

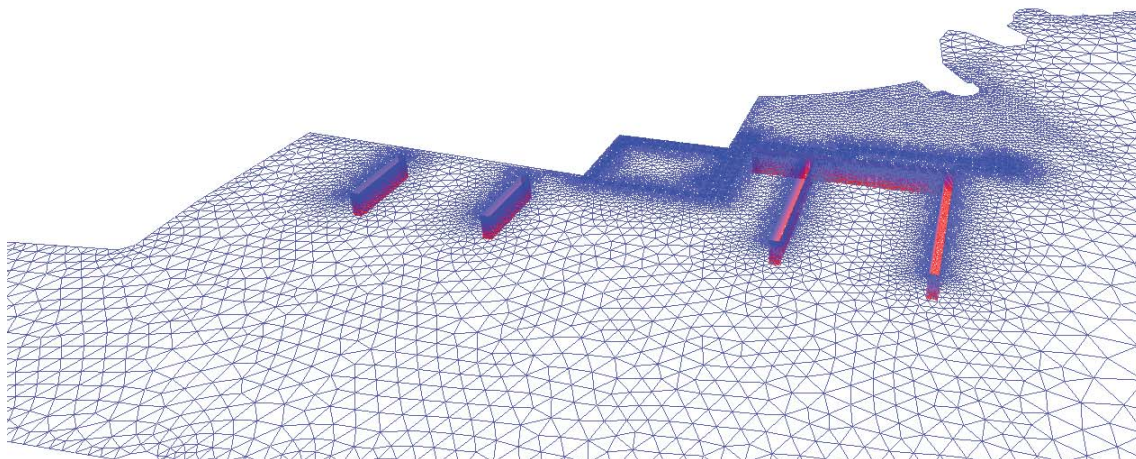
BILAGA A-5

Våg- & strömningsutredning

RAPPORT

NORRTÄLJE KOMMUN
UPPDRAGSNUMMER 15002863000

OCEANOGRAPHISK UTREDNING OCH MODELLERING AVSEENDE GALÄREN I ÖSTRA DELEN AV NORRTÄLJE HAMN



RAPPORT

2018-11-30

STRÖMNINGSTEKNIK OCH DAMMAR

**PIERRE-LOUIS LIGIER
NON OKUMURA
CARSTEN STAUB**

FÖRKORTNINGAR OCH DEFINITIONER

HHW	Högsta högvattennivå
HLW	Högsta lågvattennivå
LAS data	Laser skannade topografidata
LHW	Lägsta högvattennivå
LLW	Lägsta lågvattennivå (lägste av varje års högsta dygnsvattenföring)
MHW	Medel högvattennivå (medelvärde av varje års högsta dygnsvattenföring)
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning
MLQ	Medel lågvattenföring
MLW	Medel lågvattennivå (medelvärde av varje års lägste dygnsvattenföring)
MQ	Medelvattenföring
MW	Medel vattennivå
ÖNÖ	Öst-Nord-Öst (om vindriktning)
ÖSÖ	Öst-Syd-Öst (om vindriktning)
psu	Practical Salinity Unit (1 psu = 1 g/kg)
Q100	100-års vattenföring
SMHI	Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
SÖ	Syd-Öst (om vindriktning)
Tp	Vågperiod för vågen med högst energi i spektret (peak wave period)

Definitioner av hydrologiska ord och begrepp samt hydrologisk ordlista finns på SMHI:s hemsida:

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologiska-begrepp-1.29125>

SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Sweco har genomfört en utredning för Norrtälje Hamn i samband med planerade konstruktioner i hamnområdet som ingår i det nya bostadsområdet Galären. Utredningen är i första hand en strömningsutredning som ska utreda påverkan från strömmar och vågor, men även risken för stora islaster i hamnområdet.

Utredningen ska ge nödvändigt underlag för teknisk dimensionering och konstruktion av planerade anläggningar, samt klargöra hur de planerade anläggningar kommer att påverka strömningsförhållandena och vattenrörelserna. Delar av utredningsresultatet ska också utgöra ett underlag för ansökan om miljötillstånd och tillhörande miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för planerad vattenverksamhet.

Utredningen, som i huvudsak baserar sig på avancerad hydraulisk modellering har fastställt maximala vattennivåer och våghöjder, samt dimensionerande våghöjd och vattenstånd för de planerade konstruktionerna inom hamnområdet. Simuleringar har även utförts med syfte att belysa vattenomsättningen i hamnområdet som kan användas för efterföljande bedömning av förutsättningarna för bra badvattenkvalitet i anslutning till planerade badplatser inom Galären.

Simulering av sedimentspridning från planerade muddringsarbeten ska genomföras – denna del har dock inte utförts ännu och kommer att presenteras i en senare version av rapporten.

Vattennivåer

Nuvarande (2018) och framtida vattennivåer i RH00 presenteras i Tabell 4-2. Vattennivåer 2100 kommer att ligga ca 45 cm över nuvarande vattennivåer. Vidare bör även vinduppstuvning i Norrtäljeviken beaktas. Vid starka ostliga vindar på mellan 22–24 m/s, bör även effekten av vinduppstuvning på ca 0,1 m med en varaktighet på några timmar inkluderas. Därutöver kan dynamiskt insvängningsförlopp ge upphov till ytterligare kortvarig uppstuvning ca 0,2 m.

Vågor

Havsvågor genererade av vinden ute till havs kommer inte fram till Norrtälje Hamn, eftersom de förlorar all energi vid passagen av grunda områden i Norrtäljeviken mynning. Därmed är det bara lokalt genererade vindvågor som bidrar till vågklimatet i Norrtälje Hamn. Beräkningsfall och resultat har beskrivits i kapitel 5. 100-års våghöjder visas i Figur 5-7, som också visar två punkter (Node A och Node B) där signifikant och maximal våghöjd har extraherats. I de två punkterna är maximal våghöjd 0,60 m respektive 0,72 m.

Huvudresultatet av vågsimuleringarna visas i kapitel 5, övriga resultat i Bilaga A.

Strömningsförhållanden och vattenomsättning

Ett stort antal strömningssimuleringar har utförts med en avancerad 3D strömningssmodell. Beräkningsfall och resultat presenteras i kapitel 6, med resultat illustrerade på kartor i Bilaga B. Kartorna visar hastighetsstorlekar, och riktningar illustreras med pilar. Separata kartor visar hastigheten vid vattenytan och vid botten. Separata kartor visar hastigheter under nuvarande och framtida förhållanden. Slutligen visar differenskartor skillnaden mellan framtida och nuvarande hastigheter, vilket är den påverkan som i varje simulerat fall fås från framtida byggnationer i hamnen. Slutligt visas några simuleringar av spridningen av punktformig spill/utsläpp.

Tabellerna i kapitel 6 ger en kvantitativ resultatöversikt över simulerade vattenhastigheter (yta och botten) i 10 utvalda områden, varav ungefär hälften av dessa återfinns inne i hamnens närområde. Tabellerna anger ungefärliga hastighetsintervaller inom de 10 områdena som visas i Figur 6-1 och Figur 6-2.

Strömningshastigheterna i hamnområdet är generellt små (storleksordning max 0,8 m/s) och framtida byggnationer har inte stor betydelse för framtida strömningshastigheter (storleksordning max 0,3 m/s).

Vindgenererade strömmar förefaller dominera i de fall där vind inkluderats, i alla fall vad angår de hastigheter som uppstår. Det kan vara annorlunda om man ser på de vattenföringar som genereras (detta är inte gjort).

Simuleringarna har genomförts med bara ett skiktningsfall. Detta var till tillräckligt till att konstatera att skiktningen verkar ha stor betydelse för strömningssmönstret. Det kan rekommenderas att en eller flera simuleringar med andra skiktningsfall genomförs för att bedöma resultatens känslighet mot förändrad skiktning, möjligen en modellkörning utan någon skiktning alls.

Vattenomsättningen i havsbadet förbättras med ökat genomströmning. Lägst genomströmning och därmed sämst vattenkvalitet uppstår när det är vindstilla och utströmningen från Norrtäljeån är låg, Simulering 7 och 8. Vattenomsättningen har kvantifierats genom beräkningar av den tid det tar innan 90 % av vattnet inom havsvattenbadet har lämnat havsvattenbadet i fyra normala flödesfall. Detta tar ungefär 2 till 4 timmar avhängigt av flöden. Både vinden och utflödet från Norrtäljeån bidrar till bättre vattenomsättning. Vindens riktning verkar ha liten betydelse för hur snabbt vatten från havsvattenbadet blandas upp i hamnområdet.

Erosionsbenägenhet hos bottensedimenten

Strömningshastigheterna under icke-extrema strömningsförhållanden är små i inre hamnen och därmed också den resulterande bottenskjuvspänningen ($<0,03 \text{ N/m}^2$). Det finns troligen löst sediment som kan erodera redan vid $0,01 \text{ N/m}^2$, men sådant material kommer inte finnas i farledsområdet där de högsta bottenskjuvspänningar förekommer.

Beräknade bottenskuvspänningar ligger inom intervallet där bottensediment kan börja röra på sig ($0,01 - 0,1 \text{ N/m}^2$). Högsta bottenskuvspänningarna förekommer i muddrade farleden in till Norrtälje Hamn, eftersom denna – med låg strömningsmotstånd – koncentrerar strömmen inom ett relativt smalt område. Farleden utsätts regelbundet för mycket högre bottenskuvspänningar orsakat av skeppspropeller. Därmed blir farleden ”spolat ren” för all lätt eroderbar sediment, som lyfts upp i suspension och transporteras med svaga strömmar bort från farledsområdet och sedimenterar. De flesta områden som visar bottenskuvspänningar över $0,01 \text{ N/m}^2$, kommer inte att erodera eftersom kritiska bottenskuvspänningen för den bottensediment som är kvar vill vara betydligt högre.

Det kan även noteras att beräknade bottenskuvspänningar i havbadet ligger under $0,01 \text{ N/m}^2$ och ingen erosion av bottenmaterial kommer därför att ske i havbadet under normala sommar-strömningsförhållanden.

Det är dock viktigt att nämna att osäkerheten i kritiska bottenskuvspänningen är stor eftersom denna inte har kvantifierats för aktuella sedimentprover och sedimentens fysikaliska egenskaper inte har kvantifierats.

Slutsatsen blir därför att vanligt förekommande strömmar inte är tillräckligt starka för att erodera den befintliga bottensediment.

Spill och Utsläpp

Kontinuerligt utsläpp (dagvatten) och momentant spill i en punkt har modellerats i två strömningsfall. Resultaten visar utsläppens maximala koncentrationer under ett dygn och ger en kvalitativ uppfattning om storlekar och lateral utbredning. Det bör dock noteras att andra strömningsfall kan ge olika resultat. Dessutom har antagandet om samma densitet av utsläppt vätska som den omgivande vätskan stor betydelse för resultaten.

I fall en lätt vätska (t ex båtbränsle) spills momentant i vattnet kommer den spillda vätskan ligga kvar på ytan innan den avdunstar. Modellen ger en kvalitativ bild av hur laterala spridningen kan se ut men är inte lämplig för att kvantifiera koncentrationer. Att kvantifiera koncentrationer vid just denna typen utsläpp är mycket svårt. Det rekommenderas att istället fokusera på sätt att undvika att denna typen utsläpp tar sig in i havvattenbadet, t ex med en avskärmning som går en bit ner i vattnet.

Islaster

Islaster kan förekomma emot kajer och pålar, såväl befintliga som nyetablerade. Under kajer räknas vertikala ytor av relativt lång horisontell utsträckning, dvs också permeabla vertikala avskärningsytor. Både horisontella krafter och vertikala lyftkrafter kan förekomma. Riktlinjer i olika länder kan variera väldigt mycket; i föreliggande utredning har svenska riktlinjer från Trafikverket (1987) har nyttjats. Resultat finns i kapitel 7, men mer precisa värden bör tas fram i detaljprojekteringen baserat på lokala förhållanden och noggranna beräkningar.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	9
1.1	Inledning	9
1.2	Generell metodik	10
2	Underlag	11
2.1	Data och källor	11
2.2	Batymetridata och höjdmodell	12
2.3	Framtida utformning	14
2.4	Vattenföring	17
2.5	Vågdata	17
2.6	Havsvattenstånd	18
2.7	Skiktning	19
3	Vågmodell	20
3.1	Syfte	20
3.2	Upprättande av beräkningsmodell	21
3.2.1	Beräkningsprogram	21
3.2.2	Beräkningsnät	21
3.3	Havsvågor	21
3.3.1	Vågstatistik och randvillkor	21
3.4	Lokala vindvågor	23
3.4.1	Vindstatistik	24
4	Strömningsmodell	27
4.1	Upprättande av beräkningsmodell	27
4.1.1	Beräkningsprogram	27
4.1.2	Beräkningsnät	27
4.1.3	Beräkningsparametrar	29
4.1.4	Simulering av vegetation	29
4.1.5	Simulering av flytbryggor	31
4.2	Randvillkor	34
4.2.1	Flöde från Norrtäljeån	34
4.2.2	Skiktning	34
4.2.3	Vattennivå	35
4.2.4	Vind	36
5	Vågsimuleringar - beräkningsfall och resultat	36
5.1	Havsvågor	36
5.2	Vindvågor	40
5.2.1	Vinduppstuvning	41
6	Strömningssimuleringar – beräkningsfall och resultat	43
6.1	Inledning	43
6.2	Simuleringsfall	44

6.3	Resultatkartor	46
6.4	Resultatöversikt	46
6.5	Presentation och diskussion av resultat	48
6.5.1	Simulering 1: Referens scenario – utan vind (MQ MW)	48
6.5.2	Simulering 2: Referens scenario – med vind (MQ MW med vind)	50
6.5.3	Simulering 3: Max av alla (Q100 HHW med vind)	52
6.5.4	Simulering 4: Max ström och vattennivå – utan vind (Q100 HHW)	54
6.5.5	Simulering 5: Max ström – lågvatten (Q100 MLW med vind)	56
6.5.6	Simulering 6: Max ström – lågvatten utan vind (Q100 MLW)	58
6.5.7	Simulering 7: Låg vattenomsättning vid medelvattennivå (MLQ MW)	59
6.5.8	Simulering 8: Låg vattenomsättning vid högvattennivå (MLQ HHW)	61
6.5.9	Simulering 9: Dominerande vindriktning – hög vindhastighet (MQ MW med vind 18,77 m/s SV)	63
6.5.10	Utsläpp/spill spridningssimuleringar	66
6.6	Generella observationer/tolkningar	67
7	Vattenomsättning i havsbadet vid olika strömningsförhållanden	70
7.1	Bakgrund och syfte	70
7.2	Val av simuleringsfall	70
7.3	Metodbeskrivning	72
7.4	Presentation av resultat	73
7.5	Diskussion av resultat	78
7.6	Slutsats	78
8	Erosionsbenägenhet hos bottensedimenten	78
8.1	Inledning	78
8.2	Kritiska bottenskjuvspänningar	79
8.3	Beräkning av bottenskjuvspänningar	80
8.4	Diskussion av beräknade bottenskjuvspänningar	84
8.5	Slutsats	85
9	Islaster	86
10	Referenser	89

BILAGA A – VÅGMODEL: ÖVRIGA RESULTAT

BILAGA B – STRÖMNINGSMODEL: RESULTAT

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Sweco Energuide AB har fått i uppdrag att genomföra en utredning för Norrtälje Hamn i samband med planerade konstruktioner i vattenområdet i de östra delarna av den nya stadsdelen Norrtälje Hamn. Vatten- och strandområdena i detta område har arbetsnamnet Galären. Utredningen är i första hand en strömningsutredning med syfte att utreda påverkan från strömmar och vågor, men även påverkan från isbildning i hamnområdet.

Utredningen ska ge nödvändigt underlag för teknisk dimensionering och konstruktion av planerade anläggningar, samt klargöra hur planerade anläggningar kommer att påverka strömningsförhållandena. Delar av utredningsresultatet ska också utgöra underlag för ansökan om miljötillstånd och tillhörande miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för planerad vattenverksamhet. I det följande refererar nummer i parentes till radföljden i punktlistan i Anbudsförfrågan daterad 2017-09-25.

Dimensionering

Utredningen ska fastställa maximala vattennivåer och våghöjder, samt dimensionerande designvåg och vattenstånd för de i hamnen ingående kajkonstruktionerna (4).

Utredningen ska identifiera eventuella risker för stora islaster mot konstruktionerna (5).

Strömningsförhållanden och vattenomsättning

Upprättad modell ska visa strömningsförhållandena vid olika vattenstånd och vindförhållande samt med beaktande av utströmningen från Norrtäljeån. Påverkan på och av planerade anläggningar inom Galären ska klargöras. Påverkan av olika konstruktioner och utformningar av anläggningarna i vattenområdet ska kunna simuleras (2, 3).

Vattenomsättningen i området ska klargöras dels för en bedömning av förutsättningarna för bra badvattenkvalitet i anslutning till planerade bad inom Galären och var dessa bäst bör placeras ur detta perspektiv och dels för att visa på eventuella risker för stillastående vatten (6).

Sedimentspridning

Simulering av sedimentspridning från planerade muddringsarbeten ska genomföras.

Denna del av uppdraget har ännu inte utförts eftersom nödvändig information om muddring inte finns tillgänglig, men kommer att inkluderas i ett senare skede av projektet.

Referenssystem

Koordinatsystemet och höjdsystemet som används är SWEREF99 1800 respektive RH00. Höjdonvertering från RH2000 till RH00: Subtrahera 0,577 m.

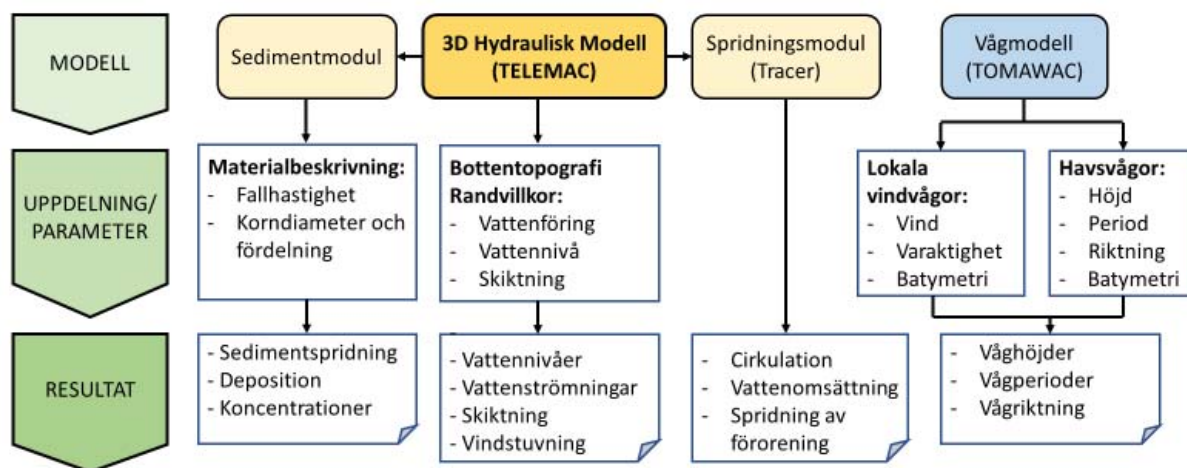
1.2 Generell metodik

Utredningens övergripande syfte är att skapa underlag för både projektering och MKB. Resultat har tagits fram enligt förfrågan och presenterats på detaljerat och systematiskt sätt, för att förenkla användningen. Utredningen gör ingen egen bedömning av om och hur resultaten kan ingå i projektering eller MKB.

I utredningen används följande metoder:

- Modellering
 - Vågmodellering
 - Strömningsmodellering (2D och 3D)
 - Spridningsmodellering ("tracer")
 - Sedimentmodellering
- Dataanalys (t ex havsnivåändringar)
- Handberäkningar (t ex islaster)

De modellverktyg som används i utredningen är TELEMAC-3D (version 7.1) och TOMAWAC (*TELEMAC-based Operational Model Addressing Wave Action Computation*). Dessa beskrivs närmare i Ref. [2]. TELEMAC programvaran har olika moduler. Grundmodulen är en 3D hydraulisk modelleringsmodul. Utöver detta har Tracer modulen används för modellering av spridningen av ett tillsatt ämne och sedimenttransportmodulen som simulerar transport och deposition av sediment. Strukturen i modelleringen med uppdelning, ingångsparametrar och slutliga resultat illustreras i Figur 1-1.



Figur 1-1 Modelleringsstruktur med parametrar och resultat

2 Underlag

2.1 Data och källor

Datamaterial som har använts som indata i beräkningarna finns listad i Tabell 2-1.

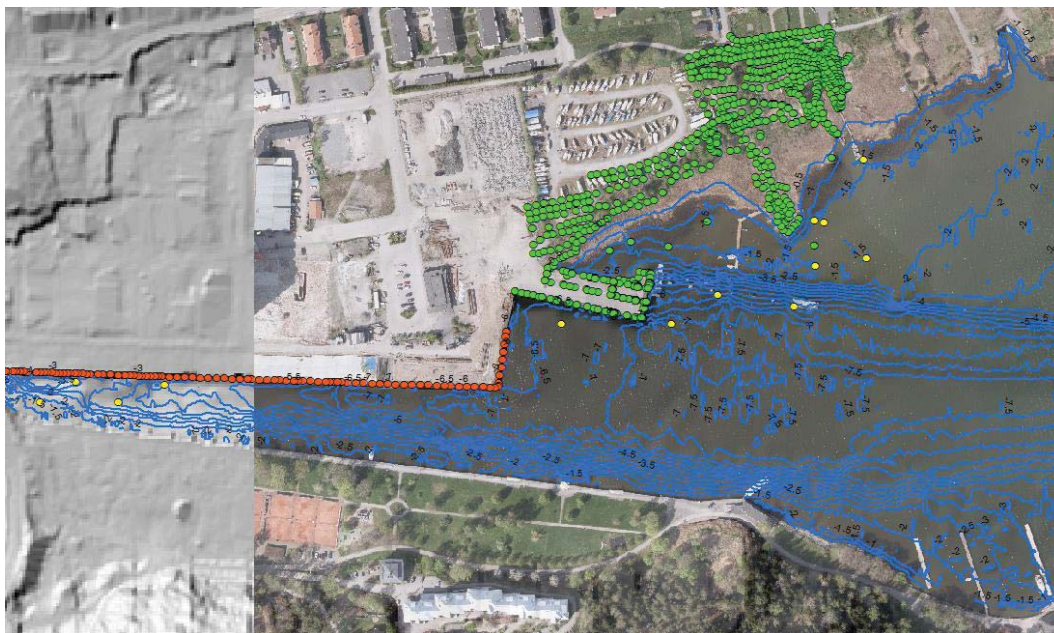
Tabell 2-1 Använd data och dess källor

Data typ	Period [år]	Detaljer	Datakälla
Batymetri	-	Sjökort	Sjöfartsverket (kortnummer 611)
	-	Ekolodning	Naturvatten
	-	Ekolodning	Utförd av Anders Björklund (Sweco)
	-	Inmätningar	NCC
	-	Ritningar (Kajen)	Sweco VBB
Topografi	-	Diskreta höjddata	Ramböll
	-	LAS	NH-data,
Vågdata	38 år (1979–2015)	Tidsserie av modellerade vågor	Sweco Danmark
Vinddata	24 år (1961–1984)	Tidsserie	SMHI
Flöde	28 år (1991–2018)	Tidsserie	SMHI, Finsta vid Husbyån (Stationsnummer 2429)
Flöde	100-årsflöde	Rapport	MSB (2015), Ref. [8]
Havsvattenstånd	-	PM	SMHI
Skiktning (Temp. & Salinitet)	Simulerade värden (1991–1992)	Rapport	Engqvist et al. (2010) Ref. [9]
Layout Galären	-	CAD	COWI (2018)

Delar av det insamlade underlaget diskuteras mer i detalj i följande avsnitt av detta kapitel.

2.2 Batymetridata och höjdmodell

Batymetridata (dvs bottenpografiska data som representerar sjöbotten) har tillhandahållits av Norrtälje Kommun för olika områden från Norrtälje Hamn till Östersjön. De olika datakällorna illustreras i Figur 2-1 och Figur 2-2.



Figur 2-1 Batymetridata från Norrtälje Hamn. Ekolodning utförd av Sweco (blå linjer och röda punkter), inmätningar av NCC (gröna punkter) och höjdpunkter från Ramböll (gul).

