter samt resulterande nivå för extremhögvattnen från havet i Nyköping år 2100. Notera att det 95-procentiga konfidensintervallet (inom parentes) innefattar den kombinerade osäkerheten från extremvärdesberäkningen, projektionen av framtida medelvattenstånd samt mätningen. Den lokala vinduppstuvningseffekten har tagits fram utifrån en enklare samvariationsanalys och empiriska samband vilket innebär att osäkerheten associerad med denna post är svår att kvantifiera.

Tabell 4. Poster i beräkningen av extremhögvattnen i Nyköping år 2100 (utsläppsscenario SSP5-8,5) och dess resulterande nivåer. Notera att det 95-procentiga konfidensintervallet (inom parentes) innefattar den kombinerade osäkerheten från extremvärdesberäkningen, projektionen av framtida medelvattenstånd samt mätningen. **Osäkerheten associerad med lokal vinduppstuvningseffekt har inte inkluderats i det kombinerade konfidensintervallet.**

	100 år	200 år	Källa
Extremhögvattnen RH2000 år 2100 (SSP5-8,5)	1.49 (0.93-2.05)	1.55 (0.99-2.11)	Tabell 3
Lokal vinduppstuvningseffekt	0.20	0.20	Ekvation 1
TOTAL	1.7 (1.1–2.3)	1.8 (1.2–2.3)	

4 Slutsats och diskussion

Rekommenderade nivåer för extremvattenstånd i Nyköping år 2100 presenteras i Tabell 4, nedersta raden.

För att illustrera de osäkerheter beräkningarna i detta dokument är behäftade med har ett kombinerat konfidensintervall tagits fram i enlighet med (SMHI, 2018). Konfidensintervallet innefattar som tidigare nämnt osäkerheten från extremvärdesberäkningen, projektionen av framtida medelvattenstånd och mätningen men inte osäkerheten i beräkningen av lokal vinduppstuvning. I praktiken innebär detta dels att konfidensintervallets räckvidd är något underskattat dels att återkomsttiden för resulterande nivå (nedersta raden i Tabell 4) underskattas, dvs. genom att addera en lokal vinduppstuvningseffekt ökar återkomsttiden eftersom sannolikheten är lägre att högvattenhändelsen och stark ostlig vind inträffar samtidigt än att endast högvattenhändelsen inträffar. Extremvärdesanalys av fler än en variabel är komplex och i skrivande stund råder ingen tydlig konsensus kring föredragen metod för den specifika appliceringen på högvattenhändelser med mycket kort varaktighet. För att inte underskatta effekten av lokal vinduppstuvning har denna faktor tagits hänsyn till genom det påslag som redogörs för i Avsnitt 3.3 och 3.5.

Kombinationen av högvattenhändelser från havet och samtidiga höga flöden i vattendrag är även den en komplex fråga. Samvariationen av dessa två variabler kan analyseras ytterligare i fördjupande studier, men en sådan analys är till mindre nytta om man inte först har identifierat vilken kombination av högflöde och havsvattenstånd som anses kritisk för intresseområdet ur översvämningssynpunkt. För att identifiera dessa kritiska kombinationer av gränsvärden krävs detaljerad hydrodynamisk modellering.

5 Referenser

- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. Vicksburg, Mississippi: US Army Corps of Engineers.
- Sjöfartsverket, S. &. (den 1 Januari 2024). Havsvattenstånd 2024. *Beräknat medelvattenstånd för 2024 i olika höjdsystem*.
- SMHI. (2018). *Extremvattenstånd i Norrköping*. Karlstad: MSB.
- SMHI. (2022). *Metodbeskrivning: Beräkning av extremnivåer – höga havsvattenstånd*. Norrköping: SMHI.
- SMHI. (den 6 11 2023). *Framtida medelvattenstånd*. Hämtat från SMHI.se: <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand-1.165493>
- SMHI. (den 6 11 2023). *Högvattenhändelser idag och i framtiden*. Hämtat från SMHI.se: <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/hogvattenhandelser-idag-och-i-framtiden/extremnivaer>
- SMHI. (den 19 10 2023). *Vattenwebb*. Hämtat från S-HYPE Modelldata per område: <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>
- Sweco. (2022). *Spelhamen vattenutredning - Fokus på översvämningssrisker*.