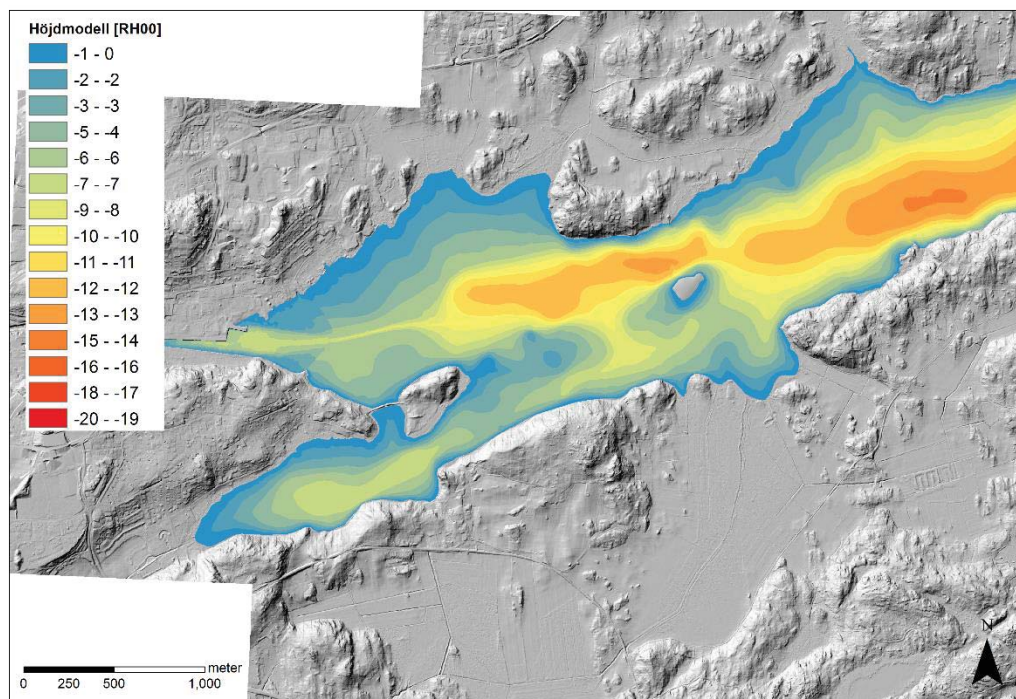


Figur 2-2 Batymetridata från Norrtäljeviken och Lidöfjärden. Sjökort från Sjöfartsverket och ekolodning från Naturvatten.

En höjdmodell har skapats över hela sträcken från Norrtäljeån till havet. Denna höjdmodellen användas i alla simuleringar.

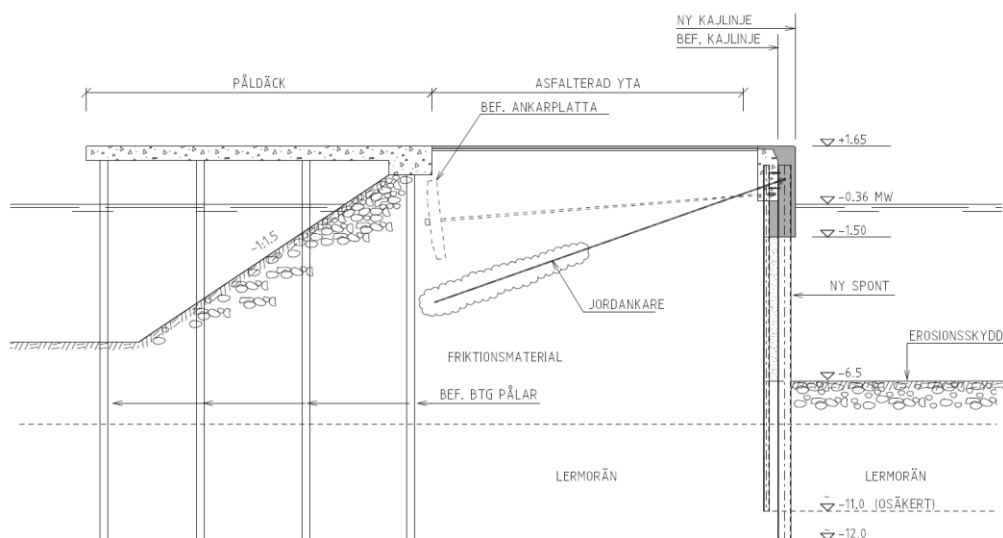
Höjdmodellen har skapats i ArcGIS. Bottennivåer mellan höjdpunkter och höjdkurvor har interpolerats med en teknik som jämnar ut branta ändringar i batymetrin. Branta ändringar förekommer dock i naturen, modellen är därför inte alltid korrekt i alla detaljer. Vidare noterades en mindre avvikelse mellan resultaten från de två ekolodningarna. Denna avvikelse var dock så pass liten (mindre än 1 m) att den ej bedömds vara av betydelse för hydrauliken eller vågdynamiken.

Höjdmodellen zoomad vid Norrtäljehamn illustreras i Figur 2-3.



Figur 2-3 Höjdmodellen i Norrtäljeviken kring hamnen och Norrtälje

Bottenlutningen vid pirens norra sida har justerats baserad på ritningen i Figur 2-4. Ritningen är ursprunglig från Sweco VBB (ingen exakt källa finns).



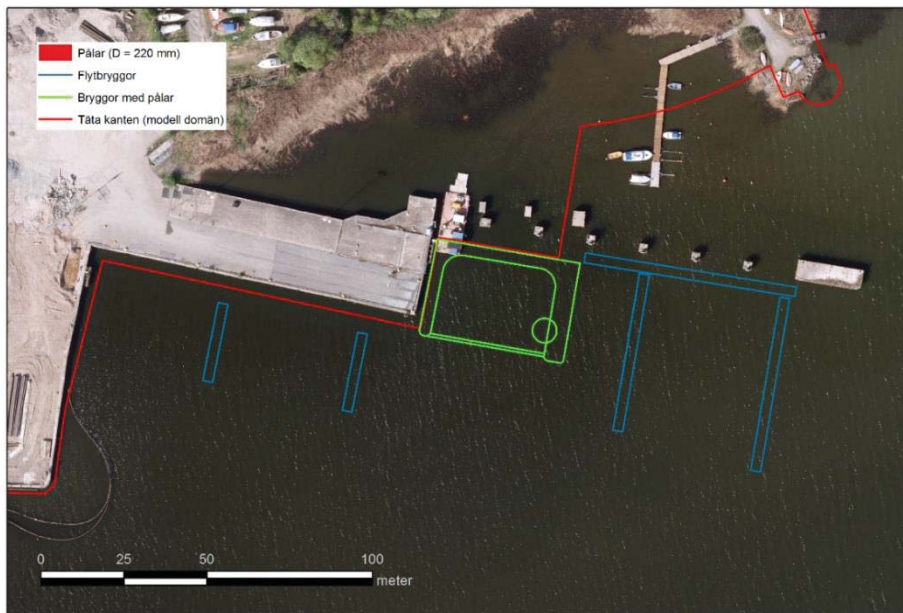
Figur 2-4 Ritning av piren (Sweco VBB, tillhandahållits av Norrtälje Kommun)

2.3 Framtida utformning

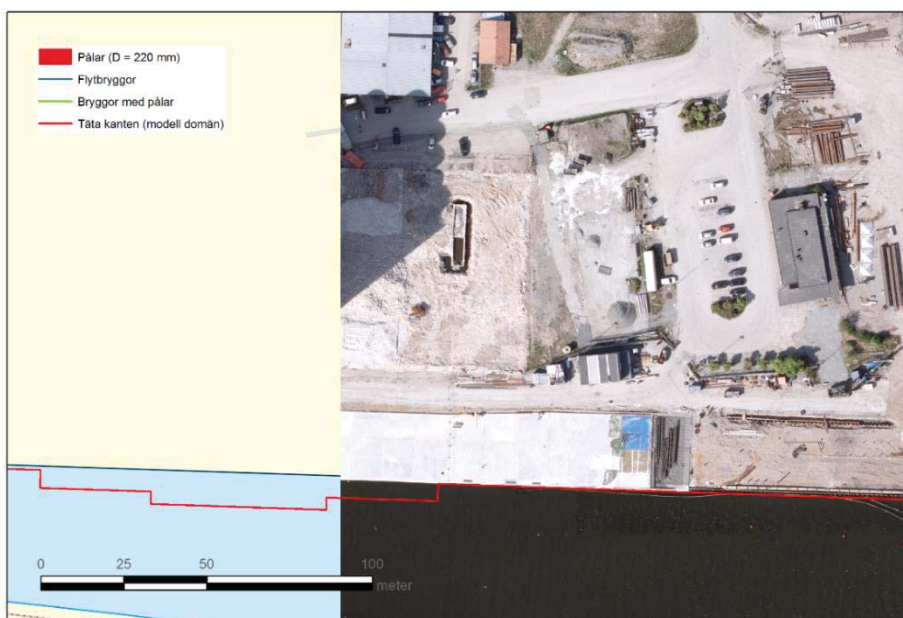
Planerade nybyggnationer i Norrtälje Hamn är inte färdigprojekterade och ändringar kan förekomma. T ex kan resultat av Swecos strömningsutredning leda till ändringar i befintlig layout. Nuvarande utredning är baserad på information om layout och typiska dimensioner av nybyggnationer från Norrtälje Kommun. Tillhandahållen information har generellt innehållit fler detaljer än nödvändigt för modellsimuleringarna. Detta har föranlett en förenkling av utformningen för att tillgodo se att endast nödvändig information har inkluderats. Denna förenkling gällande information om kajlinjer, pålar, bryggor osv som behövs i modellsimuleringarna visas grafiskt i figurerna nedan.

Norrtälje Kommun uppger att samtliga flytbryggor anses flytande med 0,5 m under vattenytan.

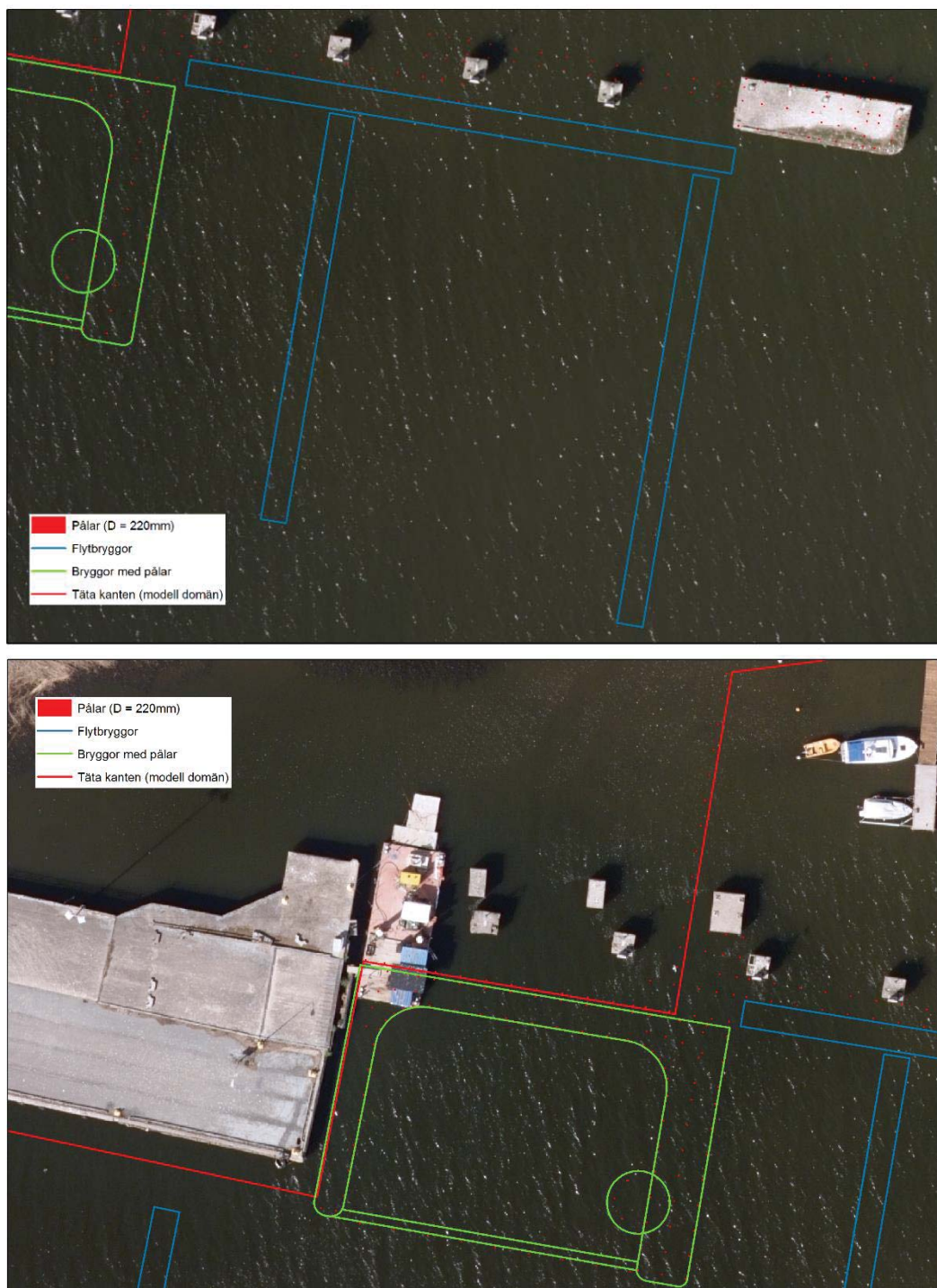
I alla framtida simuleringar har förutsatts att ingen muddring sker. Muddring blir troligt aktuellt och muddrade områden kan eventuellt bli inkluderade i vidare simuleringar.



Figur 2-5 Framtida byggnationer – landbegränsning, bryggor med pålar, flytbryggor



Figur 2-6 Framtida byggnationer i inre hamnen – landbegränsning, bryggor med pålar, flytbryggor



Figur 2-7 Framtida byggnationer – landbegränsning, bryggor med pålar, flytbryggor (zoom för att visa pålar)

2.4 Vattenföring

Vattenföringsmätningar i Norrtäljeån finns inte, men vattenföringen i Norrtäljeån har beräknats utifrån mätningar från SMHI:s mätstation Finsta vid Husbyån (Stationsnummer 2429). Denna station ligger ungefär 13 km uppströms Sweco modellens uppströms rand. För att tillgodose den tillkommande tillrinningen längs sträckan från stationen ner till modellens uppströms rand, har flödet vid stationen arealkorrigerats till att motsvara avrinningsområdets area vid modellens uppströms rand. Mätstationens avrinningsområde är 156,3 km² och totala avrinningsområdet ned till modellranden är 351 km², därmed blir skaleringsfaktorn 2,25.

SMHI har på uppdrag av MSB beräknat 100-års flödet (Q_{100}) till 23,0 m³/s, MSB (2015), Ref. [8].

2.5 Vågdata

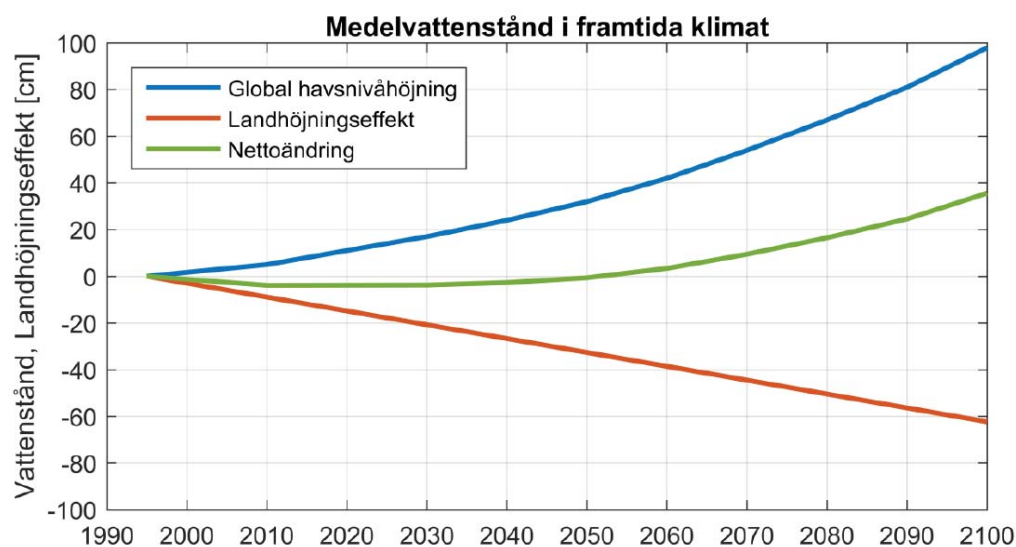
Vågdata för Östersjön har simulerats i MIKE21SW av Sweco Danmark för en tidsperiod på 38 år (1979–2015). Simuleringarna utfördes i en storskalig modell som förutom Östersjön även täcker Nordsjön och inre danska farvatten. Resultaten från simuleringarna hämtade från en utvald punkt utanför Norrtälje skärgård, (se Figur 2-8), har analyserats för att bestämma extrema våghöjder och perioder för att sedan kunna simulera deras utbredning in i Norrtäljeviken.



Figur 2-8 Utvald punkt för simulerad vågdata i Östersjön visas med en röd triangel (WGS1984 UTM34 403623 6635487).

2.6 Havsvattenstånd

Karakteristiska havsvattenstånd för Norrtäljeviken har hämtats från SMHI [5]. Dessa framtida vattennivåer har anpassats enligt förväntade vattennivåer i ett framtida klimat där hänsyn även tagits till en framtida landnivåökning. Den förväntade relativa förändringen av medelvattenståndet från 1995–2100 för Norrtälje, med hänsyn till global havsnivå höjning, landhöjningseffekt och den resulterande netto förändringen, illustreras i Figur 2-9.

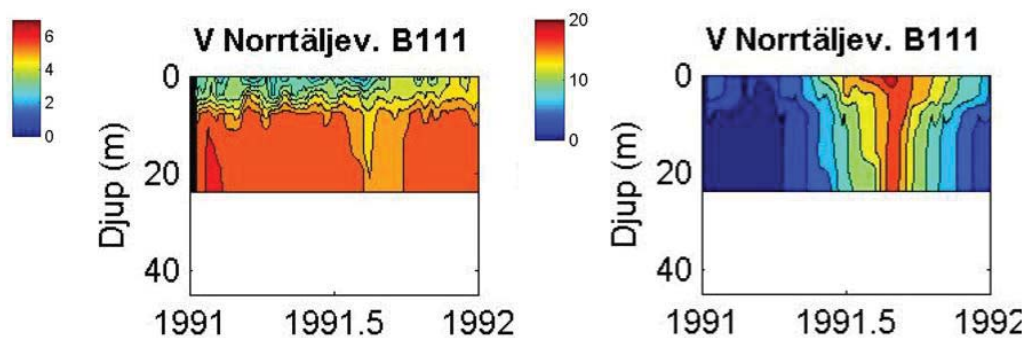


Figur 2-9 Relativ förändring av medelvattenståndet från 1995–2100 för Norrtälje. Utvecklingen av medelvattenytan (blå) förutsätter en global havsnivåhöjning enligt RCP 8.5¹, med 32 cm fram till 2050 och 98 cm fram till 2100. Landhöjningseffekten visas som röd linje. Nettoändringen (grön) blir ca 36 cm år 2100.

¹ RCP står för *Representative Concentration Pathways* och representerar möjliga scenarier över hur växthuseffekten kommer att förstärkas i framtiden. RCP 8,5 motsvarar det mest konservativa scenariot med fortsatt höga utsläpp av koldioxid.

2.7 Skiktning

Uppgifter om salthalt och temperatur har hämtats från modellberäkningar utförda av Engqvist et al. (2010) [9]. I Figur 2-10 illustreras salinitets- och temperaturprofiler från Norrtäljeviken västliga del, mellan öarna Enholmen och Tjuvholmen under ett års tid. Modellberäkningarna visar att densitetsskillnaden minskar pga. av omblandning under hösten, medan skiktningen verkar vara mer stabil under resterande delen av året.



Figur 2-10 Vänster: Årsvariation av salinitet (psu). Höger: Temperatur (grader C). Variation med vattendjup från Engqvist et al. (2010), Ref. [9].

3 Vågmodell

3.1 Syfte

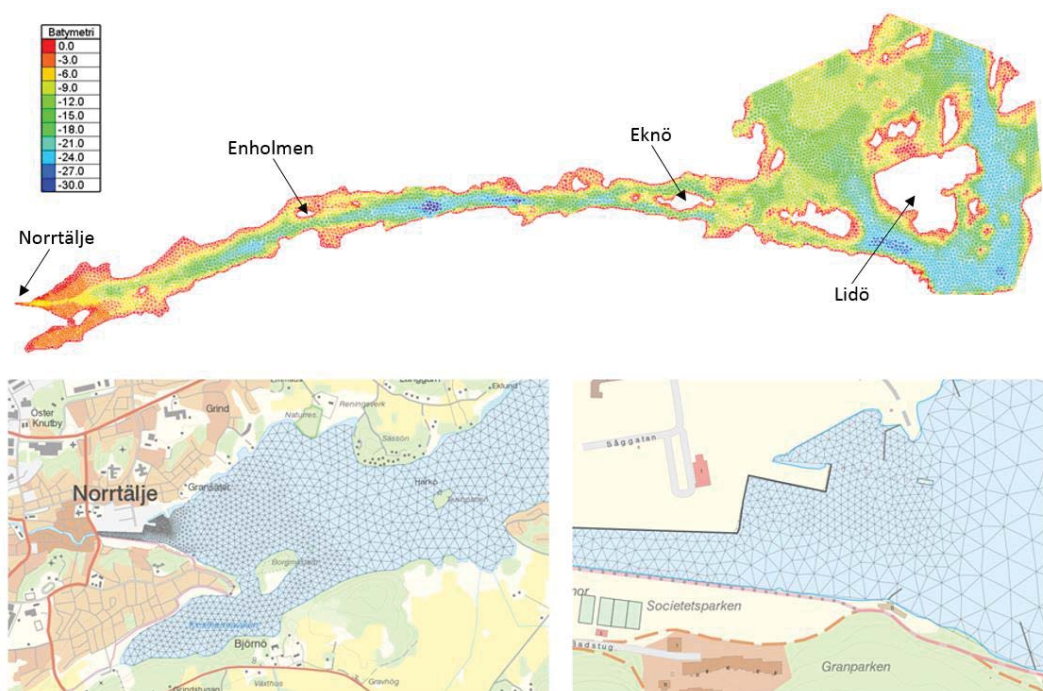
Vågmodellering har utförts för Norrtäljeviken för att bestämma dimensionerande vågparametrar för hamnområdet (höjd och period). Vågor i hamnområdet kan ha två olika ursprung:

1. Havsvågor som bildats till havs (Bottenhavet och Östersjön) och som spridits till hamnområdet
2. Lokala vindvågor som bildats i Norrtäljeviken pga. vindens påverkan

Havsvågor och lokala vindvågor har modellerats separat. I båda fallen påverkas vågorna av begränsat vattendjup över naturliga trösklar och genom smala sund. Med modellens relativt grova beräkningsnät har en del mycket små öar tagits bort i modellen, vilket påverkar resultaten konservativt.

Beroende på batymetrins karaktär påverkas vågornas spridningsriktning och energiförlusternas magnitud, vilket i sin tur minskar vågornas storlek. Energiförluster orsakas dels av bottenfriktion, dels av vågbrytning. Vågorna kan bryta när de passerar grunda områden, men även när de blir för branta.

Modelldomänen sträcker sig ca. 25 km från Norrtäljehamn till Östersjön. Figur 3-1 illustrerar modelldomänen med beräkningsnät samt höjdmodellen.



Figur 3-1 Höjdmodell samt beräkningsnät för vågmodellområde

3.2 Upprättande av beräkningsmodell

3.2.1 Beräkningsprogram

TOMAWAC (*TELEMAC-based Operational Model Addressing Wave Action Computation*) är ett professionellt numeriskt beräkningsverktyg som simulerar våggenerering, utbredning, transformation och energidämpning av vågor. Programvaran är anpassad för vindgenererade vågor och används för simulering av vågor i öppet hav och kustnära områden. Modellen använder finit element diskretisering inom modellområdet. Simuleringarna har utförts med version 7.1.

3.2.2 Beräkningsnät

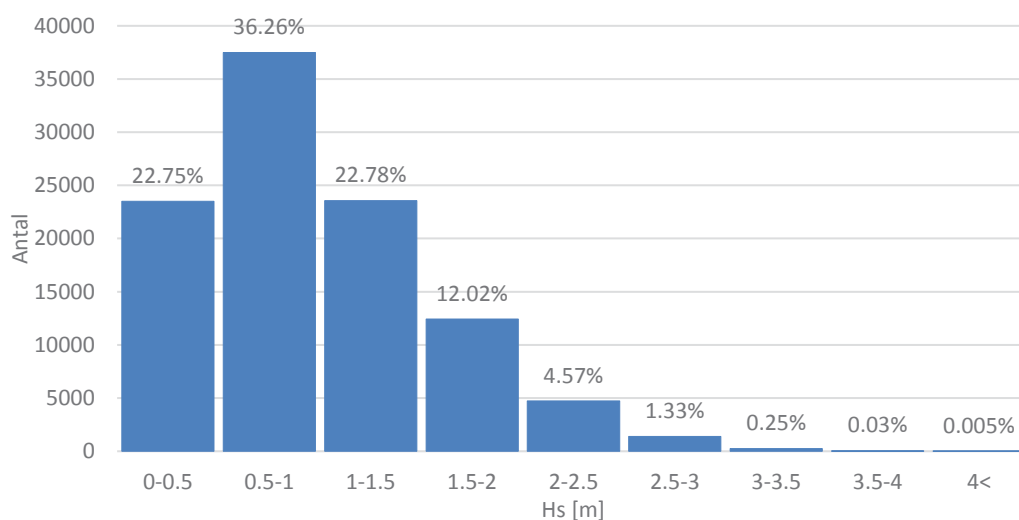
Ett två-dimensionellt beräkningsnät som täcker hela modelldomänen har skapats. Det tvådimensionella beräkningsnätet består av ca 6 600 beräkningspunkter och ca 11 900 beräkningselement i ett triangulärt så kallad flexibelt nät (Figur 3-1).

Beräkningselementernas sidolängd i horisontalldet varierar mellan ca 10 m kring Galären området och upp till 80 m i Lidöfjärden. Finare beräkningsnät ger bättre upplösning och därmed bättre noggrannhet i de områden där det behövs.

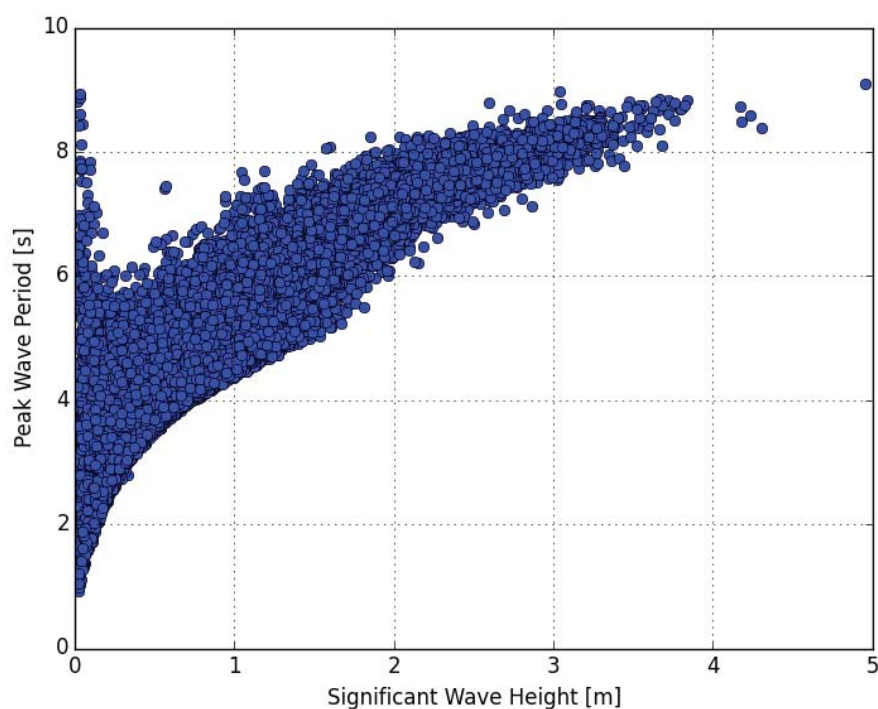
3.3 Havsvågor

3.3.1 Vågstatistik och randvillkor

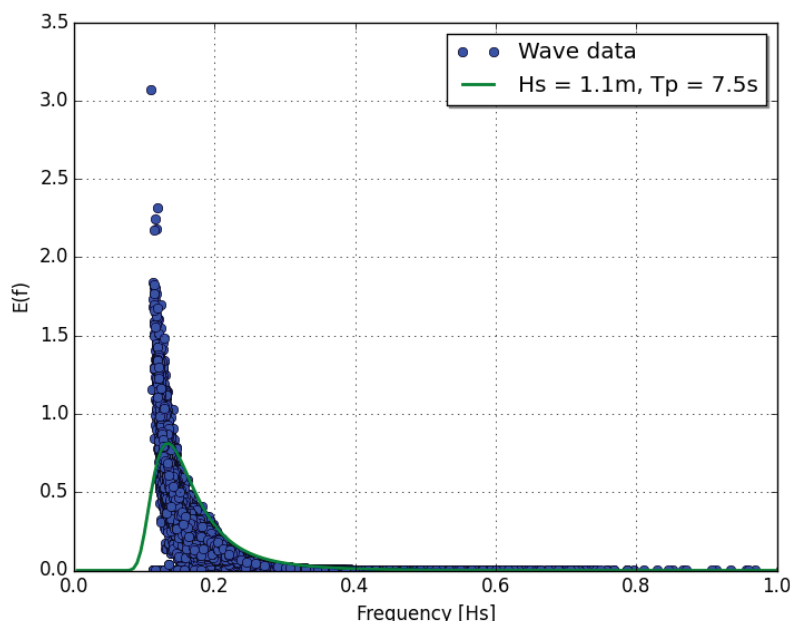
Modellerade långtidsvågdata för en utvald punkt i havet utanför Norrtäljefjärden har köpts in från Sweco Danmark (se avsnitt 2.5). Simulerad långtidsvågdata har analyserats för att bestämma sannolikheter för förekomsten av olika signifikanta våghöjder (Figur 3-2) och sambandet mellan signifikant våghöjd och vågperiod (*peak wave period*), se Figur 3-3. Dessutom har ett Bretschneider spektrum anpassats till de mer långperiodiska vågorna (Figur 3-4), med värden som överensstämmer m.h.t. signifikant medelvåghöjd och *peak wave period* (vågperiod för vågen med högst energi i energispektret).



Figur 3-2 Förekomst av olika signifikanta våghöjder (H_s) från Öst enligt uppgifter från simulerade långtidsvågdata



Figur 3-3 Samband mellan vågperiod (peak wave period) och signifikant våghöjd enligt uppgifter från simulerade långtidsvågdata



Figur 3-4 Bretschneider vågspektrum jämfört med vågdata. Gröna kurvan representerar Bretschneiders spektrum för signifikant medelvåghöjd och 'peak wave period', T_p .

Enbart extrema vågor har analyserats vidare eftersom det är dessa som kan vara relevanta i bestämningen av dimensionerande vågorna. Analys av modelldata visar att 100-årsvågen har höjd och period som följer:

- $H_{s,100} = 3,56 \text{ m}$
- $T_{p,100} = 8,68 \text{ s}$

3.4 Lokala vindvågor

Skjuvspänningar i vattenytan under vindens påverkan skapar vågor som initialt utbreddes i vindens riktning. Sedan transformeras vågorna och kan utbredas i andra riktningar också. Vindbildade vågor har modellerats i TOMAWAC med hjälp av Snyders vindmodell, för att beräkna vågor som bildas pga. vindens inverkan på vattenytan i områden med begränsat vattendjup. Modellberäkningen har verifierats med handberäkningar för ett förenklat vattenområde med användande av Young Verhagens vågbildningsformel för områden där vågorna påverkas av begränsat vattendjup, se Ekvation (1):

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0,241 \left(\tanh A_1 \tanh \left(\frac{B_1}{\tanh A_1} \right) \right)^{0,87} \quad (1)$$

där,

$$A_1 = 0,493 \left(\frac{gh}{U_{10}^2} \right)^{0,75}$$

$$B_1 = 0,00313 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,57}$$

H_s är signifikant våghöjd, g är gravitationen, U_{10} är vindhastighet 10 m över vattennivån, h är vattendjup, och F är stryklängden.

Det är viktigt att kraftöverföringen från vind till vatten beräknas korrekt eftersom denna är bestämmande för vågstorleken. Snyders modell har därför jämförts med andra vindmodeller, se Tabell 3-1.

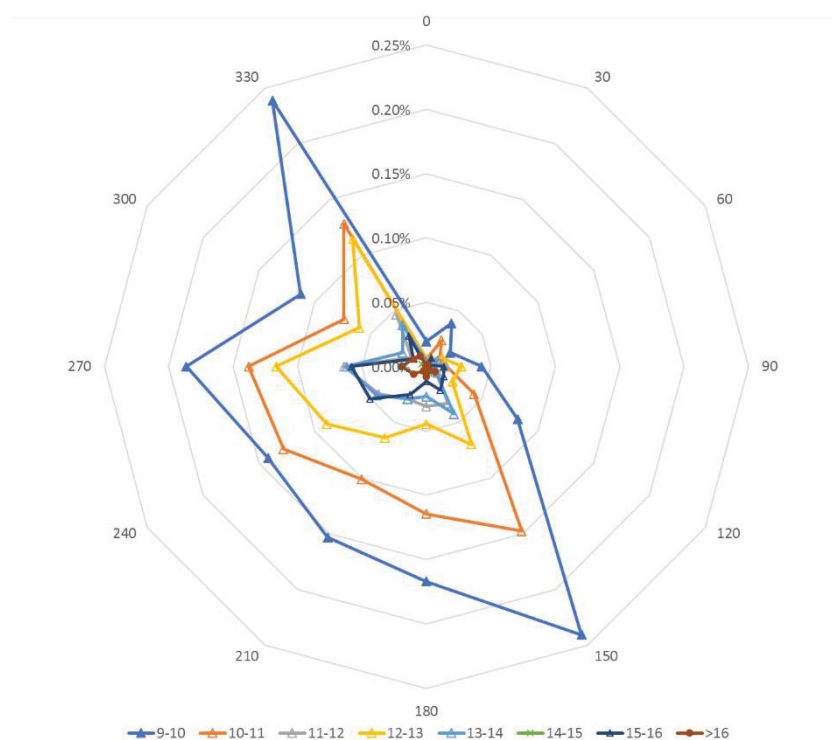
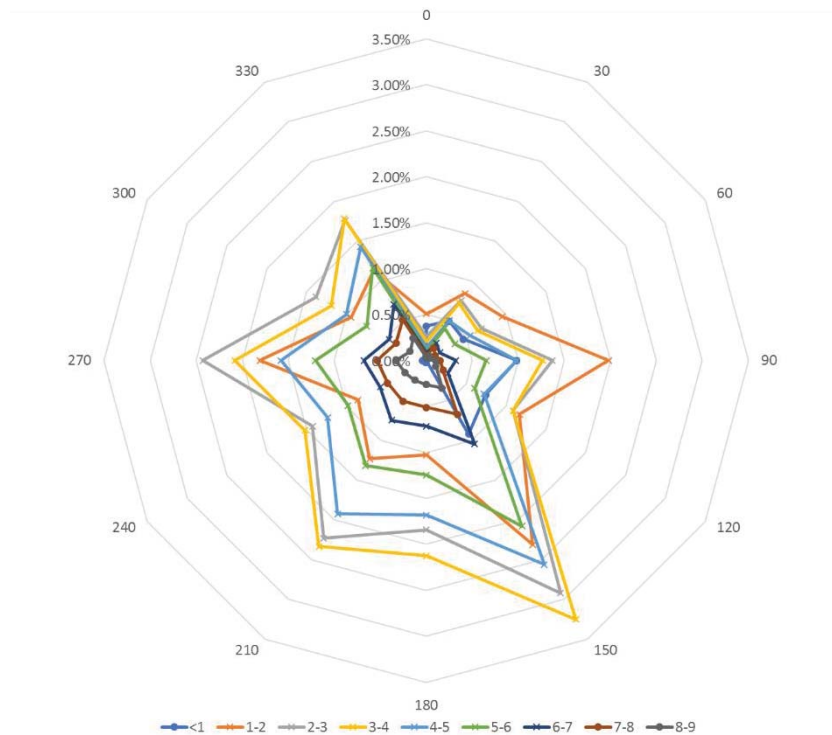
Tabell 3-1 Jämförelse av motståndskoefficienter (drag coefficients) i olika vind modeller, med vindhastighet 20 m/s

Metoder	Motståndskoefficient [-]
Janssen [Smith & Banke, 1975]	0,0020
Janssen [Wu, 1980]	0,0021
Snyder	0,0021

Jämförelsen visar att motståndskoefficienten i vårt fall blir den samma för Snyders modell som för Janssens modell.

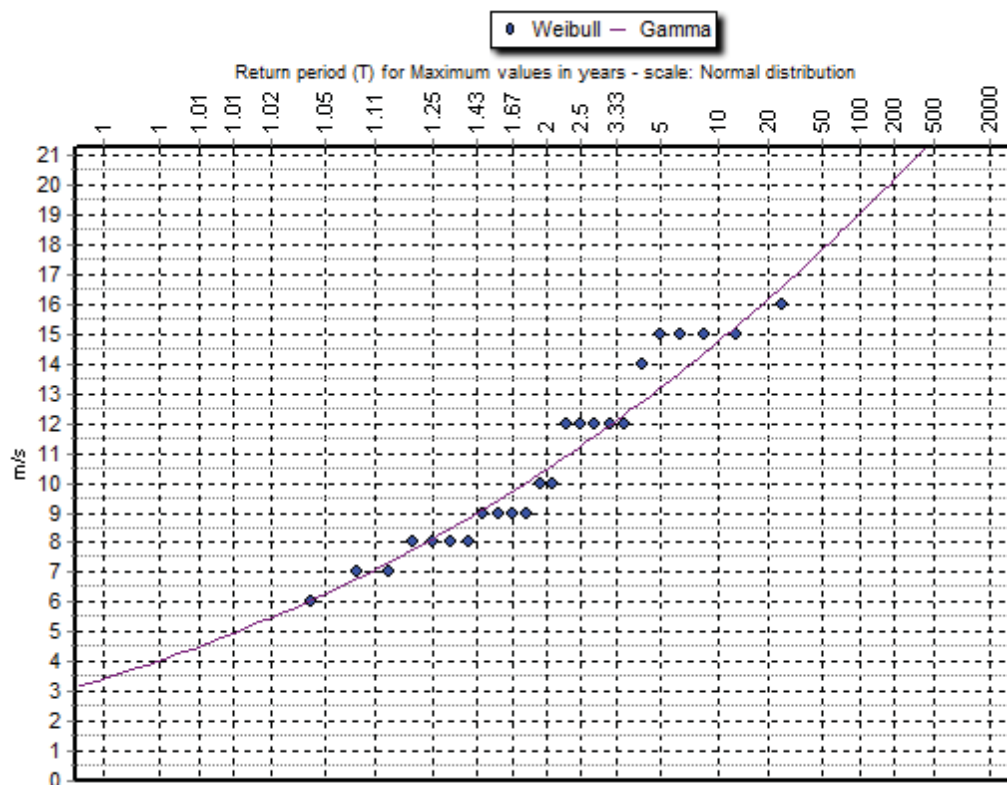
3.4.1 Vindstatistik

Innan simulering av vindbildade vågor har vinddata från perioden 1961–1984 hämtats från en mätstation i Norrtälje (klimatnummer 98460) och analyserats. Resulterande vindros baserad på mätdata med 3-timmars intervaller r uppmätt 10 m över markytan illustreras i Figur 3-5.



Figur 3-5 Vindros, uppdelat i låga (övre) och höga (nedre) vindhastigheter i m/s

Norrtäljehamn och Galären påverkas främst av vågor bildade av vind från riktning 30 till 120 grader (nordost till sydost). Det är vind från dessa riktningar som skapar de högsta vågor i hamnområdet eftersom dessa riktningar har längst stryklängd i kombination med höga vindhastigheter. Figur 3-5 illustrerar sannolikheten för vind av olika hastigheter från olika vindriktningar. Varje punkt representerar ett riktningsintervall på 30 grader (punkt vid 30 grader gäller intervallet 0–30 grader). Vind från riktningarna mellan 30–120 grader förekommer relativt sällan, bara 13,5 % av tiden. Vind från detta vinkelrum har analyserats, se Figur 3-6, och 100-års vindhastigheten blir ca 19,0 m/s, bestämd med hjälp av Gamma-anpassning. 100-års vindhastigheten är den maximala vindhastigheten inom en 100-års period. Sannolikheten att denna vindhastigheten förekommer ett givet år är 1%.



Figur 3-6 Vinndata mellan riktningarna 30 grader och 120 grader med anpassad Gamma fördelningskurva

4 Strömningsmodell

4.1 Upprättande av beräkningsmodell

4.1.1 Beräkningsprogram

I uppdraget har TELEMAT-3D version 7.1 använts. Programmet är utvecklat av "Open Telemac Consortium" (Frankrike: EDF:s Laboratoire National d'Hydraulique, CETMEF, ARTELIA – Storbritannien: Daresbury Laboratory, HR Wallingford – Tyskland: Bundesanstalt für Wasserbau) och är tillgänglig som öppen källkod.

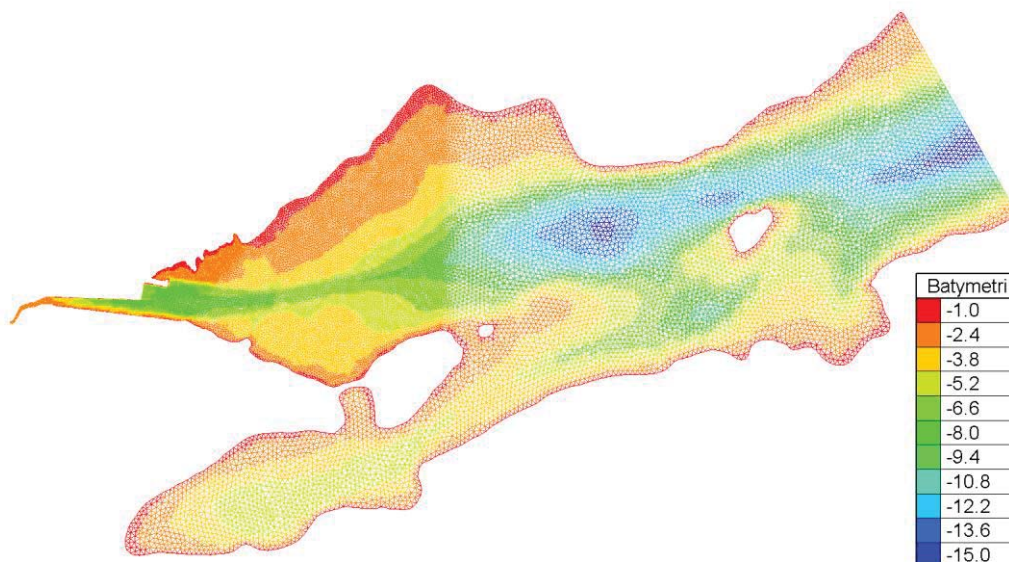
TELEMAT-3D löser Navier-Stokes ekvationer samt transport-diffusions ekvationer för lösta ämnen och egenskaper (temperatur, salthalt) i tre dimensioner. Tillämpningsområdena är ytvattenmodellering i hav, sjöar och vattendrag.

4.1.2 Beräkningsnät

I detta avsnitt beskrivs hur beräkningsnät bildas med nuvarande bottenpografi utan nya konstruktioner. Med framtida förhållanden bildas nytt beräkningsnät efter samma princip som beskrivit här. Flytbryggor kräver dock speciella tilltag som beskrivs i avsnitt 4.1.5.

Ett tvådimensionellt beräkningsnät som täcker hela modelleringsområdet har skapats och duplicerats flera gånger i vertikalled för att erhålla ett tredimensionellt beräkningsnät.

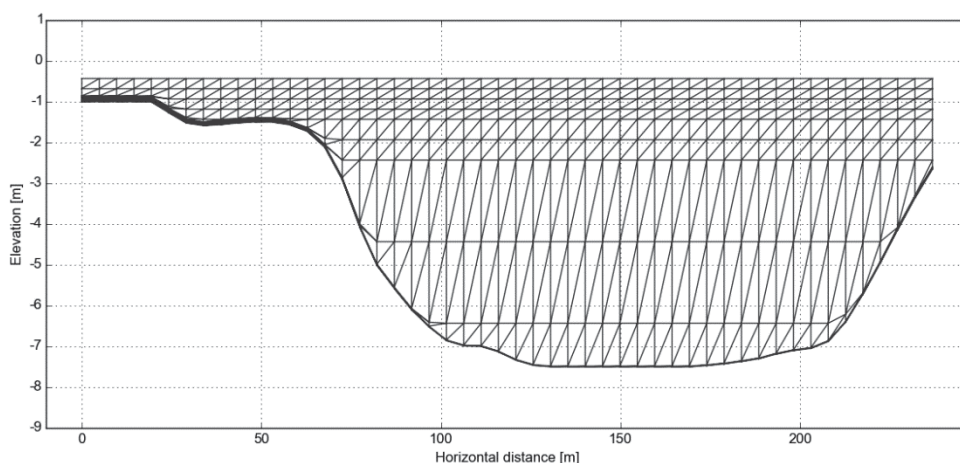
Det tvådimensionella beräkningsnätet för nuvarande geometri består av ca 115 700 beräkningspunkter och ca 228 500 beräkningselement i ett triangulärt så kallat flexibelt nät (Figur 4-1).



Figur 4-1 Höjdmodell och beräkningsnät i strömningsmodellområdet (Nuvarande förhållanden)

Beräkningscellernas sidolängd i horisontalld varierar mellan ca 2 m kring kajen och upp till 20 m i mitten av viken.

Det tredimensionella beräkningsnätet har skapats genom att duplicera det tvådimensionella beräkningsnätet 10–11 gånger i vertikalld (beroende på vattennivå scenario), se Figur 4-2, och består av ca 233 100 och 405 600 element för nuvarande förhållanden. Det nedersta planet (nr 1) motsvarar botten och det översta planet (nr 11) vattenytan. Avståndet mellan planen varierar mellan 0,25 m nära vattenytan och 2 m närmast botten.



Figur 4-2 Beräkningsnät i vertikalld (exempel)

Beräkningsnätet är olika för Nuvarande och för Framtida förhållanden, eftersom modellområdet kommer att bli annorlunda i framtiden på grund av nybyggnationerna. Förändringarna har beskrivits i avsnitt 2.3.

Det tvådimensionella beräkningsnätet för framtida geometri består av ca 23 300 beräkningsnoder och ca 45 000 beräkningselement.

4.1.3 Beräkningsparametrar

Friktion på botten har simulerats med hjälp av så kallad Nikuradses råhet som baseras på en ekvivalent sandråhet på 0,02 m vilket anses vara ett typiskt värde för sjöbottnar.

Vattnets densitet varierar med temperatur och salthalt och beräknas av programmet i samtliga beräkningspunkter med följande ekvation [2, 3]:

$$\rho = \rho_{ref} \cdot \{1 - [7 \cdot (T - T_0)^2 - 750 \cdot S] \cdot 10^{-6}\}$$

Med:

- T = temperatur [grader Celcius]
- T_0 = referenstemperatur = 4,0 grader Celsius
- ρ = vattnets densitet [kg/m^3]
- ρ_{ref} = vattnets referensdensitet vid T_0 , 999,972 kg/m^3
- S = salthalt [g/l]

Turbulens i horisontal- och vertikalplan har simulerats med k- ϵ -turbulensmodell.

4.1.4 Simulering av vegetation

Vegetation i vattnet nära Norrtäljevikens norra strand i området Öster om hamnen, mellan Port Arthur udden och Varvsgatan påverkar såväl vågor som vattnets strömningsmönster.



Figur 4-3 Område med vegetation i vattnet nära Norrtälje Hamn



Figur 4-4 Exempel på vegetation i området omedelbart öster om Norrtälje Hamn

Vegetation genererar ett strömningsmotstånd som kan beskrivas med hjälp av s.k. motståndskraft:

$$\vec{F} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_D \cdot U \cdot \vec{U}$$

Med:

- $\vec{F}$: motståndskraft (N)
- ρ : vattnets densitet (kg/m³)
- A : tillämpningsyta, vinkelrätt mot strömningsriktning (m²)
- C_D : motståndskoefficient (-)
- $\vec{U}$: vattenhastighet (m/s)

Motståndskraftens storlek beror bland annat på formen av en konstruktion, som skapar ett hinder och motstånd för strömmen vilket tas hänsyn till genom motståndskoefficienten, C_D . Exempel på motståndskoefficienter för typiska former finns t.ex. i Cederwall och Larsen (1976).

Strömningsmotståndet som genereras av vegetation på botten som sticker upp genom vattenytan är mer komplicerat då det inte finns bara en "konstruktionstyp" utan flera olika vegetationstyper av olika form och diameter i ett ostrukturerat mönster. Motståndskoefficienten i en sådan konfiguration blir något mindre än summan av det motstånd som varje element påverkas av pga. gruppeffekten. Enligt metodiken som redovisas i Npéf (1999) kan motståndskraften för vegetation uttryckas som:

$$\vec{\tau} = \frac{1}{2} \rho \cdot n \cdot d \cdot h \cdot \overline{C_D} \cdot U \cdot \vec{U}$$

Med:

- $\vec{\tau}$: kraft per ytenhet (N/m²)
- n : antal vegetationsenheter per ytenhet (m⁻²)
- d : diameter för en vegetationsenhet (m)
- h : vattendjup (m)
- $\overline{C_D}$: motståndskoefficient med gruppeffekt (-)

Motståndskoefficienten för en cylinder är ca 1,2 vid turbulent strömning. Motståndskoefficienten som har använts i beräkningarna och som tar hänsyn till gruppeffekt har uppskattats till 1,08 enligt Npéf (1999) med följande antaganden:

- Diameter för en vegetationsenhet, $d = 0,01$ m
- Antal vegetationsenheter per ytenhet $n = 100$

4.1.5 Simulering av flytbryggor

Strömmar påverkas av flytbryggorna som utgör ett hinder för strömmar längs vattenytan och ger därmed anledning till ett strömningsmotstånd. Strömningsmotståndet uppdelas i:

- Formmotstånd (strömmen tvingas att ändra riktning för att strömma runt strukturer).
- Friktion (strömmen bromsas i kontakt med konstruktioner på grund av dess råhet).

Formmotståndet har simulerats genom att minska strömningsarean under konstruktionerna. Detta görs genom att hindra strömning genom vattenvolymen som förträngs av flytbryggan. Modellen har inte en inbyggd funktion som tillåter inläggning av flytande konstruktioner, detta hanteras istället genom att i gränsytan mellan vattnet och flytbryggan addera vattentrycket mot flytbryggan till modellens vattenyta.

Det ökade trycket definieras med följande ekvation:

$$P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot H_{flytbryggor}$$

Med:

- $P_{atm} = 10^5$ Pa (atmosfärstryck)
- ρ : vattnets densitet (kg/m³)
- $g = 9,81$ m/s²
- $H_{flytbryggor} = 0,5$ m för samtliga flytbryggor (neddykningen av bryggan under vattenytan)

Friktionen i kontakten mellan vatten och konstruktion simuleras på liknande sätt som friktionen längs botten, med hjälp av en friktionsformel. Skjuvspänningen i kontakten mellan vatten och flytbryggornas undersida beräknas med följande ekvation:

$$\vec{\tau} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_f \cdot U \cdot \vec{U}$$

Med:

- $\vec{\tau}$: skjuvspänning (N/m²)
- ρ : vattnets densitet (kg/m³)
- C_f : friktionskoefficient (-)
- $\vec{U}$: strömningshastighet i närheten av strukturen (m/s)

Friktionskoefficienten kan uttryckas på olika sätt beroende på vilken friktionsformel som används. I denna studie representeras friktionen genom Nikuradses ekvivalenta sandråhet för en sandig botten:

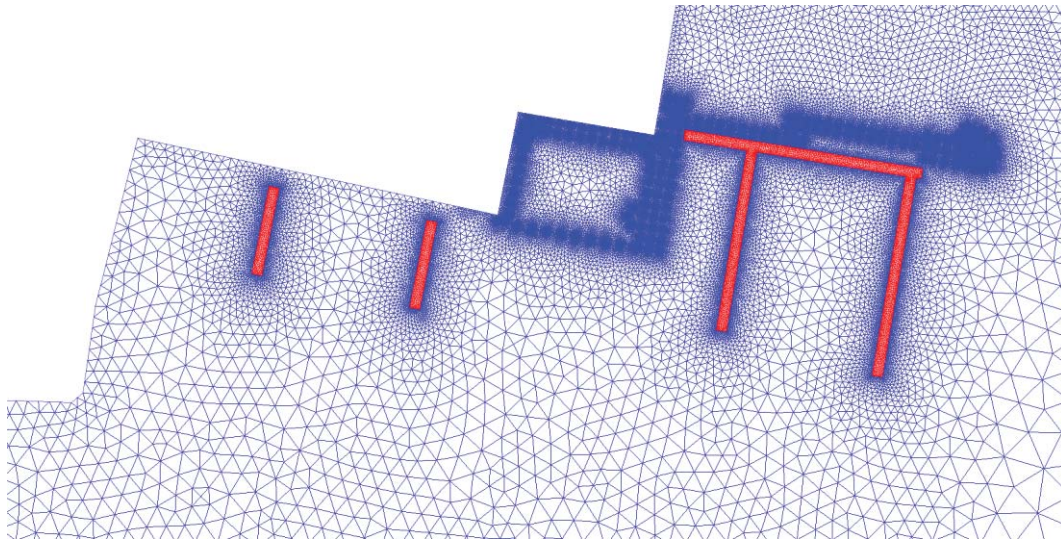
$$C_f = 2 \cdot \left[\frac{\kappa}{\ln\left(\frac{30 \cdot h}{k_s}\right)} \right]^2$$

Med:

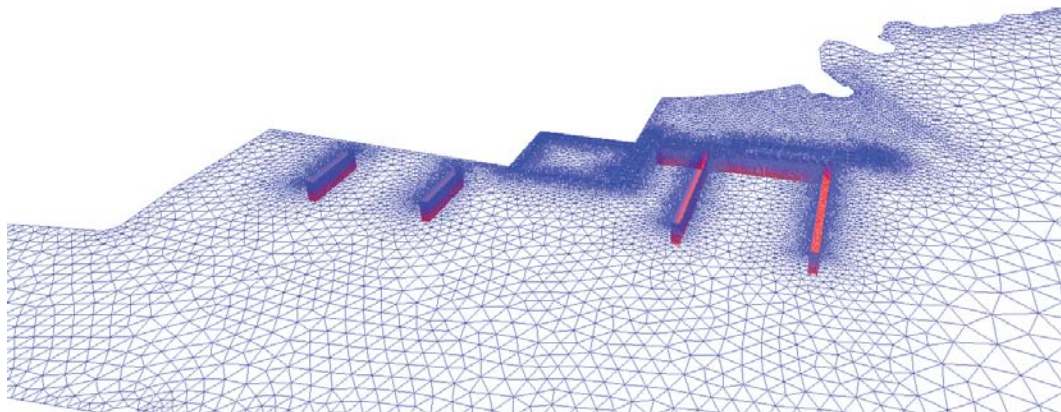
- κ : von Kármans konstant (0,4)
- h : avstånd mellan vattenytan och första beräkningspunkt i beräkningslagret strax under (m)
- k_s : ekvivalent sandråhet (m)

Antagen sandråhet är $k_s = 0,005$ m, vilket bedöms vara representativ av flytbryggornas undersida. För en sandig botten används ofta $k_s = 2\frac{1}{2} \times d_{50}$, där d_{50} är medelkorndiametern, vilket i detta fall motsvarar $d_{50} = 2$ mm.

De simulerade flytbryggorna illustreras i Figur 4-5 och Figur 4-6.



Figur 4-5 Planöversikt med flytbryggor (röda områden), med tätt beräkningsnät kring pålar



Figur 4-6 3D översikt med flytbryggor (röda områden), med tätt beräkningsnät kring pålar

4.2 Randvillkor

Uppströms randvillkor för 3D modellen är vattenföringen från Norrtäljeån och nedströms randvillkor är vattennivåer. Dessutom används en initialsiktning enligt Engqvist et al (2010), Ref. [9], och vindhastigheter och riktning som yttre påverkan på vattenytan.

4.2.1 Flöde från Norrtäljeån

Antagen vattenföring, medel lågflöde, medelflöde och 100-årsflöde, redovisas i Tabell 4-1.

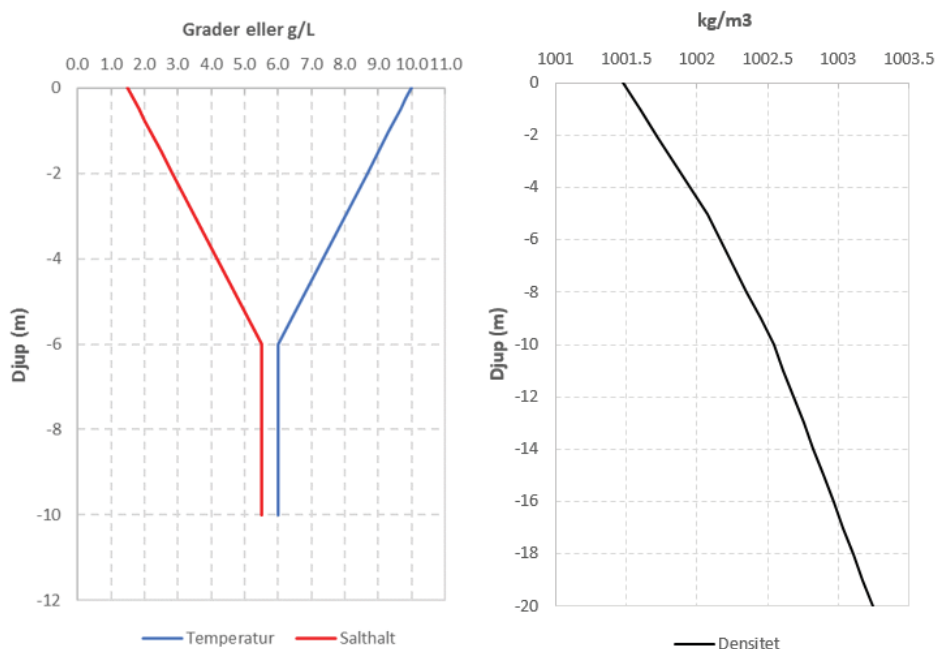
Tabell 4-1 Estimerat flöde i Norrtäljeån vid mynningen

Vattenföring	Flöde [m^3/s]
MLQ	0,54
MQ	2,15
Q100	23,0

4.2.2 Skiktning

Skiktningen som initialt antogs i modellen hämtades från modellberäkningar från Engqvist et al. (2010) [9], se Figur 2-10. Värden för april till juni används i schematiserat form i modellen. Under hösten försvagas skiktningen under en kortare period med ökad uppblandning till följd. Denna situation har inte simulerats i modellen. Eftersom modellsimuleringarna indikerar att skiktningen är viktig rekommenderas att simulering(ar) utan skiktning utförs.

Ansatta startvillkor gällande vattentemperatur och salthalt redovisas i Figur 4-7.



Figur 4-7 Vertikalsiktning för temperatur och salthalt (vänster) och motsvarande vattendensitet (höger).

4.2.3 Vattennivå

Vattennivåer för olika scenarier finns i Tabell 4-2 (SMHI 2018, Ref. [5])

Tabell 4-2 Högsta högvattenstånd (HHW), medelhögvattenstånd (MHW), lägsta högvattenstånd (LHW), medelvattenstånd (MW), högsta lågvattenstånd (HLW), medellågvattenstånd (MLW) samt lägsta lågvattenstånd (LLW) i cm för Stockholm i dagens klimat och framtida klimat [3]. En avvägd landhöjning på 0,59 cm/år har använts vid beräkningarna, vilket är en interpolering av den avvägda landhöjningen vid Forsmark (0,68 cm/år) och vid Stockholm (0,54 cm/år)

Vattennivå	RH00 [cm]	
	Dagens klimat (2018)	Framtida klimat (2100)
HHW	74	119
MHW	19	64
LHW	-7	38
MW	-43	2
HLW	-66	-21
MLW	-88	-43
LLW	-112	-67

Vattennivåer år 2100 förväntas ligga ca 45 cm över nuvarande vattennivåer. Utöver detta bör även effekten av vinduppstuvning i Norrtäljeviken beaktas. Vid starka östliga vindar på mellan 22–24 m/s, bör en stationär effekt av vinduppstuvning på ca 0,1 m med en varaktighet på några timmar inkluderas. Dynamiska insvängningsförlopp kan därutöver ge upphov till kortvarig uppstuvning på ca 0,2 m.

4.2.4 Vind

Vinden utgör en yttre påverkan som skapar såväl vågor som vinddrivna strömmar och som genom vindstuvning bidrar till förhöjda vattennivåer. Huvudvindriktningen för maximal påverkan är riktningsspannet mellan 30–120 grader. Enligt analys av vinddata uppgår 100-års vindhastigheten inom detta riktningsspann till 19,05 m/s. I strömningssimuleringarna har således en vindhastighet på 19 m/s antagits med en medelvindriktning på 85 grader (ungefär ÖNÖ).

Andra vindriktningar kan också bidra till vattenomsättningen i hamnområdet. Särskilt intressant är de oftast förekommande vindriktningarna från 180–330 grader (SV). Analys av vind från de dominerande vindriktningarna visar att 5-års vindhastigheten från dessa riktningar (18,77 m/s) har nästan samma storlek som 100-års vindhastigheten från 30–120 grader. Vind från 180–330 grader kommer därmed att bidra till vattenomsättningen och har således även det simulerats i scenario 9. Denna vindriktning är dock ej intressant för vågbildning i hamnområdet.

5 Vågssimuleringar - beräkningsfall och resultat

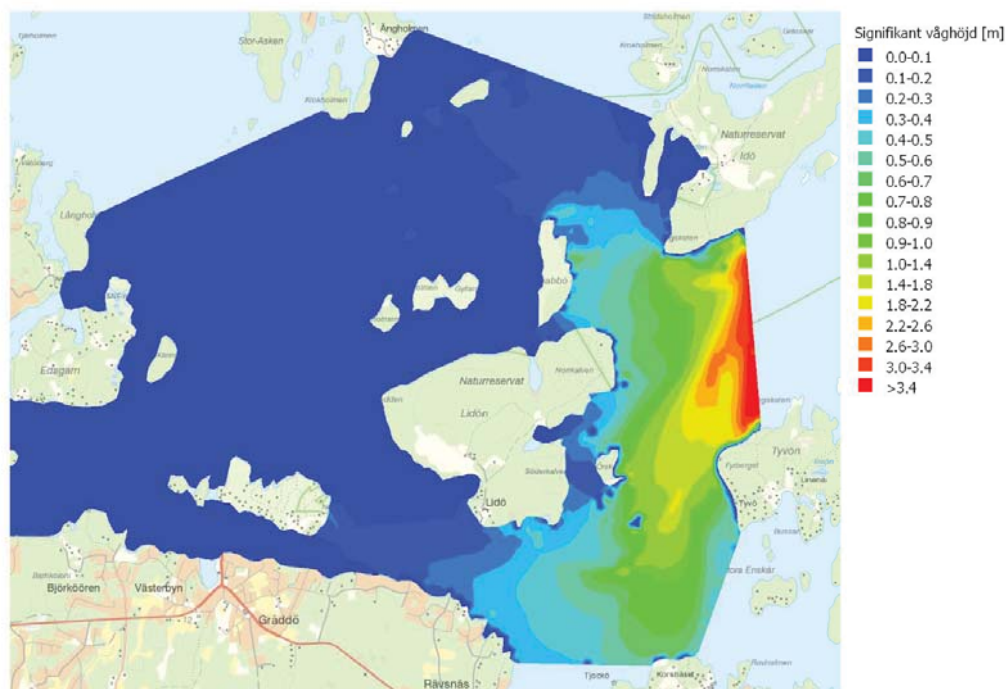
5.1 Havsvågor

Med de stora öar som blockerar stora delar av Lidöfjärdens öppning mot havet har olika vågriktningar testats för att bedöma vågornas spridning i Norrtäljeviken. Dessa simuleringar inkluderar inte vindpåverkan på vågorna, men simulerar utbredningen av vågor som har genererats ute till havs och ankommer till modellens yttre rand. Vågriktningarna som har testats visas i Tabell 5-1 och resultaten av simuleringarna illustreras i Figur 5-1 till Figur 5-6.

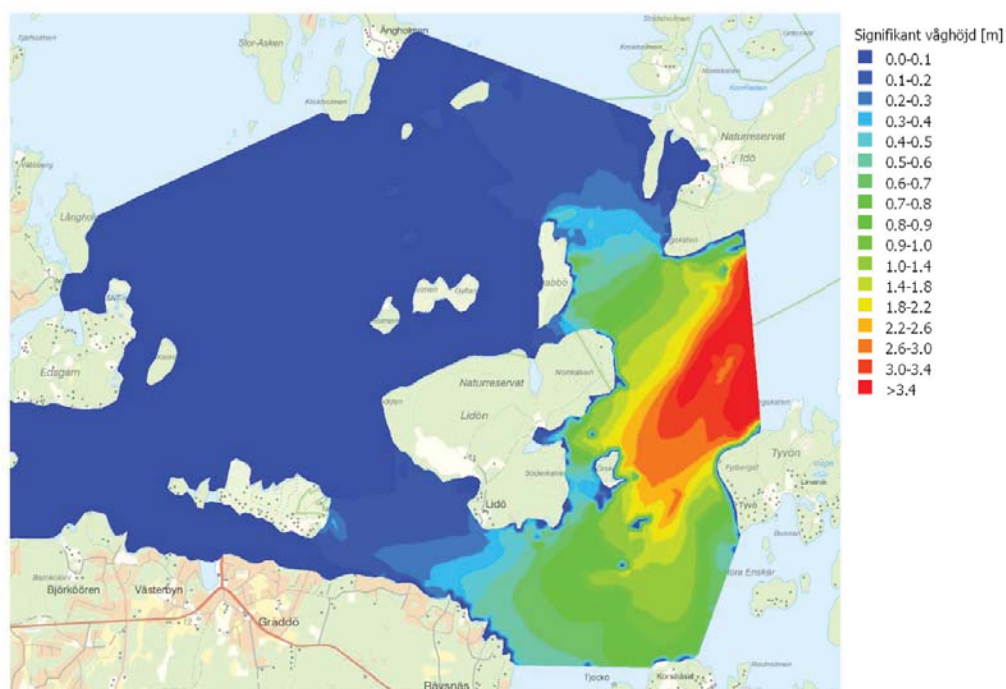
Tabell 5-1 Medel vågriktningsintervaller och representativ vågriktning vid simuleringar av havsvågor

Riktningssintervall [grader]	Representativ riktning
0–30	15
30–60	45
60–90	75
90–120	105
120–150	135
150–180	165

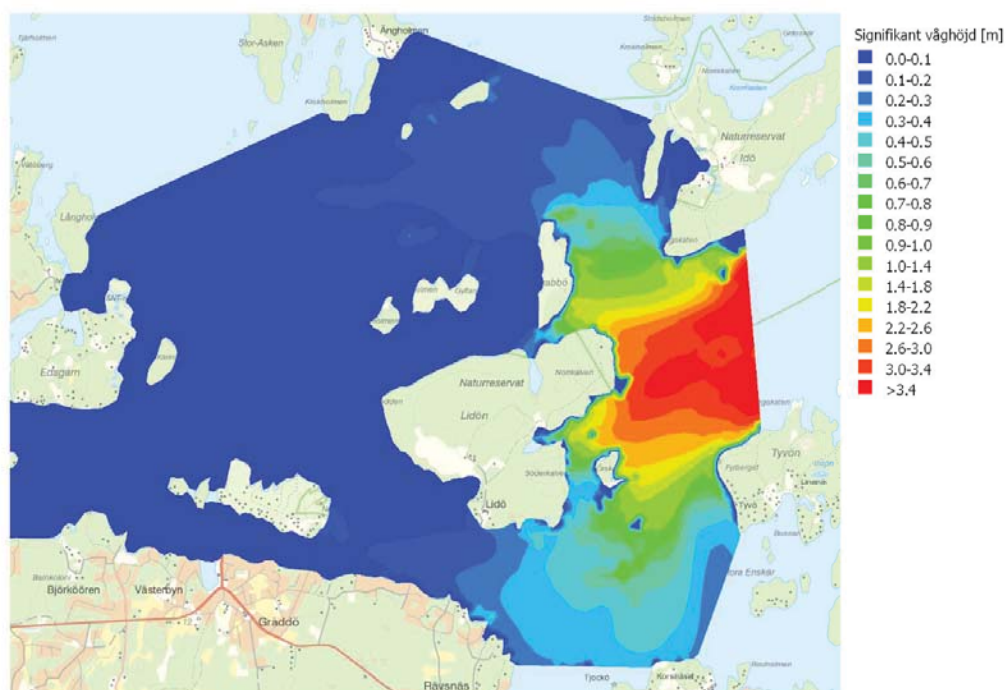
Simuleringarna illustrerar tydligt att vågor som kommer in från havet dels blockeras av öar och hindras från att spridas till Norrtäljeviken, dels förlorar de energi på grund av den energiförlust som sker vid passage av grunda områden. Havsvågor bidrar därmed ej märkbart till vågklimatet längre inne i Norrtäljeviken och inte alls inne i hamnområdet.



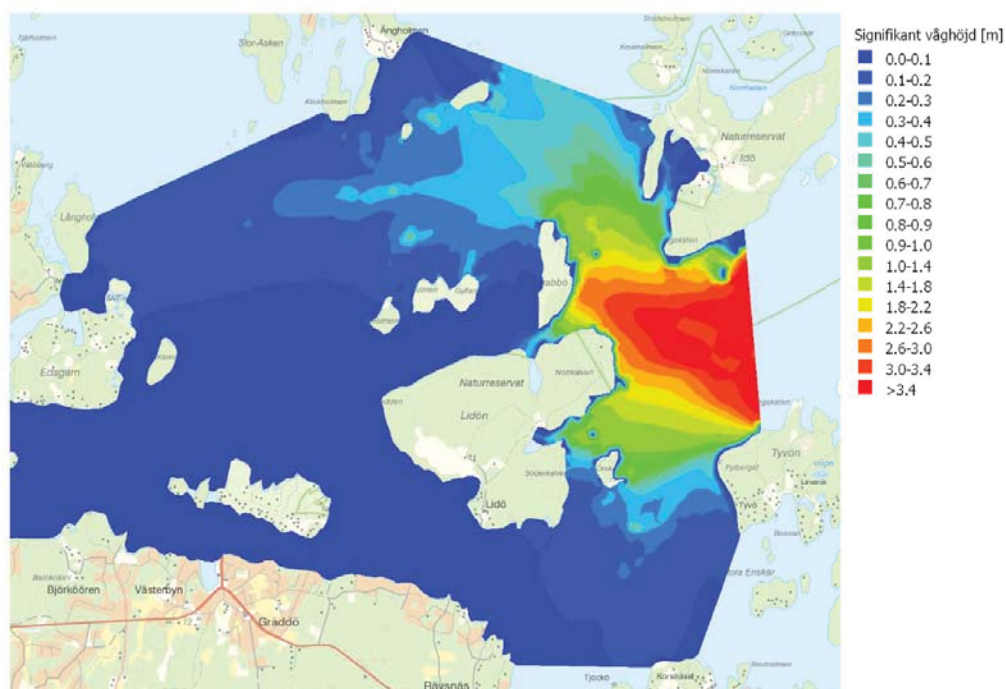
Figur 5-1 Signifikanta våghöjder för riktning 15°



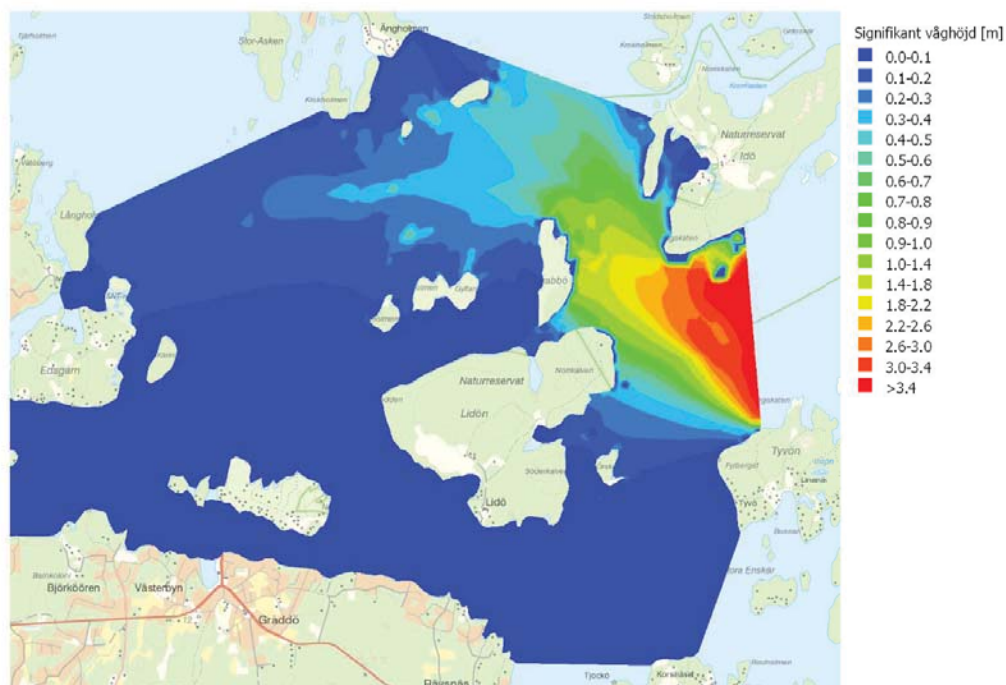
Figur 5-2 Signifikanta våghöjder för riktning 45°



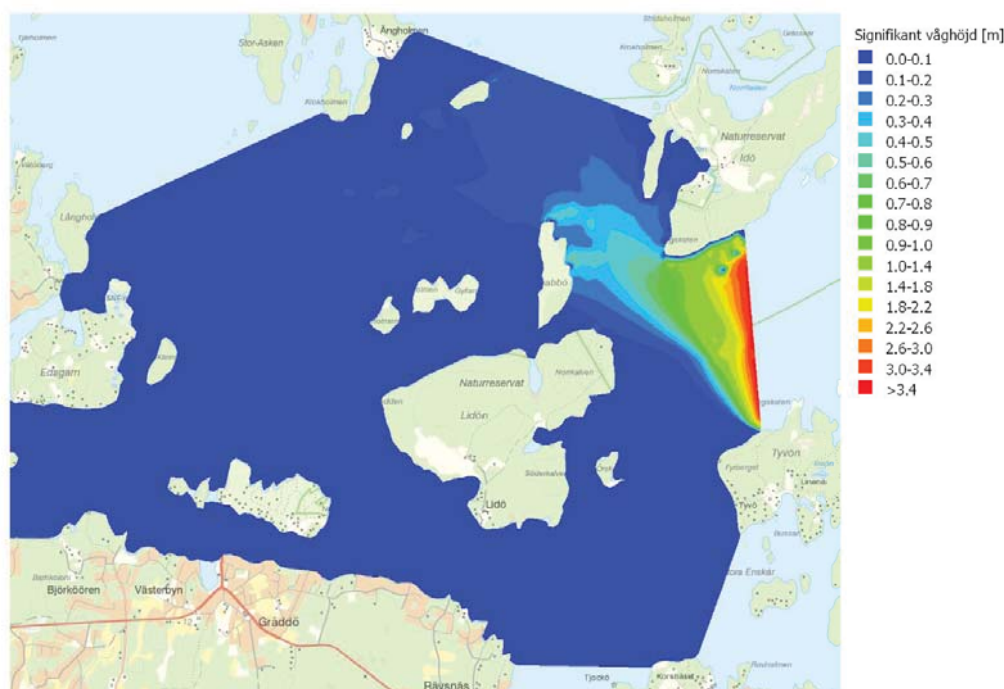
Figur 5-3 Signifikanta våghöjder för riktning 75°



Figur 5-4 Signifikanta våghöjder för riktning 105°



Figur 5-5 Signifikanta våghöjder för riktning 135°



Figur 5-6 Signifikanta våghöjder för riktning 165°

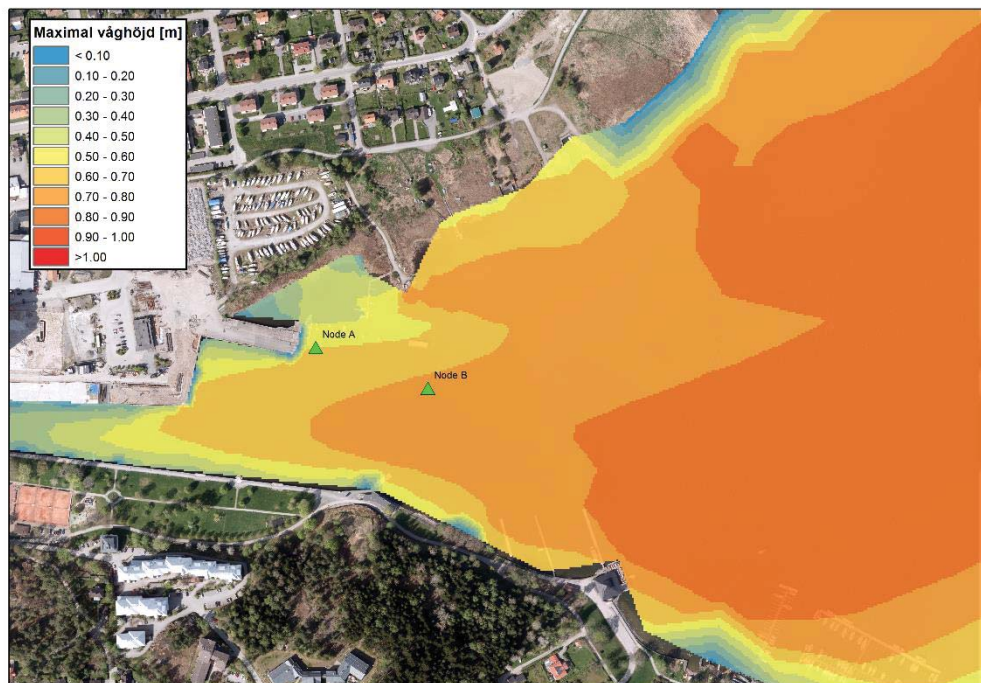
5.2 Vindvågor

Beräkningar med vindhastigheten 19,05 m/s (100-årsvindhastighet från riktning 30–120 grader) har utförts med tre olika vindriktningar:

- 85 grader (ÖNÖ)
- 100 grader (ÖSÖ)
- 115 grader (SÖ)

De tre riktningarna har valts för vågsimuleringarna då de anses utgöra de riktningar som förväntas påverka vågklimatet i hamnområdet mest. Längst stryklängd uppnås med en vindriktning på 85 grader.

Figur 5-7 visar den maximala våghöjden vid samtliga tre vindriktningar kombinerad med en vindhastighet på 19,05 m/s i Norrtäljehamn. Figuren visar maximala våghöjder som kan förväntas förekomma i hamnområdet inom en 100-år's period. Detaljerade resultat från simuleringarna från de olika vindriktningarna med en vindhastighet på 19,05 m/s finns i Appendix A. Resultaten anses vara konservativa eftersom det har förutsatts att vågorna är fullt utvecklade.



Figur 5-7 Maximal våghöjd vid vindhastighet 19,05 m/s vid vindriktningar 85, 100 och 115 grader i Norrtäljehamnen i Galären området. Node A = (190317.484, 6627358.385) och Node B = (190432.434, 6627316.521) i SWEREF99 1800.

Vågorna är små jämfört med vattendjupet och vågbrytning förekommer sällan innan vågorna når fram till stranden; därför är $H_{m0} = H_s$. Den maximala våghöjden uppgår till $2 \times H_s$, förutsatt att vågorna är Rayleigh fördelade [2]. Signifikanta och maximala våghöjder för alla tre scenarier har beräknats för de två punkterna inom hamnområdet angivna i Figur 5-7 och presenteras i Tabell 5-2.

Tabell 5-2 Signifikant våghöjd och maximala våghöjder i Node A och Node B

	Node A	Node B
Signifikant våghöjd (H_s) [m]	0,30	0,36
Maximal våghöjd (H_{max}) [m]	0,60	0,72

5.2.1 Vinduppstuvning

Vinduppstuvningen är en vattennivåökning som uppstår på grund av vattenytans snedställning under vindfriktionens inverkan och utgör ett betydande bidrag till beräknade maximala vattennivåer.

Modellsimulering av effekten av vinduppstuvning visar på en ökning på 0,07 m för både MW och HHW.

Som en enkel kontroll av modellberäkningarna har en handberäkning gjorts, baserat på ekvationen för vinduppstuvning [7] som gäller för en mycket enklare geometri.

$$\frac{dh_1}{dx} = \frac{\kappa u^2 \cos \varphi}{gh} \quad (2)$$

h_1 : vinduppstuvning

h : vattendjup

x : stryklängd

u : vindhastigheten 10 m över marken

κ : friktionskoefficient mellan luft och vattenyta som avhänger av densitetsskillnaden mellan luft och vatten

φ : vinkelavvikelse från vinkelrätt vindinfall emot kusten

g : tyngdaccelerationen

Med längsta stryklängd ca 3 km resulterar handberäkningen på en vinduppstuvning på mellan 0,10 m och 0,13 m. Som förväntat ger den förenklade 2-dimensionella beräkningen högre resultat än simuleringen med en realistisk 3-dimensionell geometri.

Mot bakgrund av denna kontrollberäkning bedöms den simulerade vinduppstuvningen vara korrekt.

6 Strömningssimuleringar – beräkningsfall och resultat

6.1 Inledning

Strömningssimuleringar med fokus på Norrtälje Hamn har utförts i en strömningssmässig komplex miljö i syfte att ge underlag för val av layout och teknisk dimensionering av nybyggnationer som planeras i hamnområdet.

Komplexiteten framgår av de många olika parametrar som spelar in:

- Utströmningen från Norrtäljeån
- Havets vattennivåvariationer och framtida vattennivåförändringar
- Skiktning orsakat primärt av blandning av färskt och salt vatten, men även temperaturgradienter
- Vindens påverkan på strömningar och våggenerering
- Vågor som uppstår lokalt under vindens påverkan och vågor från havet (resultat av vågsimulering presenteras i kapitel 5)
- Dagvattenutlopp inom hamnområdet
- Potentiella föroreningskällor och risken för spridning av förorening med vattenströmmar
- Sedimentspridning under framtida muddring i hamnområdet (inte med i denna version av rapporten)

Resultaten av simuleringarna planeras även att nyttjas som underlag för en MKB. Nyckelresultaten är vattennivåer och våghöjder, och inte minst strömningssförhållandena vid olika vattenstånd och vindförhållande med beaktande av utströmningen från Norrtäljeån. Genom att jämföra simuleringsresultat uppnås förståelse av vikten av de olika parametrarna och samspelet dess emellan, samt möjliggör att framtida påverkan av nybyggnationer på strömningssförhållandena kan beskrivas och kvantifieras.

Efterföljande presenteras resultat av genomförda simuleringar (9 för nuvarande och 8 för framtida förhållanden). Resultaten från simuleringarna ger bra möjlighet att belysa:

1. Påverkan av planerade nybyggnationer vid olika kombinationer av andra parametrar
2. Vindens påverkan på strömningarna (styrka och riktning)
3. Strömningssmönster vid hög och låg aktivitet (utströmning och vind)

Simuleringsresultat presenteras för varje simuleringsfall numrerat 1–9 i följande ordning:

- Resultatöversikt i tabell (strömningsshastigheter i 10 utvalda områden under nuvarande och framtida förhållanden)
- Kommentarer/förklaringar till resultaten
- Resultat i grafisk format

- Översiktskarta ytströmmar – Nuvarande
- Översiktskarta bottenströmmar - Nuvarande
- Översiktskarta ytströmmar – Framtida
- Översiktskarta bottenströmmar - Framtida
- Detaljkarta ytströmmar – Nuvarande
- Detaljkarta bottenströmmar - Nuvarande
- Detaljkarta ytströmmar – Framtida
- Detaljkarta bottenströmmar – Framtida
- Differensskarta (Nuvarande till Framtida) – Ytströmmar
- Differensskarta (Nuvarande till Framtida) – Bottenströmmar

6.2 Simuleringsfall

Utförda simuleringsfall har sammanställts i en simuleringsmatris som visas i Tabell 6-1. De första två simuleringarna kan beaktas som referenssimuleringar (med och utan vind), där "referens" representerar ett medelfall (medelvattanföring och medelvattennivå). Referensfall både med och utan vind indikerar att vinden från början utgör en nyckelparameter för strömningsmönstret i hamnområdet.

Simuleringarna 3 och 4 simulerar strömningarna med, respektive utan, vind vid höga vattennivåer.

Simuleringarna 5 och 6 simulerar kombinationen av låga havsvattennivåer och hög vattenföring från Norrtäljeån, med, respektive utan, vind. Bakgrunden är att höga vattenhastigheter kan uppstå vid just låga vattennivåer pga. begränsad strömningsarea. Simulering 6 (låga havsvattennivåer och hög vattenföring från Norrtäljeån utan vind) genomfördes enbart för nuvarande förhållanden. Resultaten för nuvarande förhållanden visade att simulering med framtida förhållanden inte skulle vara av intresse eftersom de resultat som en sådan simulering skulle ge redan täcks in av andra simuleringar.

Simuleringarna 7 och 8 simulerar låg vattenföring från Norrtäljeån och därmed låg vattenomsättning i hamnområdet kombinerat med medel respektive hög havsvattennivå. Dessa simuleringar genomförs utan vind, eftersom vindens påverkan skulle förbättra cirkulationen i hamnen.

Simulering 9 har fokus på just vinden och dess betydelse för vattenomsättningen i hamnen. Här simuleras ett relativt extremt (5-års återkomstintervall) för vind från dominerande vindriktningarna 180–330 grader.

Simulering 1 och 7 har dessutom använts till att analysera spridningen från en punktkälla. Simuleringarna och resultaten beskrivs nedan.

Tabell 6-1 Simuleringsmatris - strömningsberäkningar

No	Namn	Storlek	Input			Kommentar
			Utströmning	Vattennivå	Vind	
1	Referens scenario - utan vind	Hög				Normalfall utan vind
	Medel utströmning och vattennivå - utan vind	Medel	X	X		
		Låg			X	
2	Referens scenario - med vind	Hög			X	Normalfall med vind
	Medel utströmning och vattennivå - extrem vind	Medel	X	X		Analys av vindens betydelse i normalfallet
		Låg				
3	Max av alla	Hög	X	X	X	Max vattennivå
	Extrem utströmning, vattennivå och vind	Medel				Vattenhastigheter kan vara viktiga
		Låg				
4	Max ström och vattennivå - utan vind	Hög	X	X		Analys av vindens betydelse i extremfallet
	Extrem utströmning och vattennivå - utan vind	Medel				
		Låg			X	
5	Max ström - lågvatten	Hög	X		X	Hög cirkulation vid lågvatten
	Extrem utströmning och vind vid lågt vattennivå	Medel				Höga vattenhastigheter
		Låg		X		Vindeffekt inkluderat
6	Max ström - lågvatten utan vind	Hög	X			Hög cirkulation vid lågvatten
	Extrem utströmning och lågt vattennivå - utan vind	Medel				Höga vattenhastigheter
		Låg		X	X	Analys av vindens betydelse
7	Låg vattenomsättning vid medelvattennivå	Hög				Vattennivåns betydelse vid låg cirkulation
		Medel		X		
		Låg	X		X	Medel vattennivå
8	Låg vattenomsättning vid högvattennivå	Hög		X		Vattennivåns betydelse vid låg cirkulation
		Medel				
		Låg	X		X	Hög vattennivå
9	Dominerande vindriktning - hög vindhastighet	Hög			X	Betydelsen av dominerande vindriktning för cirkulationen
		Medel	X	X		
		Låg				Vind från land
Förklaring:						
	Låg vind	Ingen vind				
	Hög vind	100 års vind från given riktning				
	Låg vattennivå	MLW				
	Medel vattennivå	MW				
	Hög vattennivå	HHW				
	Låg utströmning	MLQ				
	Medel utströmning	MQ				
	Hög utströmning	Q100				

6.3 Resultatkartor

Resultaten presenteras i ett antal kartor för varje simulering. Kartorna visar hastighetsmagnitud och strömningsriktning illustreras med pilar. Separata kartor visar hastigheten vid vattenytan och vid botten och separata kartor visar hastigheter under nuvarande och framtida förhållanden. Slutligen visar differenskartor skillnaden mellan framtida och nuvarande hastigheter, vilket är den påverkan som framtida byggnationer i hamnen skulle resultera i för varje simulerat fall.

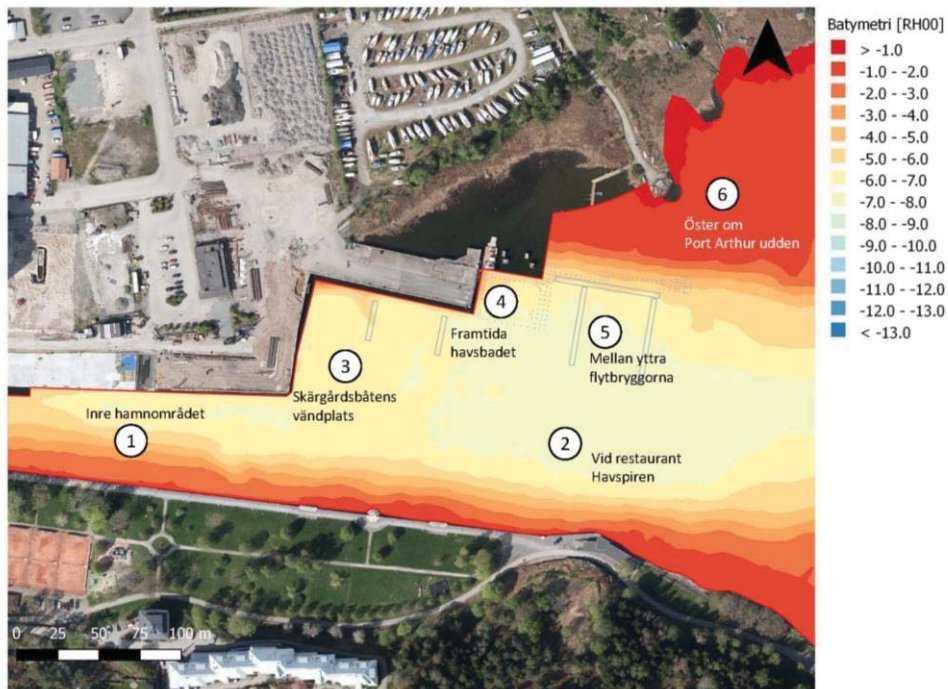
Hastighetsskalan som används varierar mellan simuleringsfall och även ibland mellan ythastigheter och bottenhastigheter; tre olika maxhastigheter har använts: 0,2 m/s, 0,5 m/s och 1 m/s. Differenskartorna har en egen skala; med två olika maxdifferenser: 0,1 m/s och 0,3 m/s.

Tabell 6-2 Hastighetsskala i resultatkartor

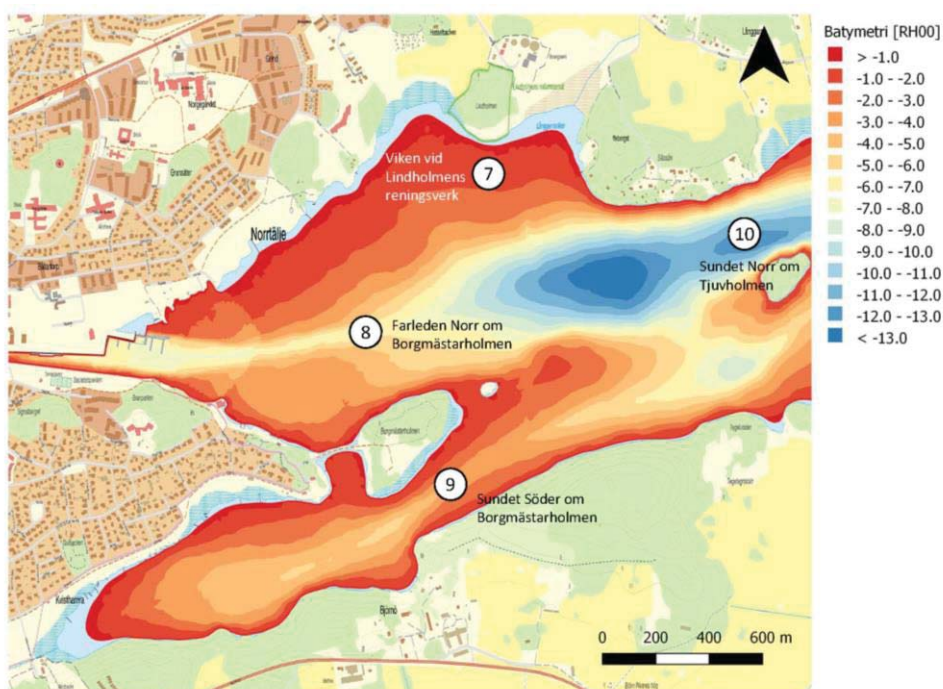
Simulering	Ytan (m/s)	Botten (m/s)	Differens (m/s)
1	0,2	0,2	0,1
2	1	1	0,3
3	1	1	0,3
4	0,5	0,2	0,1
5	1	1	0,3
6	1	0,2	-
7	0,2	0,2	0,1
8	0,2	0,2	0,1
9	1	1	0,3

6.4 Resultatöversikt

Resultaten har sammanställts i tabellformat för att åskådliggöra en kvantitativ resultatöversikt för de simulerade vattenhastigheterna vid ytan och botten i 10 utvalda områden. Av dessa är ungefär hälften inne i hamnens närområde. Tabellerna anger ungefärligt hastighetsintervall inom de 10 områdena som visas i Figur 6-1 och Figur 6-2. Syftet med dessa siffror är att kvantifiera och jämföra strömningshastigheter och bör läsas tillsammans med kommentarerna till simuleringarna nedan.



Figur 6-1 Områden inom hamnområdet med valda punkter för extrahering av simulerade hastigheter



Figur 6-2 Områden utanför hamnområdet med valda punkter för extrahering av simulerade hastigheter

6.5 Presentation och diskussion av resultat

Resultat av Simulering 1-9 presenteras och diskuteras nedan. Diskussionen har kvalitativ karaktär med kvantitativa resultat presenterat i tabellform. I presentationen omtalas ofta strömmar, deras storlek och riktningar. Eftersom de områden som omtalas har stor utsträckning och i övrigt inte är helt precist definierade, omtalas strömmarna ofta som inåtriktade eller utåtriktade, med följande definitioner:

Inåt / inåtriktad: med riktning in mot Norrtälje Hamn

Utåt / utåtriktad: med riktning bort från Norrtälje Hamn

6.5.1 Simulering 1: Referens scenario – utan vind (MQ MW)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-3 Resultat – Simulering 1 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.16-0.18	0.00-0.04	0.16-0.18	0.00-0.04	
2	Vid rest. Havspiren	0.12-0.16	0.00-0.02	0.12-0.14	0.08-0.12	ökade bottenhastigheter
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.04-0.12	0.00-0.04	0.04-0.12	0.00-0.04	
4	Framtida havsbadet	0.02-0.08	0.00-0.02	0.00-0.08	0.00-0.06	ökade bottenhastigheter
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.08-0.10	0.00-0.04	0.00-0.10	0.00-0.08	ökade bottenhastigheter
6	Öster om Port Arthur udden	0.02-0.08	0.00-0.02	0.00-0.02	0.00-0.02	minskade ythastigheter
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.00-0.02	0.00-0.04	0.00-0.02	0.00-0.04	
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.04-0.08	0.02-0.06	0.04-0.08	0.02-0.06	
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.06-0.08	0.06-0.10	0.06-0.08	0.06-0.10	
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.00-0.06	0.04-0.08	0.00-0.06	0.04-0.08	

Strömningssmönster generellt

Vid ytan noteras starkt utåtströmmande vatten från Norrtäljeån genom hamnområdet och som sprider sig lateralt efter passagen av kajen och därefter försvagas strömmen. Efter Borgmästarholmen märks strömmen knappt. Svagare utåtströmmande vatten noteras genom sundet söder om Borgmästarholmen och som senare delar sig norr och söder om Tjuvholmen.

Vid botten, noteras motsvarande inåtströmmande vatten (in mot Norrtälje Hamn) på samma ställen, dock inte i inre hamnen. Strömningshastigheterna är av ungefär samma storlek.

Norrtäljeåns betydelse

Norrtäljeån är helt dominerande in i inre hamnen. Även strömmarna som uppkommer längre ute verkar orsakade av Norrtäljeån.

Vindens betydelse

Se kommentar för Simulering 2 där vinden blir helt dominerande.

Specifika områden som bör lyftas fram

Förstärkta inåtgående bottenströmmar (in mot Norrtälje Hamn) i området mellan de nya flytbryggorna och Restaurang Havspiren är den mest anmärkningsvärda påverkan av nybyggnationerna i hamnen. Även utströmningen genom sundet söder om Borgmästarholmen, både för nuvarande och framtida scenarier är anmärkningsvärd. Denna har ström undersökts närmare och det visar sig att den inte motsvarar stationära förhållanden. Efter 5 dygns simulering försvinner strömmen och denna är alltså en icke-stationär effekt. I det sammanhang är det värd att bemärka att stationära förhållanden i 5 dygn är ganska osannolik under svenska väderförhållanden.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Generellt noteras utåtströmning vid ytan och inåtströmning vid botten, med undantag av området söder om Tjuvholmen där utåtströmningen går både längs ytan och längs botten.

Nuvarande och Framtida

Spridningen av utåtgående strömmar vid vattenytan efter passagen av kajen minskar i framtiden på grund av flytbryggorna och strömningshastigheterna förstärks något. Motsvarande ökning av strömningshastigheterna längs de inåtgående bottenströmmarna noteras. I simuleringen med ett framtida scenario dominerar förstärkta inåtgående bottenströmmar i området mellan nya flytbryggorna och Restaurang Havspiren. Ytströmmarna försvagas i det nya hamnområdet (med undantag av kajhörnet vid skärgårdsbåtens vändplats – här uppstår en svag ökning). Bottenströmmarna ökas generellt i området mellan de nya flytbryggorna och Restaurang Havspiren.

6.5.2 Simulering 2: Referens scenario – med vind (MQ MW med vind)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-4 Resultat– Simulering 2 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.0-0.1	0.0-0.2	0.0-0.2	0.1-0.2	ökade ythastigheter
2	Vid rest. Havspiren	0.0-0.2	0.0-0.2	0.0-0.2	0.0-0.1	minskade bottenhastigheter
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.0-0.2	0.0-0.2	0.0-0.2	0.1-0.3	ökade bottenhastigheter
4	Framtida havsbadet	0.0-0.2	0.0-0.2	0.0-0.2	0.0-0.3	ökade bottenhastigheter
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.1-0.4	0.1-0.3	0.0-0.3	0.1-0.3	minskade ythastigheter
6	Öster om Port Arthur udden	0.1-0.4	0.1-0.4	0.3-0.5	0.1-0.4	ökade ythastigheter
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.1-0.5	0.0-0.4	0.0-0.7	0.0-0.4	ökade ythastigheter
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.0-0.2	0.0-0.3	0.1-0.2	0.0-0.2	
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.0-0.2	0.1-0.3	0.0-0.2	0.1-0.3	
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.1-0.2	0.0-0.3	0.1-0.2	0.0-0.3	

Strömningsmönster generellt

100-år's vinden som har inkluderats i denna simulering är nu helt dominerande; strömningsmönstret som noterades från Simulering 1 återfinns nästan inte längre. Generella strömningsmönster i ytströmmar och bottenströmmar är likadana, samtidigt finns stora skillnader jämfört med observationerna från Simulering 1.

Vinden genererar en inåtgående ström med riktning mot Norrtälje Hamn längs norra sidan av Norrtälje fjärden. Denna är starkast vid Sässön (vid ytan) och innan strömmen når in i hamnområdet. Precis när den når fram till hamnområdet vid Port Arthur udden och framtida yttre flytbryggor svänger den vindgenererade strömmen över på södra sidan av fjärden och delar sig i en utåtgående ström längs Borgmästarholmen och en svagare inåtgående ström längs södra hamnen. Det förefaller som om utflödet från Norrtäljeån hindrar de vindgenererade strömmarna i att nå in i hamnområdet. Istället bildas en cirkulationsström i detta område, där vinden bildar en inåtgående ytström längs södra kajen. Cirkulationsström och utåtgående ström i detta område sker längs botten och hindras inte av framtida flytbryggor.

Norrtäljeåns betydelse

Norrtäljeåns utströmning, som var dominerande i Simulering 1 är nu nästan obetydlig i strömningsmönstret. Även inne i inre hamnområdet ses inåtgående vindgenererade strömmar längs södra kajen (inåt = riktning motsatt Norrtäljeåns strömningsriktning).

Vindens betydelse

Jämförelse med Simulering 1 visar att 100-år's vinden helt dominerar strömningsmönstret.

Specifika områden som bör lyftas fram

Den utströmningen som noterades genom sundet söder om Borgmästarholmen, både för nuvarande och framtida scenariot som noterades i Simulering 1 är ej längre skönjbara. Istället noteras bara inströmning vid ytan, mest längs norra stranden. Bottenströmmarna går också inåt längs norra stranden, men starkare utåt längs södra stranden.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Till skillnad från Simulering 1 är ytströmmarna och bottenströmmarna oftast i samma riktning. Ett viktigt undantag är inne i hamnområdet där en utåtgående bottenström sveper ohindrat genom hamnområdet med nya flytbryggor, medan nästan inget händer vid ytan.

Nuvarande och Framtida

Spridningen av utåtgående strömmar vid vattenytan efter passagen av kajen minskar i framtiden på grund av flytbryggorna och strömningshastigheterna förstärks något. Motsvarande ökning av strömningshastigheterna längs de inåtgående bottenströmmarna noteras. Förstärkta inåtgående bottenströmmar i simuleringen av ett framtida scenario i området mellan de nya flytbryggorna och Restaurang Havspiren dominerar. Ytströmmarna försvagas i det nya hamnområdet (med undantag av kajhörnet vid skärgårdsbåtens vändplats – här uppstår en svag ökning). Bottenströmmarna ökas generellt i området mellan de nya flytbryggorna och Restaurang Havspiren.

6.5.3 Simulering 3: Max av alla (Q100 HHW med vind)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-5 Resultat – Simulering 3 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.0-0.2	0.0-0.1	0.0-0.2	0.0-0.2	ökade bottenhastigheter
2	Vid rest. Havspiren	0.0-0.1	0.1-0.2	0.0-0.1	0.1-0.3	ökade bottenhastigheter
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.0-0.1	0.0-0.2	0.0-0.1	0.0-0.2	
4	Framtida havsbadet	0.0-0.1	0.1-0.3	0.0-0.1	0.0-0.2	minskade bottenhastigheter
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.0-0.1	0.0-0.1	0.0-0.1	0.1-0.3	ökade bottenhastigheter
6	Öster om Port Arthur udden	0.1-0.3	0.0-0.2	0.1-0.3	0.0-0.3	ökade bottenhastigheter
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.2-0.5	0.0-0.3	0.3-0.5	0.2-0.3	ökade bottenhastigheter
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.0-0.2	0.0-0.3	0.0-0.2	0.0-0.2	minskade bottenhastigheter
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.0-0.2	0.1-0.3	0.0-0.2	0.1-0.3	
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.0-0.2	0.1-0.3	0.0-0.2	0.0-0.3	

Strömningsmönster generellt

Jämfört med Simulering 2 har Simulering 3 högre utströmning från Norrtäljeån och högre havsvattennivåer. Dessa skillnader ger anledning till två motsatta effekter som båda syns i simuleringsresultaten jämfört med Simulering 2. Högre havsvattennivåer tillåter att den inåtgående vinddrivna strömmen längs norra stranden kan gå mycket närmare stranden, särskilt strax utanför hamnområdet. Denna får nu mer plats och blir mindre koncentrerad (med mindre maximal strömningshastighet som följd). Denna ström som nu har en större volym pressar mer inåt mot hamnen. Samtidigt har Norrtäljeåns utflöde ökat, vilket bidrar till att de vinddrivna strömmarna hålls emot och trycks längre bort från hamnområdet. Den dominerande effekt utgörs dock av flödet från Norrtäljeån. Den högre utströmningen från Norrtäljeån håller de vindgenererade strömmarna borta från hamnområdet i större utsträckning, och den cirkulationsström längs botten som i Simulering 2 noterades inom hela hamnområdet är nu svagare, samt begränsad till yttre hamnen. Mönstret ser i övrigt ganska annorlunda ut.

Norrtäljeåns betydelse

Norrtäljeåns utströmning, som var dominerande i Simulering 1, men nästan oskönjbar i Simulering 2, är nu med högre vattenföring mycket märkbar. I detta fall dominerar den ökade utströmningen över de vindgenererade strömmarna som har fått större utrymme. Även de inåtgående vindgenererade strömmarna som i Simulering 2 sågs längs kajen på södra kajen i inre hamnen är nu mycket svagare.

Vindens betydelse

Jämfört med Simulering 2 är vindens betydelse nu likvärdig med Norrtäljeåns utströmning. Båda har stor betydelse i strömningsmönstret.

Specifika områden som bör lyftas fram

Det är anmärkningsvärt att i denna simulering ger framtida utbyggnader anledning till stora ökningar i strömningshastigheter såväl i inre hamnområdet som under nya flytbryggorna. Snabba variationer i vattennivåer under simuleringen skulle kunna bidra till ännu större ökningar.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Tillika Simulering 2 är ytströmmarna och bottenströmmarna oftast i ungefär samma riktning. Ett område med skillnad i ytström och bottenström är inne i hamnområdet där bottenströmmar från norr till söder sveper ohindrat genom hamnområdet med nya flytbryggor, medan nästan inget händer vid ytan.

Nuvarande och Framtida

Strömningsmönstren under nuvarande och framtida förhållanden i hamnområdet är generellt ganska lika, men det finns betydande lokala variationer. I ytan ökas hastigheterna betydligt i yttre delen av inre hamnen, medan bottenströmmarna ökar mest lite längre in. Dessutom ses en stor ökning av bottenströmmarna under de yttre flytbryggorna.

6.5.4 Simulering 4: Max ström och vattennivå – utan vind (Q100 HHW)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-6 Resultat – Simulering 4 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.35-0.40	0.02-0.04	0.35-0.40	0.02-0.06	ökade bottenhastigheter
2	Vid rest. Havspiren	0.30-0.35	0.00-0.02	0.30-0.35	0.04-0.08	ökade bottenhastigheter
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.00-0.25	0.00-0.04	0.00-0.25	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
4	Framtida havsbadet	0.00-0.15	0.00-0.02	0.00-0.15	0.00-0.08	ökade bottenhastigheter
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.15-0.25	0.00-0.04	0.15-0.25	0.00-0.06	ökade bottenhastigheter
6	Öster om Port Arthur udden	0.00-0.10	0.00-0.04	0.00-0.10	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.00-0.10	0.00-0.02	0.00-0.10	0.00-0.02	
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.15-0.20	0.00-0.06	0.15-0.20	0.00-0.06	
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.00-0.05	0.04-0.06	0.00-0.05	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.05-0.15	0.02-0.06	0.05-0.10	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter

Strömningsmönster generellt

Denna simulering utan vind bekräftar igen den stora betydelsen av vinden som noterades i jämförelsen mellan Simulering 1 och 2. Jämförelsen av Simulering 3 och 4 visar att vinden som finns med i Simulering 3 är dominerande. Det strömningsmönster som noterades i Simulering 4 är mycket mer likt strömningsmönstret i Simulering 1, dock som väntat med starkare tendenser.

Vid ytan noteras starkt utåt strömmande vatten från Norrtäljeån genom hamnområdet som sprider sig lateralt efter passagen av kajen och försvagas därefter. Efter Tjuvholmen är strömmen knappt märkbar. Vid bottnen noteras motsvarande inåt strömmande vatten på samma ställen, inklusive i inre hamnen med ungefär samma storlek och magnitud.

Norrtäljeåns betydelse

Norrtäljeån är helt dominerande i inre hamnen. Även strömmarna som uppkommer längre ut förefaller vara orsakade av Norrtäljeån.

Vindens betydelse

Ingen vind i denna simulering

Specifika områden som bör lyftas fram

Det är anmärkningsvärt att utströmningen genom sundet söder om Borgmästarholmen för både nuvarande och framtidsscenarierna som noterades i Simulering 1 inte ses i denna simulering. Det är ovisst vad som orsakat detta fenomen. Möjligen kan den lägre vattennivån i Simulering 1 jämfört med Simulering 4 delvis förklara detta. Att inåtgående bottenströmmar (riktning in mot Norrtälje Hamn) är starkare i Simulering 1 än i Simulering 4 är oväntat, men kan ha orsakats av ett större vattendjup då större strömningsarea ger reducerade hastigheter.

Intressant att notera är att en av de största påverkningarna av nybyggnationerna i hamnen är ökade bottenhastigheter (utåtgående) genom det framtida havsbadet.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Generellt, utåt strömning vid ytan, inåt strömning vid botten, med undantag av området söder om Tjuvholmen där bottenströmningarna går åt olika håll.

Nuvarande och Framtida

Effekten av framtida nybyggnationer är generellt lik den som sågs i Simulering 1, men starkare, vilket är förväntat. En starkare tendens till att Norrtäljeåns strömning förskjuts närmare södra sidan vid Societetsparken i inre hamnen noteras.

6.5.5 Simulering 5: Max ström – lågvatten (Q100 MLW med vind)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-7 Resultat– Simulering 5 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.35-0.40	0.02-0.04	0.35-0.40	0.02-0.06	ökade bottenhastigheter
2	Vid rest. Havspiren	0.30-0.35	0.00-0.02	0.30-0.35	0.04-0.08	ökade bottenhastigheter
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.00-0.25	0.00-0.04	0.00-0.25	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
4	Framtida havsbadet	0.00-0.15	0.00-0.02	0.00-0.15	0.00-0.08	ökade bottenhastigheter
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.15-0.25	0.00-0.04	0.15-0.25	0.00-0.06	ökade bottenhastigheter
6	Öster om Port Arthur udden	0.00-0.10	0.00-0.04	0.00-0.10	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.00-0.10	0.00-0.02	0.00-0.10	0.00-0.02	
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.15-0.20	0.00-0.06	0.15-0.20	0.00-0.06	
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.00-0.05	0.04-0.06	0.00-0.05	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.05-0.15	0.02-0.06	0.05-0.10	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter

Strömningsmönster generellt

Resultat från denna simulering kan med fördel jämföras med resultaten från Simulering 2 och 3, där havsvattennivån är högre. Den lägre havsvattennivån gör att de vinddrivna strömmarna längs stränderna koncentreras och förstärks; samtidigt som dessa strömmar pressas längre ut och bort från hamnområdet. Särskilt utmärkande är cirkulationen av bottenströmmarna i moturs riktning som nu hålls längre bort från hamnområdet.

Norrtäljeåns betydelse

Effekten av Norrtäljeåns utströmning som var dominerande i Simulering 1, men nästan oskönjbar i Simulering 2, är nu återigen på grund av mycket märkbar.

Vindens betydelse

Jämfört med Simulering 2 är vindens betydelse nu likvärdig med Norrtäljeåns utströmning. Båda har stor betydelse i strömningsmönstret.

Specifika områden som bör lyftas fram

I inre hamnen noteras en intressant balans mellan vinddrivna strömmar och utströmningen från Norrtäljeån: Inåtgående vinddrivna strömmar noteras vid ytan längs södra kajmuren och utåtgående strömmar längs botten som följer norra kajmuren.

I simuleringarna utan vind noteras att strömmar från Norrtäljeån följer ytan och sen genererar en inåtgående ström längs botten. I denna simulering med vind noteras istället att vinden genererar inåtgående strömmar vid ytan och att utåtgående strömmar från Norrtäljeån följer botten.

Det är anmärkningsvärt, men inte oväntat, att simuleringar med låga havsvattennivåer resulterar i stora ökningar i strömningshastigheter såväl i inre hamnområdet som utanför med framtida utbyggnader.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Tillika Simulering 2 och 3 är ytströmmarna och bottenströmmarna oftast i ungefär samma riktning.

Nuvarande och Framtida

Det generella strömningsmönstret under nuvarande och framtida förhållanden i hamnområdet är ganska lika, men det finns betydande lokala skillnader. Vid ytan ökas strömningshastigheterna betydligt i den yttre delen av den inre hamnen (norra kajen), medan både ytströmmar och bottenströmmar ökar betydligt precis utanför hamnområdet (öster om flytbryggorna och öster om restaurang Havspiren).

6.5.6 Simulering 6: Max ström – lågvatten utan vind (Q100 MLW)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-8 Resultat – Simulering 6 (Nuvarande) (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter	
		Yta	Botten
1	Inre hamnområdet	0.2-0.4	0.00-0.18
2	Vid rest. Havspiren	0.3-0.4	0.02-0.08
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.1-0.4	0.00-0.04
4	Framtida havsbadet	0.0-0.3	0.00-0.08
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.2-0.4	0.00-0.04
6	Öster om Port Arthur udden	0.0-0.2	0.02-0.10
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.0-0.1	0.00-0.04
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.2-0.3	0.02-0.08
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.0-0.1	0.00-0.06
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.1-0.2	0.00-0.04

Denna simulering har inte genomförts för framtida förhållanden och ska därför inte analyseras. Den visar dock tydligt vindens inverkan på strömningsfördelningen både lateralt och vertikalt och även i inre hamnen.

6.5.7 Simulering 7: Låg vattenomsättning vid medelvattennivå (MLQ MW)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-9 Resultat – Simulering 7 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.08-0.10	0.00-0.04	0.08-0.10	0.00-0.04	
2	Vid rest. Havspiren	0.06-0.08	0.00-0.02	0.04-0.06	0.02-0.06	ökade bottenhastigheter
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.00-0.06	0.00-0.04	0.00-0.06	0.00-0.04	
4	Framtida havsbadet	0.02-0.06	0.00-0.02	0.00-0.04	0.00-0.02	
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.04-0.06	0.00-0.04	0.00-0.02	0.00-0.04	minskade ythastigheter
6	Öster om Port Arthur udden	0.00-0.02	0.00-0.02	0.00-0.02	0.00-0.02	
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.00-0.02	0.00-0.04	0.00-0.02	0.02-0.04	ökade bottenhastigheter
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.00-0.02	0.02-0.06	0.00-0.02	0.02-0.06	
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.06-0.08	0.00-0.06	0.06-0.08	0.06-0.10	ökade bottenhastigheter
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.00-0.06	0.00-0.04	0.02-0.06	0.04-0.08	ökade bottenhastigheter

Strömningsmönster generellt

Denna simulering kan med fördel jämföras med Simulering 1 och 8, som har högre vattenföring från Norrtäljeån respektive högre havsvattennivå. Likheten med Simulering 1 är stor, dock med svagare strömmar.

Med ökad vattennivå i Simulering 8 minskar vattenhastigheterna vid ytan, men inte vid botten. Strömningsmönstret i hamnområdet ändras något, men hastighetsförändringarna på grund av nybyggnationerna är ungefär de samma som i Simulering 7 och 8.

Vid ytan noteras starkt utåtgående strömmande vatten från Norrtäljeån genom hamnområdet, som sprider sig lateralt efter passagen av kajen och sedan försvagas. Efter hamnområdet är strömmen knappt märkbar. Svagare utåtgående strömmande vatten noteras genom sundet söder om Borgmästarholmen som sedan delar sig norr och söder om Tjuvholmen.

Vid botten noteras motsvarande inåtgående strömmande vatten på samma ställen, dock inte i inre hamnen. Strömmarna är av ungefär samma storlek.

Norrtäljeåns betydelse

Effekten av Norrtäljeån är helt dominerande i inre hamnen. Även strömmarna som uppkommer längre ute förefaller orsakade av Norrtäljeån.

Vindens betydelse

Någon vind har inte inkluderats eftersom syftet med denna simulering är att beskriva strömningsmönstret med minimal vattenomsättning inom hamnområdet.

Specifika områden som bör lyftas fram

Utåtgående strömmar noteras genom sundet söder om Borgmästarholmen både för de nuvarande och framtida scenarierna vilket är anmärkningsvärt. Detta strömningsmönster noterades Simulering 1 och 7 men inte i de tidigare nämnda simuleringarna. Denna strömning förklaras i 6.5.1. Den svagare utåtgående strömmen från Norrtäljeån ger tydligt mindre genomströmning i det yttre hamnområdet. Lätt ökade inåtgående bottenströmmar inom det yttre hamnområdet är den mest anmärkningsvärda påverkan av nybyggnationerna i hamnen.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Generellt noteras utåtgående strömmar vid ytan, och inåtgående strömmar vid botten, med undantag av området söder om Tjuvholmen där utåtgående strömmar noteras både vid ytan och vid botten.

Nuvarande och Framtida

Spridningen av strömmarna vid vattenytan efter passagen av kajen minskas något vid simulering av det framtida scenariot på grund av flytbryggorna och strömningshastigheterna förstärks något. Motsvarande ökning av strömningshastigheterna längs de inåtgående bottenströmmarna noteras. Förstärkta inåtgående bottenströmmar dominerar i simuleringen av det framtida scenariot i området mellan de nya flytbryggorna och Restaurang Havspiren. Ytströmmarna försvagas i det nya hamnområdet (med undantag av kajhörnet vid skärgårdsbåtens vändplats – här uppstår en svag ökning). Bottenströmmarna ökas generellt i området mellan de nya flytbryggorna och Restaurang Havspiren.

6.5.8 Simulering 8: Låg vattenomsättning vid högvattennivå (MLQ HHW)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-10 Resultat – Simulering 8 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.04-0.06	0.00-0.04	0.04-0.08	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
2	Vid rest. Havspiren	0.02-0.04	0.00-0.04	0.00-0.04	0.00-0.04	minskade ythastigheter
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.00-0.04	0.00-0.04	0.00-0.06	0.00-0.04	ökade ythastigheter
4	Framtida havsbadet	0.00-0.04	0.00-0.02	0.00-0.02	0.00-0.04	minskad ythastighet/ökad bottenhastighet
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.00-0.04	0.00-0.02	0.00-0.02	0.02-0.06	minskad ythastighet/ökad bottenhastighet
6	Öster om Port Arthur udden	0.00-0.02	0.00-0.04	0.00-0.02	0.00-0.02	minskade bottenhastigheter
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.00-0.02	0.02-0.06	0.00-0.02	0.02-0.04	minskade bottenhastigheter
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.00-0.04	0.02-0.06	0.00-0.04	0.00-0.04	minskade bottenhastigheter
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.04-0.06	0.06-0.10	0.02-0.06	0.04-0.06	minskade bottenhastigheter
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.00-0.04	0.04-0.10	0.00-0.02	0.02-0.06	minskade hastigheter

Strömningsmönster generellt

Denna simulering kan med fördel jämföras med Simulering 7, som har en lägre havsvattennivå. Likheter med Simulering 7 är stor, men med svagare strömmar, dock verkar bottenströmmarna i farleden nära hamnen vara ungefär de samma i de två simuleringarna. Bottenströmmarna genom det nya hamnområdet vid flytbryggorna är mindre vid höga havsvattennivåer (Simulering 8) än vid medelhavsvattennivån (Simulering 7).

Strömningsmönstret i hamnområdet ändras något, men hastighetsförändringar på grund av nybyggnationerna är ungefär de samma som i Simulering 7 och 8.

Vid ytan noteras utåtgående strömmande vatten från Norrtäljeån genom hamnområdet, som sprider sig lateralt efter passagen av kajen och därefter försvagas. Efter hamnområdet är strömmen knappt märkbar. Utåtgående strömmande vatten noteras genom sundet söder om Borgmästarholmen.

Vid botten noteras motsvarande inåtgående strömmande vatten med ungefär samma storlek och ställen, dock inte i inre hamnen.

Norrtäljeåns betydelse

Effekten av Norrtäljeån är dominerande i inre hamnen. Även strömmarna som uppkommer längre ut förefaller vara orsakade av Norrtäljeån.

Vindens betydelse

Någon vind har inte inkluderats eftersom syftet med denna simulering är att beskriva strömningsmönstret med minimal vattenomsättning inom hamnområdet.

Specifika områden som bör lyftas fram

Utåtgående strömmar noteras genom sundet söder om Borgmästarholmen både för de nuvarande och framtida scenarierna vilket är anmärkningsvärt. Strömningsmönstret noterades även i resultaten från Simulering 1, 7 och 8 men inte i de övriga simuleringarna. Svagare strömmar från Norrtäljeån och högre havsvattennivå ger tydligt mindre genomströmning i det yttre hamnområdet. Lätt ökade inåtgående bottenströmmar under de framtida flytbryggorna är den mest anmärkningsvärda påverkan av nybyggnationerna i hamnen.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Generellt noteras utåtgående strömmar vid ytan och inåtgående strömmar vid botten.

Nuvarande och Framtida

Spridningen av strömmarna vid vattenytan efter passagen av kajen minskar något i framtiden på grund av de nya flytbryggorna. Samtidigt förstärks både de inåtgående ytströmmarna och de utåtgående bottenströmmarna. Bottenströmmarna ökar i området vid havsbadet och flytbryggorna.

6.5.9 Simulering 9: Dominerande vindriktning – hög vindhastighet (MQ MW med vind 18,77 m/s SV)

Texten bör läsas tillsammans med kartorna i Bilaga B.

Tabell 6-11 Resultat – Simulering 9 (Enhet: m/s)

No.	Plats	Nuvarande hastigheter		Framtida hastigheter		Kommentarer
		Yta	Botten	Yta	Botten	
1	Inre hamnområdet	0.1-0.2	0.1-0.3	0.1-0.2	0.1-0.3	
2	Vid rest. Havspiren	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.0-0.2	
3	Skärgårdsbåtens vändplats	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	
4	Framtida havsbadet	0.1-0.2	0.0-0.2	0.1-0.2	0.0-0.2	
5	Mellan yttre flytbryggorna	0.1-0.2	0.0-0.1	0.1-0.3	0.0-0.2	ökade hastigheter
6	Öster om Port Arthur udden	0.0-0.5	0.2-0.4	0.2-0.6	0.2-0.4	ökade ythastigheter
7	Viken vid Lindholmens reningsverk	0.3-0.9	0.3-0.5	0.3-0.8	0.3-0.7	ökade bottenhastigheter
8	Farleden Norr om Borgmästarholmen	0.0-0.1	0.2-0.3	0.0-0.1	0.2-0.3	
9	Sundet söder om Borgmästarholmen	0.1-0.3	0.2-0.4	0.0-0.2	0.2-0.4	minskade ythastigheter
10	Sundet Norr om Tjuvholmen	0.0-0.3	0.0-0.4	0.0-0.3	0.0-0.4	

Strömningsmönster generellt

Simulering 9 kan med fördel jämföras med Simulering 2 då de två endast har vind från nästan motsatta riktningar som skillnad. Vindhastigheterna är av ungefär samma storlek, men vinden från land (Simulering 9) har mycket kortare återkomsttid (5 år) än vinden från havet (100 år).

Gemensamt för de 2 simuleringarna är att vinddrivna strömmar är dominerande och löpar längs stränderna – mest längs den norra stranden. Riktningen är motsatt i de två simuleringar – utåt i Simulering 9 och inåt i Simulering 2. Tillika Simulering 2 är strömningshastigheterna störst kring Sässön.

Den utåtgående strömmen längs stränderna kompenseras med en inåtriktad bottenström i mitten av Norrtäljefjärden.

Norrtäljeåns betydelse

Norrtäljeåns utströmning är märkbar och blandas med de vinddrivna utåtgående ytströmmarna i hamnområdet. Inåtgående bottenströmmar noteras hela vägen in i inre hamnområdet.

Vindens betydelse

Vinddrivna strömmar dominerar strömningsbilden med utåtgående strömmar och inåtgående kompensationsströmmar längs botten.

Jämförelser

Skillnad mellan ytströmmar och bottenströmmar

Ytströmmarna går utåt och är högst längs stränderna. Bottenströmmarna går utåt vid stränderna men kompenseras av inåtgående bottenströmningar i mitten av Norrtälje fjärden.

Nuvarande och Framtida

Påverkan av nybyggnationer både minskar och ökar strömningshastigheterna. Ökningen förekommer längs södra kajen och kring yttre flytbryggorna, båda vid ytan och vid botten. Minskade hastigheter noteras i alla andra områden, inklusive havsvattenbadet.

6.5.10 **Utsläpp/spill spridningssimuleringar**

Spridningen efter utsläpp av ospecificerad vätska i givna punkter har modellerats med två olika strömningsförutsättningar, Simulering 1 (MQ, MW) och Simulering 7 (MLQ, MW). Resultatkartor finns presenterat i Bilaga 2. Ett dygn har simulerats. Simuleringar utan vind har valts eftersom dessa ger mindre spridning och därmed ökade koncentrationer kring havsbadet. Maximal utspridning under ett dygn skulle uppnås med vind.

Simulerade spridningsscenarier inkluderar:

- Dagvattenutsläpp på 30 l/s i en punkt som specificerats av Norrtälje Kommun.
- Momentant utsläpp av 50 liter i 12 olika punkter inom hamnområdet. Detta skulle kunna vara spill från en båt i hamnen.

I modelleringen har utsläppet samma egenskaper som den omgivande vätskan, vilket inte nödvändigtvis alltid är realistiskt. Dagvatten kan ha en annan temperatur än vattnet i hamnen, och om en båt spiller bränsle i hamnen är bränslet mycket lättare än vattnet och flyter på ytan med höga koncentrationer. Modellen, som blandar upp utsläppet över ett vattendjup på va ½ m underskattar då maximala koncentrationer.

Avdunstningen som torde vara betydlig i ett sådant fall har inte beaktats i modellen. I det avseendet överskattas därmed koncentrationerna.

Resultaten visar i alla fall maximala koncentrationen i varje punkt under simuleringsperioden på 1 dygn, alltså inte ögonblicksbilder.

I fallen med momentant utsläpp av 50 liter noteras mycket låga koncentrationer. En bidragande orsak till detta kan vara vertikal spridning som inte ger en realistisk bild. Om istället den spillda vätskan ligger på ytan kan simulerade koncentrationer vara underskattade. Modellen ger en kvalitativ bild av hur laterala spridningen kan se ut men är inte lämplig för att kvantifiera koncentrationer. Att kvantifiera koncentrationer vid just denna typen utsläpp är mycket svårt. Det rekommenderas att istället fokusera på sätt att undvika att denna typen utsläpp tar sig in i havvattenbadet, t ex med en avskärmning som går en bit ner i vattnet.

Modellens beskrivning av spridningen av dagvattenutsläpp är realistisk om skillnader i densitet (bestämmas av temperatur och salinitet) mellan dagvatten och omgivande vatten är försumbar. Spridningen har simulerats i två olika strömningsfall; andra strömningsfall vill resultera i andra spridningar, vilket måste beaktas i användning av resultaten.

6.6 Generella observationer/tolkningar

Påverkan av framtida byggnationer på strömningsmönstret

Strömningshastigheterna i hamnområdet är generellt små (storleksordning max 0,8 m/s) och framtida byggnationer har inte stor betydelse för framtida strömningshastigheter (storleksordning max 0,3 m/s). Byggnationerna reducerar spridningen av strömmarna från Norrtäljeån något, efter denna har passerat inre hamnen. Detta påverkar strömningsmönstret på olika sätt, generellt så att hastigheterna ökar där utströmningen fortsätter rakt fram och hastigheterna i ytan minskar där dessa blockeras delvis av flytbryggorna. Effekten på de vinddrivna strömmarna är mer komplexa och det är inte möjligt att säga något generellt om effekten.

Skiktningens betydelse

Strömning i skiktade vätskor är komplext och det kan ofta vara svårt att förstå dessa utifrån enkla fysikaliska principer – principerna gäller naturligtvis, men det är komplexa interaktioner som leder till det slutliga strömningsmönstret. Detta är bakgrunden till att en avancerad 3D strömningsmodell har använts för att beskriva strömningsmönstren.

Ibland ses motsatt riktade strömmar vid ytan och vid botten. Detta är fallet utan vind och även i Simulering 9 med vind från land (utåtriktad). Men i de flesta simuleringar med dominerande vinddrivna strömmar har dessa samma riktning vid ytan och vid botten.

Vindens betydelse

Vindgenererade strömmar verkar dominera i de fall där vind inkluderats, i alla fall vad angår de hastigheter som uppstår. Det kan vara annorlunda om man ser på de vattenföringar som genereras (detta är inte gjort). Vindgenererade strömmar är störst längs stränderna på grunt vatten, där vattenmassan är som minst. Men även kompensationsströmmar på djupare vatten ses som sekundära vindorsakade strömmar (tex Simulering 9).

Norrtäljeåns betydelse

Vattenföringen från Norrtäljeån är naturligtvis dominerande i de fall där vind ej inkluderats. Några simuleringar visar också att Norrtäljeåns utströmning verkar hindra vindgenererade strömningar från att nå fram till hamnen – en balans som kan finnas i en rad olika kombinationer av vattenföringar från ån och vind.

Vattennivåns betydelse

Ökad vattennivå ökar strömningsarean och strömningskapaciteten, och minskar därmed strömningshastigheten. Motsatta förhållanden uppstår vid låga vattennivåer med minskad strömningsarea och strömningskapacitet, vilket leder till större strömningshastighet. Detta kan t.ex. leda till att största strömningspåverkan uppstår vid låga vattennivåer och att sämsta vattenombytet inom hamnområdet (inklusive havsbadet) förekommer vid höga vattennivåer. Det kan dock konstateras att vattennivån inte har stor betydelse för strömningshastigheterna inom hamnområdet.

Spridning av utsläpp/spill

Kontinuerligt utsläpp (dagvatten) och momentant spill i en punkt har modellerats i två strömningsfall. Resultaten visar utsläppens maximala koncentrationer under ett dygn och ger en uppfattning om storlek och utbredning. Det bör dock noteras att andra strömningsfall kommer att resultera i olika resultat.

Sammanfattning

En förenklad översikt över simulerade maximala strömningshastigheter presenteras i Tabell 6-12. Tabellen har inte med Simulering 6 eftersom denna inte inkluderade framtida förhållanden.

Tabell 6-12 Maximala simulerade strömningshastigheter inom hamnområdet och maximala vattenhastighetsförändringar från nuvarande till framtida förhållanden samt maximala hastigheter utanför hamnområdet.

Simu- lering	Max hastighet i hamnområdet (Nuvarande)	Max hastighetsdifferens i hamnområdet (mellan Nuvarande och Framtida)	Max hast. utanför hamnområdet (Nuvarande)
	(m/s)	(m/s)	(m/s)
1	0,18	0,1	0,1
2	0,4	0,3	0,5
3	0,3	0,3	0,5
4	0,4	0,1	0,2
5	0,3	0,3	0,5
7	0,1	0,05	0,08
8	0,06	0,05	0,1
9	0,5	0,3	0,9

Tabellen visar de högsta hastighetsdifferenser mellan Nuvarande och Framtida förhållanden inom hamnområdet. Dessa är generellt ganska små, och tydligt störst i simuleringsfall med extrem vind. Differenserna är ca 0,3 m/s med vind och 0,1 m/s eller lägre utan vind.

Det är tydligt att resultaten faller i två kategorier: Höga hastigheter kring 1 m/s uppstår **med vind** (Sim 2, 3, 5 och 9), medan låga hastigheter under 0,5 m/s förekommer i simuleringar **utan vind** (Sim 1, 4, 7 och 8). Karakteristiskt för simuleringar med vind är att högsta strömningshastigheterna förekommer utanför hamnområdet.

De vindscenarier som har utvärderats i simuleringarna dominerar tydligt över strömmar från Norrtäljeån. Vindar från två olika riktningar har studerats – båda fallen är extrema med ungefär samma vindstyrka, men med en återkomsttid på 100 respektive 5 år. Den extrema 100 års vind för riktningar med stor stryklängd har valts primärt för vågsimuleringen eftersom dessa riktningar har stor stryklängd. Den mer vanligt förekommande 5-år's vind valdes för frekventa vindriktningar med försumbar stryklängd. Syftet med att inkludera dessa vindriktningar är att analysera hur vid från land kan bidra till vattencirkulationen i hamnområdet.

Även vid mer normala vindförhållanden kommer vinden ofta att dominera, vinden kan därmed vara en viktigare faktor än strömmen från Norrtäljeån, för transport av sediment och för vattenombyte i hamnområdet. Balansen mellan de två faktorer har inte studerats närmare.

7 Vattenomsättning i havsbadet vid olika strömningsförhållanden

7.1 Bakgrund och syfte

Bra vattenomsättningen i hamnområdet, och särskilt i det planerade havsbadet, är viktig för att säkra bra vattenkvalitet i området. Bra cirkulation säkrar att stillastående vatten i inre hamnen kommer att utbytas med vatten från yttre hamnen som troligen har bättre vattenkvalitet.

Med syftet att belysa vattenomsättningen i havsbadet har ett antal modellsimuleringar utförts som simulerar spridningen av den vattenvolym som initialt finns i havsbadet, vid olika strömningsförhållanden.

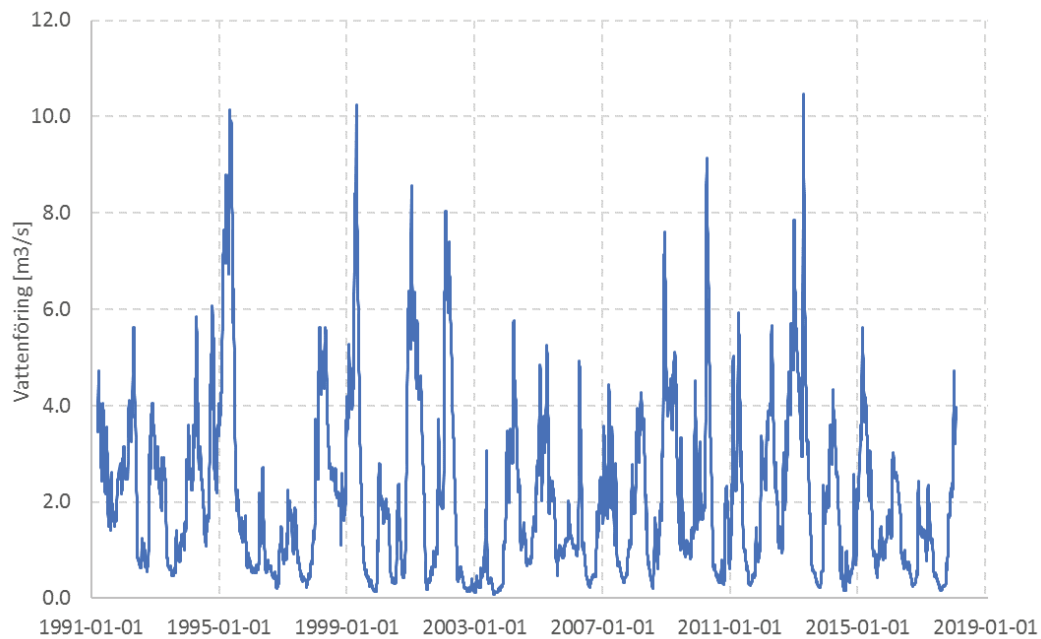
Modellsimuleringarna visar hur vattnet som från början befinner sig inom havsbadet gradvist sprids utanför havsbadet och var detta vatten kommer att ta vägen över tid. Samtidigt fyll havsbadet med vatten som kommer in ute från hamnområdet. Det har inte varit en del av syftet att redogöra för var detta vatten kommer ifrån.

7.2 Val av simuleringsfall

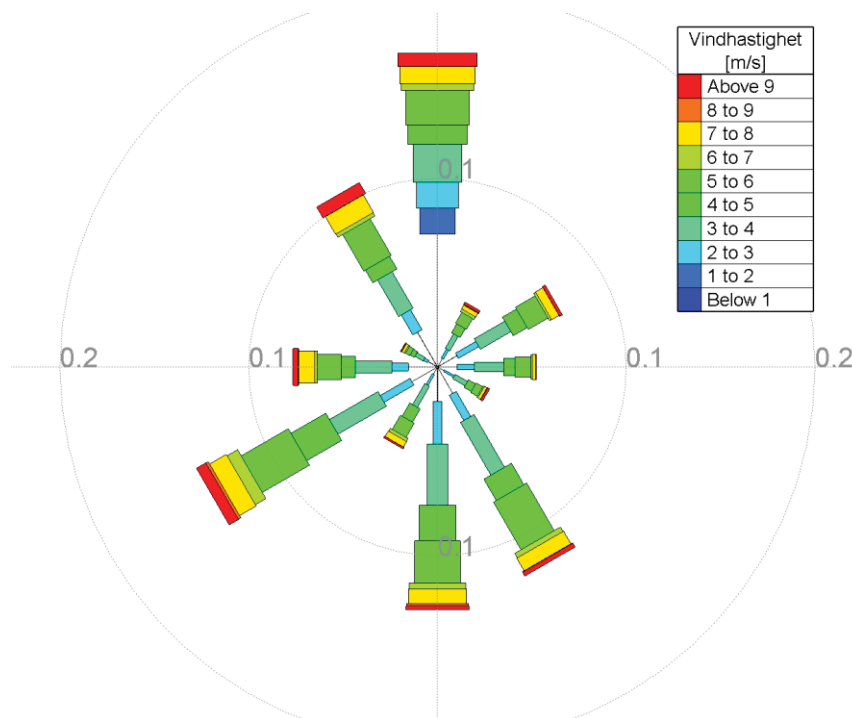
Eftersom intressen för vattenomsättningen i hamnområdet gäller under framtida layout av hamnkonstruktioner används Framtidsscenariet i fyra utvalda simuleringar. I alla fyra simuleringar används medelvattennivå, dels eftersom tidigare simuleringar visade att vattennivån inte har stor betydelse för strömningsmönstret och dels för att undvika att blanda in påverkan från för många parametrar. Alla simuleringar har inflöde av dagvatten på 30 l/s, fast detta kommer inte influera märkbart på uppblandningen.

Vi ser på de 4 sommarmånaderna, maj – augusti, eftersom vi antar det är under den perioden intressen för havsbadet och fritidsaktiviteter på vattnet i övrigt är störst. Det är också under denna period att vattenföringen i Norrtäljeån oftast är som lägst, se Figur 7-1, vilket påverkar uppblandningen negativt. En viktig faktor för uppblandningen är vinden och vi testar vindens betydelse i 2 av 4 simuleringsfall.

Vindhastigheter som vi har använt hittills har varit extrema och inte riktigt lämpliga att köra i denna serie av simuleringar, som har fokus på relativt låga uppblandningsfall. Syftet med vindfallen är inte att studera extrema vindfall – där vet vi redan att uppblandningen är bra. Bättre är det i detta fall att simulera vanligt förekommande vindhastigheter och riktningar.



Figur 7-1 Utflöde från Norrtäljeån 1991-2018



Figur 7-2 Vindros från mätstation i Norrtälje (klimatnummer 98460)

De 4 utvalda simuleringsfall är:

1) Typiskt bästa uppblandning utan vind (MQ MW)

Medelvattenföring (MQ = 2,15 m³/s), utan vind (detta är Simulering 1, referenssimulering, som är ganska typisk för tidig sommar; senare minskar flöden). I detta fall testar vi det bidrag till uppblandningen i havsbadet som flödet från Norrtäljeån typiskt kan bidra med under tidig sommar (Maj-Juni)

2) Lägst uppblandning under sommaren (worst case) (Q10sommarm MW)

Låg sommarvattenföring 0,33 m³/s (Q10% dvs bara 10% av tiden under sommarmånaderna är vattenföringen lägre), utan vind.

3) Betydelsen av vanlig vindhastighet och riktning för uppblandningen (250 grader) (MQsommarm MW 250 grader)

Medel sommarvattenföring (1,11 m³/s) (MQ, sommar), Vindriktning 250 grader, Medel sommarvindhastighet 3,4 m/s (bara lite lägre än årsmedel som är 3,6 m/s).

4) Betydelsen av vanlig vindhastighet och riktning för uppblandningen (160 grader) (MQsommarm MW 160 grader)

Medel sommarvattenföring (1,11 m³/s) (MQ, sommar), Vindriktning 160 grader, Medel sommarvindhastighet 3,4 m/s.

7.3 Metodbeskrivning

Vattenomsättningssimuleringarna har utförts med samma grundmodell som i tidigare simuleringar, med samma beräkningsnät och numeriska inställningar samt samma förhållanden med hänsyn till salinitet och temperatur som i tidigare simuleringar - värden för april till juni (tidig sommar). Simuleringar har utförts under en simuleringsperiod av 24 timmar, men det visade sig att resultaten efter 12 timmars simulering var ointressanta.

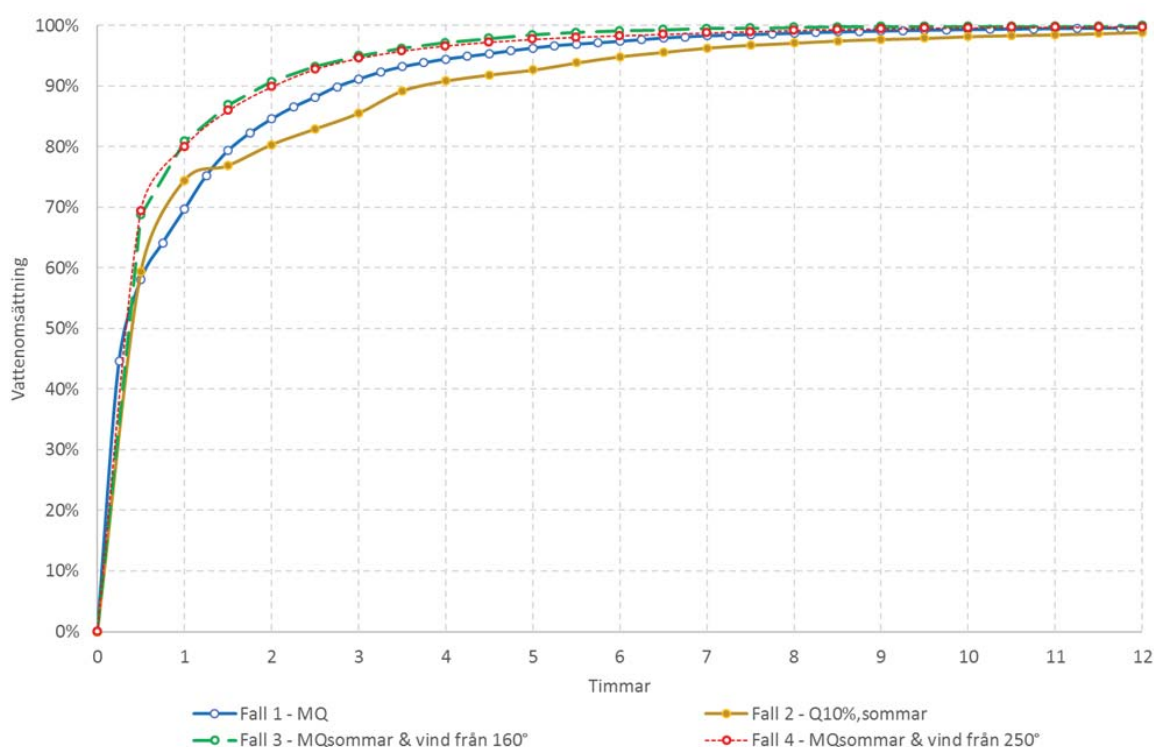
Vattenomsättningen i havsbadet simuleras med en s.k. "tracer" som initialt finns med konstant värde i havsbadområdet som behandlas som ett passivt och viktlost ämne som transporteras genom advektion och dispersion av rådande strömmar. Ämnets initiala koncentration har satts till 100 (arbiträrt värde) inom havsbadet och till 0 utanför. På så sätt kan resultat tolkas på ett lätt sätt med lokal koncentration motsvarande andel av initial koncentration i procentsats (se Figur 7-4).

Vattenomsättning har beräknats genom att, vid varje tidssteg, summera ämnets mängd vid varje beräkningsnode (koncentration x volym) över hela havsbadet samt jämföra mot den initiala mängden. Resultat redovisas som en graf med vattenomsättningens utveckling utmed tiden (se Figur 7-3).

7.4 Presentation av resultat

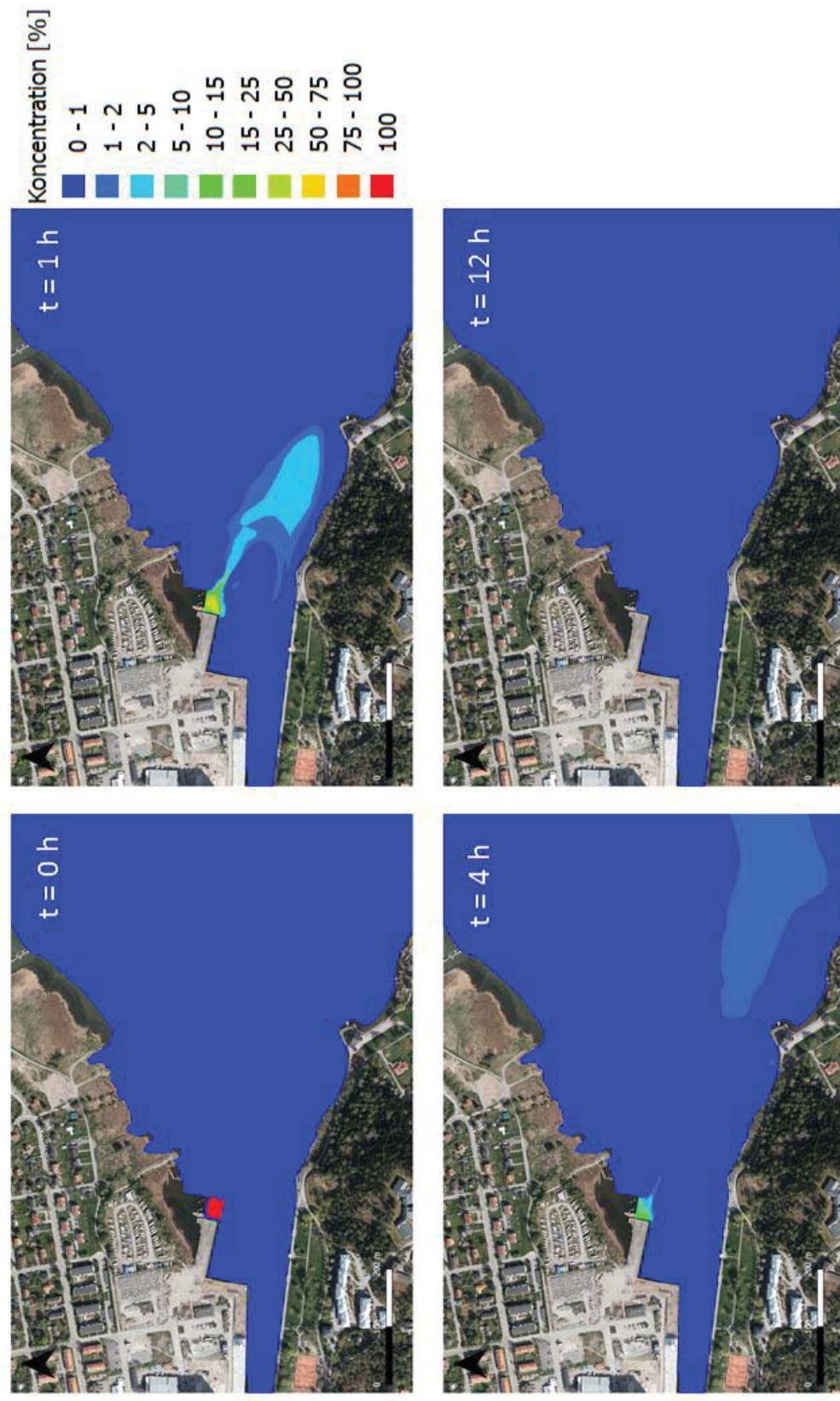
Resultat redovisas i ett antal figurer. Figur 7-3 visar vattenomsättningen inom havsbadet under en 12 timmars simuleringsperiod. På y-axen ses hur stor andel av det vatten som fanns inom området vid simuleringens början finns kvar efter olika tider. Uppblandning sker med olika tidsskalor i de 4 fall. Detta kan illustreras t.ex. med den tid som det tar innan 90% av ursprungliga vattenmängden i havsbadet har lämnat havsbadsområdet:

- Fall 3 och 4: ca 2 timmar
- Fall 1: ca 3 timmar
- Fall 2: ca 4 timmar

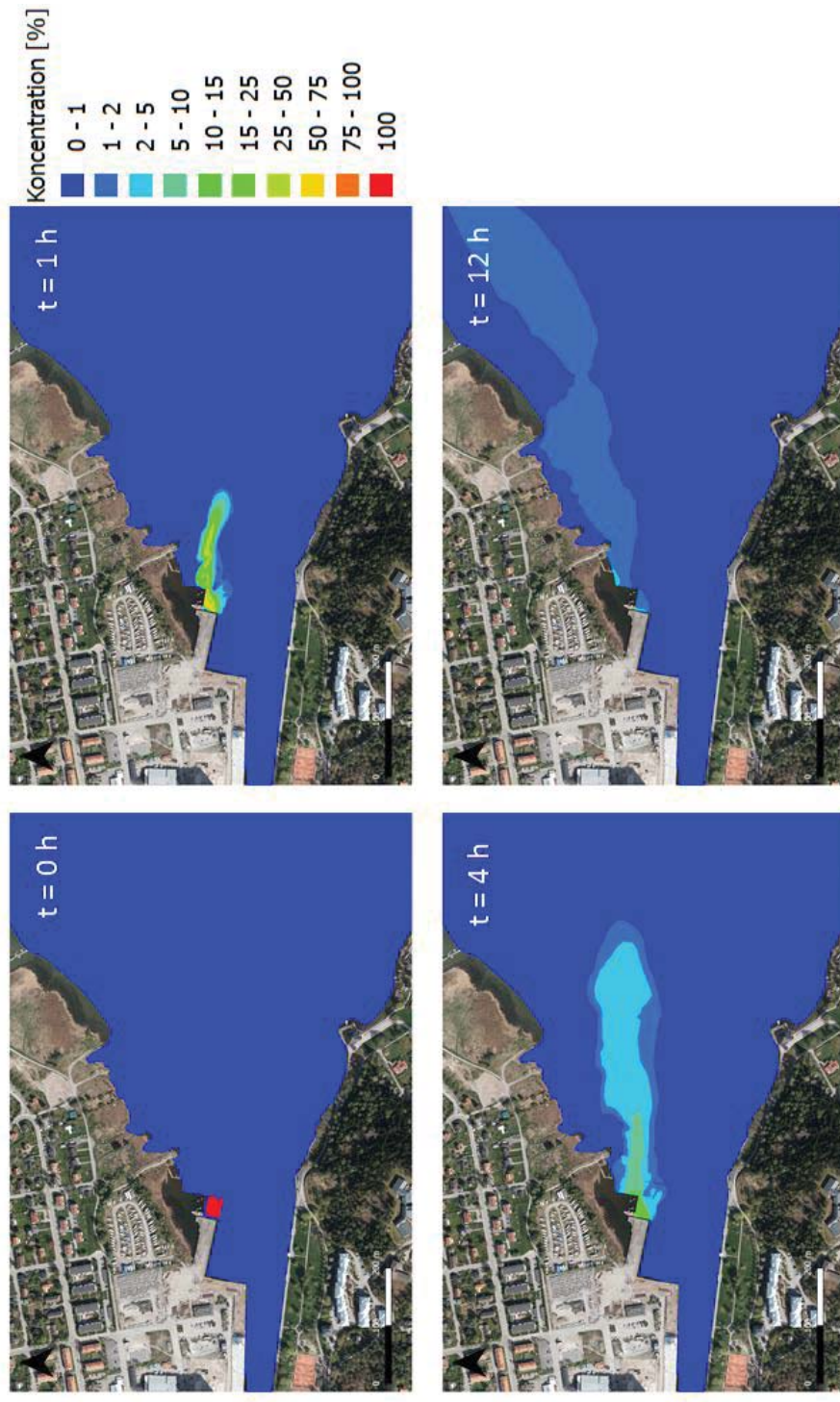


Figur 7-3 Vattenomsättning i havsbadsområdet för varje av fyra beräkningsfall

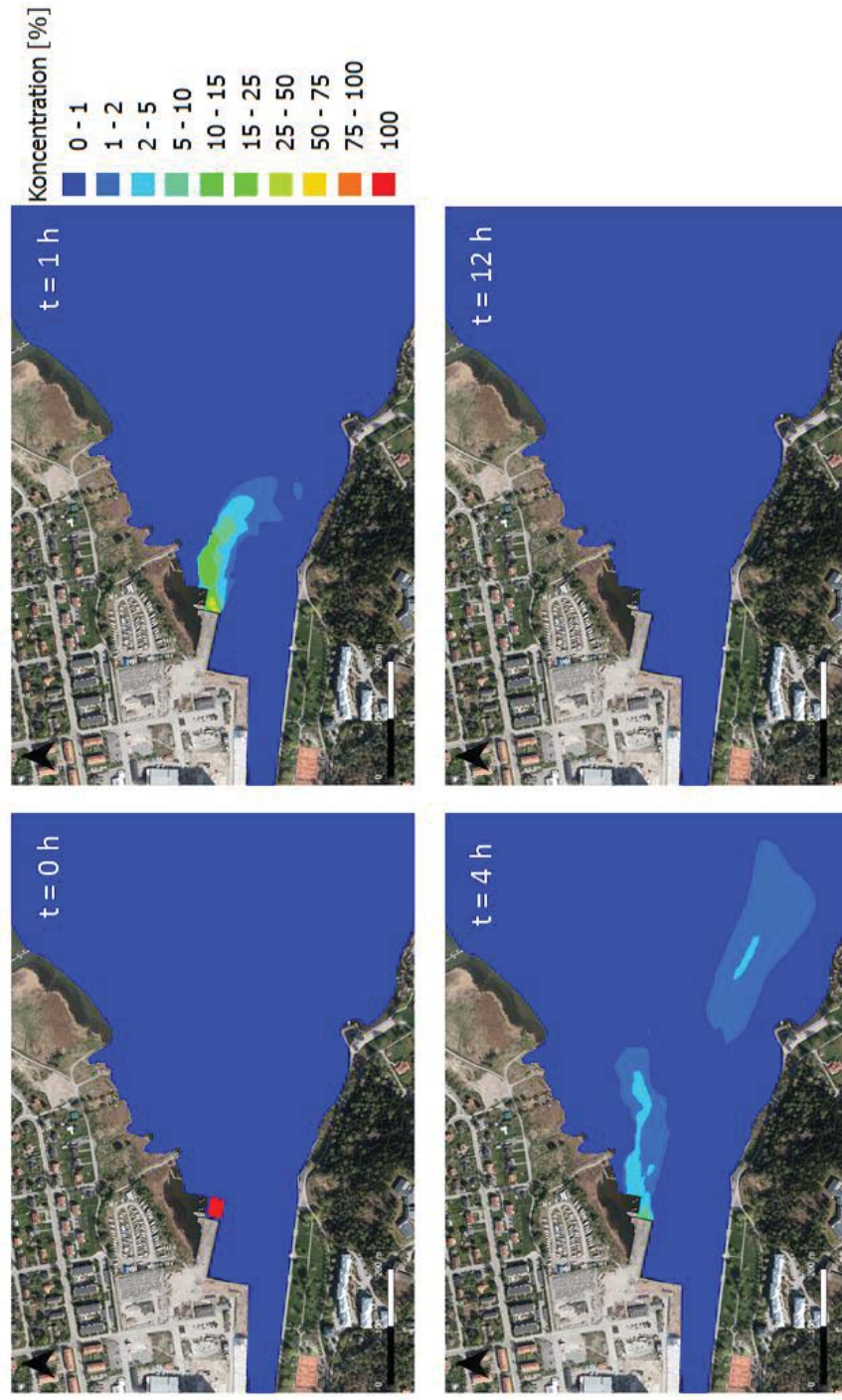
Utbredningen av vattnet från havsbadet efter 1, 4 och 12 timmar från simuleringens början visas i Figur 7-4 till Figur 7-7. Koncentrationen (medel över vattendjupet) visas som % av initialkoncentrationen i havsbadet (100%). Figurerna visar hur vattnet från havsbadet sprids ut från havsbadet som en plym. Bemärk att koncentrationsskalan i figuren inte är lineär. Detta för att tydliggöra de små koncentrationerna ned till 1%. Figurområdet har valts så alla betydande koncentrationer täcks in. Området som täcks av havsvattenbadet ses tydligt i figuren som illustrerar starttidpunkten för spridningen. Området som har tagits från COWI's ritning ses med röd färg (100% koncentration).



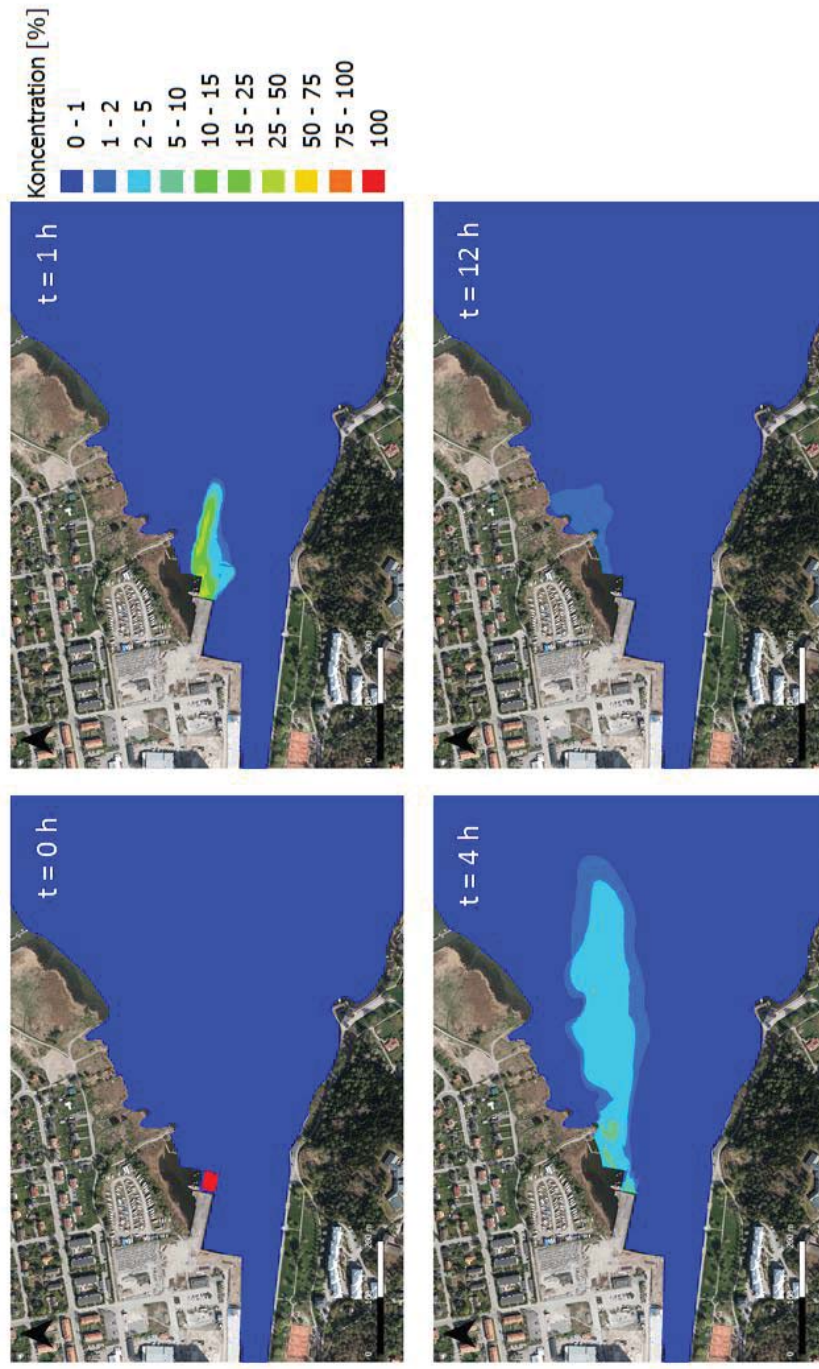
Figur 7-4 Fall 1 - Typiskt bästa uppblandning utan vind (MQ MW)



Figur 7-5 Fall 2 - L gst uppbl ndning under sommaren ('worst case') (Q10somm r MW)



Figur 7-6 Fall 3 - Betydelsen av vanlig vindhastighet och riktning för uppblandningen (250 grader) (MQsömmar MW 250 grader)



Figur 7-7 Fall 4 - Betydelsen av vanlig vindhastighet och riktning för uppblandningen (160 grader) (MQsommarm MW 160 grader)

7.5 Diskussion av resultat

Det är inte överraskande att de två vind fallen (Fall 3 och 4), med medel sommarvind från två olika riktningar utvisar snabbaste vattenomsättningen i havsbadet. I båda dessa två fall har 90 % av ursprungliga vattenmassan i havsbadet lämnat havsbadsområdet inom bara 2 timmar. Inte heller överraskande att området som vattnet från havsvattenbadet sprids till är olika i de två fall, med en mer sydlig utbredning i Fall 3 än i Fall 4.

I Fall 2 utan vind och med den lägsta utströmning från Norrtäljeån tar det dubbelt så lång tid att sprida 90% av vattnet från havsbadet, ungefär 4 timmar.

I Fall 1 utan vind men med relativt högt utflöde från Norrtäljeån, motsvarande ett medelflöde i försommarperioden har vi en vattenomsättning som ligger ungefär mittemellan de andra fall, med spridning a ursprungliga vattenmassan ut från havsbadet inom 3 timmar.

Resultat visar att vattenomsättning påverkas av en moturs ström som bildas mellan piren och den södra kajen. En känslighetsanalys har utförts med fall 2 för att uppskatta känsligheten för skiktning, beräkningsnätets vertikala upplösning samt turbulensmodellen.

Strömningsförhållandena utan någon skiktning visade stora skillnader jämfört med utförda simuleringar med skiktning med ensriktade strömningsriktningar mellan ytan och botten samt lägre strömningshastigheter. Denna konfiguration bedöms dock inte representera de förväntade strömningsförhållandena med en ytström och bottenström i motsats riktning. I alla de andra kontrollsimuleringarna ses en ström som liknar resultatet från grundfallen vilket tyder på att de testade modellparametrarna inte påverkar resultatet inom detta område.

7.6 Slutsats

Båda vinden och utflödet från Norrtäljeån bidrar till bättre vattenomsättning. Vindens riktning verkar ha liten betydelse för hur snabbt vatten från havsvattenbadet blandas upp i hamnområdet.

8 Erosionsbenägenhet hos bottensedimenten

8.1 Inledning

Bottensedimenten i inre hamn utsätts för olika strömningspåverkan. Om dessa strömningspåverkan är tillräckligt kraftiga kommer sediment att lyftas upp från botten och hålls suspenderat i vattenmassan till det igen sjunker ned och lägger sig på botten. Under tiden som suspenderade sedimenten befinner sig i suspension, kan det transporteras med vattenströmmar till ett annat område med lugnare vatten där det sedimenterar. Grövre sedimentpartiklar sjunker snabbt mot botten medan finare sedimentpartiklar transporteras längre bort eftersom de tar längre tid om att sjunka till botten. Det är turbulensen i vattnet som håller sedimenten i suspension. Föroreningsämnen som finns i bottensedimenten kommer att suspenderas i vattnet när sedimenten eroderas och kan på samma sätt som sedimenten spridas med vattenströmmar.

Avgörande för om erosion kommer att ske är:

1. Strömningshastigheter som orsaker bottenskjuvspänningar på botten
2. Bottenmaterialets erosionsbenägenhet

Strömningshastigheter vid botten som kan uppstå under naturliga påverkan har utretts i föregående kapitel. Dessa strömningshastigheter är ganska små och uppgår till maximalt ca 0,12 m/s medan hastigheterna i havsbadet bara är hälften av detta värde, upp till ca 0,06 m/s. Men mycket högre bottenhastigheter kan förekomma i områden med båttrafik. Även under byggtiden kan byggaktiviteter orsaka höga hastigheter.

Bottenmaterialets erosionsbenägenhet är avhängigt av materialets fysikaliska beskaffenhet, kornstorlekar och konsolideringsgrad. Konsolidering tar viss tid, vilket innebär att sediment som relativt nyligen har sedimenterat är okonsoliderat och därmed lättare eroderas än material som har konsoliderats över lång tid.

8.2 Kritiska bottenskjuvspänningar

Den *kritiska* bottenskjuvspänningen, τ_c , är tröskelvärde då bottenmaterialet börjar eroderas. Denna parameter är avhängig av sedimentens fysikaliska egenskaper, så som kornstorlekar, kohesion och konsolideringsgrad. För friktionsmaterial som sand finns olika empiriska diagram ur vilka den kritiska bottenskjuvspänningen kan uppskattas. Värdena är dock bestämda under idealiserade förhållanden och ska användas med försiktighet. För kohesivt material är kritiska bottenskjuvspänningen ännu svårare att bestämma.

Sedimentprovtagningar har utförts i flera omgångar i Norrtälje's inre hamn. Resultat har sammanfattats av Bjerking (2014) och Ramböll (2016). Ramböll's rapport fokuserar enbart på sedimentens innehåll av förorening och anger ingen fysikaliska parametrar. Bjerking (2014) anger inte heller några fysikaliska parametrar, men beskriver sedimenten utifrån en okulär besiktning. Sedimenten beskrivs främst som *gyttig lera*, ibland som *sandig gyttig lera* eller som *lös gyttja*. Dessutom beskrivs botten som sedimentationsbotten i alla provtagningspunkter. Av detta kan vi konkludera att bottensedimenten består av okonsoliderat kohesivt sediment och ibland ganska löst sediment.

I Tabell 8-1 redovisas en sammanfattning av kritiska bottenskjuvspänningar för erosion av olika typer av material. Denna är framtagen av SMHI inom ramen för projekt Slussen i Stockholm (SMHI, 2008).

Tabell 8-1. Sammanfattning av kritiska bottenskjuvspänningar för erosion av olika typer av material.

Typ av material	Diameter (mm)	Kritisk bottenskjuvspänning τ_c (N/m ²)
Friktionsmaterial		
Fin sand	0,06-0,25	0,1-0,2
Medium sand	0,25-0,5	0,2-0,3
Grovt sand	0,5-1,0	0,3-0,6
Mycket grov sand	1,0-2,0	0,6-1,2

Kohesionsmaterial	
Icke-konsoliderat material	0,01-0,04
Icke-konsoliderat material (recenta sediment)	0,1
Icke-konsoliderad lera och silt	0,1
Konsoliderat material	0,15
Konsoliderad silt	0,5

Utifrån ovanstående underlag har den kritiska bottenskjuvspänningen uppskattats till $\tau_c =$ ca 0,01 – 0,1 N/m² inom projektområdet. Det bör dock noteras att viss variation förväntas både i plan och i djup och att betydliga osäkerheter gäller vid uppskattning av erosionsrisken.

8.3 Beräkning av bottenskjuvspänningar

Bottenskjuvspänningen beräknas med följande ekvation:

$$\tau_b = \rho \cdot u^{*2}$$

Där:

- τ_b = bottenskjuvspänning (N/m²)
- u^* = skjuvspänningshastighet (m/s)
- ρ = vattnets densitet (kg/m³)

Skjuvspänningshastigheten beräknas med följande ekvation som innebär att hastighetsprofilen i närheten av botten antas vara logaritmisk samt att strömningen antas vara turbulent²:

$$u_* = \frac{\kappa \cdot u_b}{\ln\left(\frac{30 \cdot dz}{k_s}\right)}$$

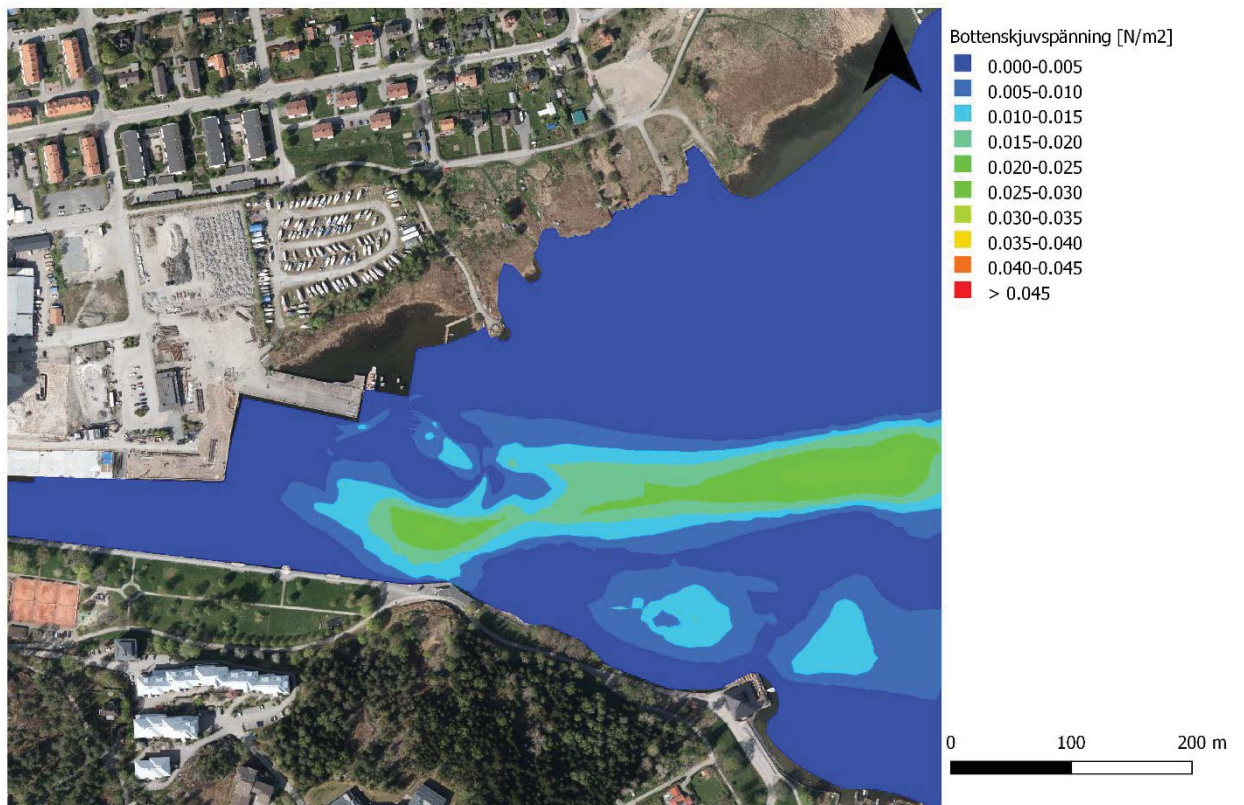
Där:

- κ = von Karmans konstant (0,4)
- u_b = hastighet 0,1 m ovanpå botten (m/s)
- dz = avstånd mellan referensnivå för bottenhastighet och bottenivån (0,1m)
- k_s = partikelråhet (m)

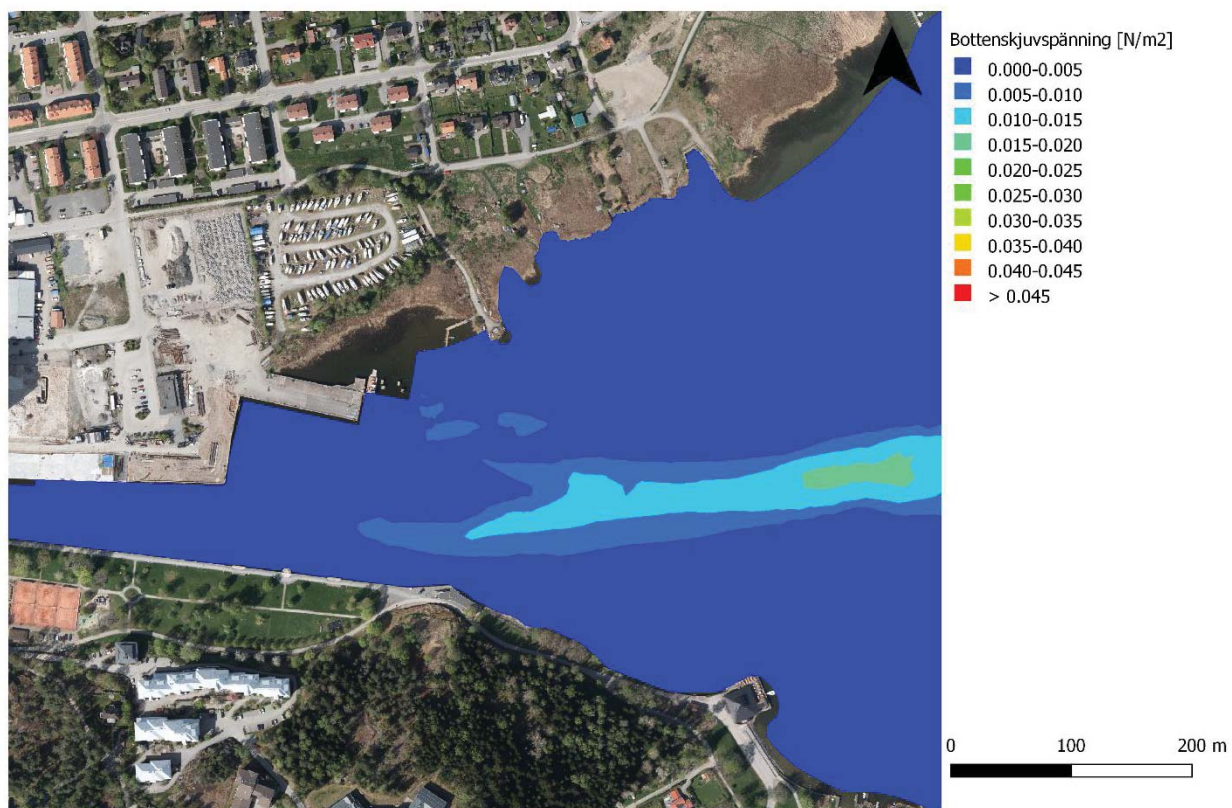
² Turbulent strömning sker när Reynolds tal $Re = u \cdot H / \nu$ överstiger ca 4000 (u : vattenhastighet i m/s, H : vattendjup i m och ν : kinematisk viskositet, 10⁻⁶ m²/s). För vattendjup större än 5 m blir strömningen turbulent för strömningshastigheter $u =$ ca 0,001 m/s eller högre.

Partikelråheten i formeln ovan relateras till sedimentens ytråhet vid beräkning av bottenskjuvspänningen och har ansatts till $k_s = 0,001$ m vilket är representativt för släta bottenar bestående av kohesivt material.

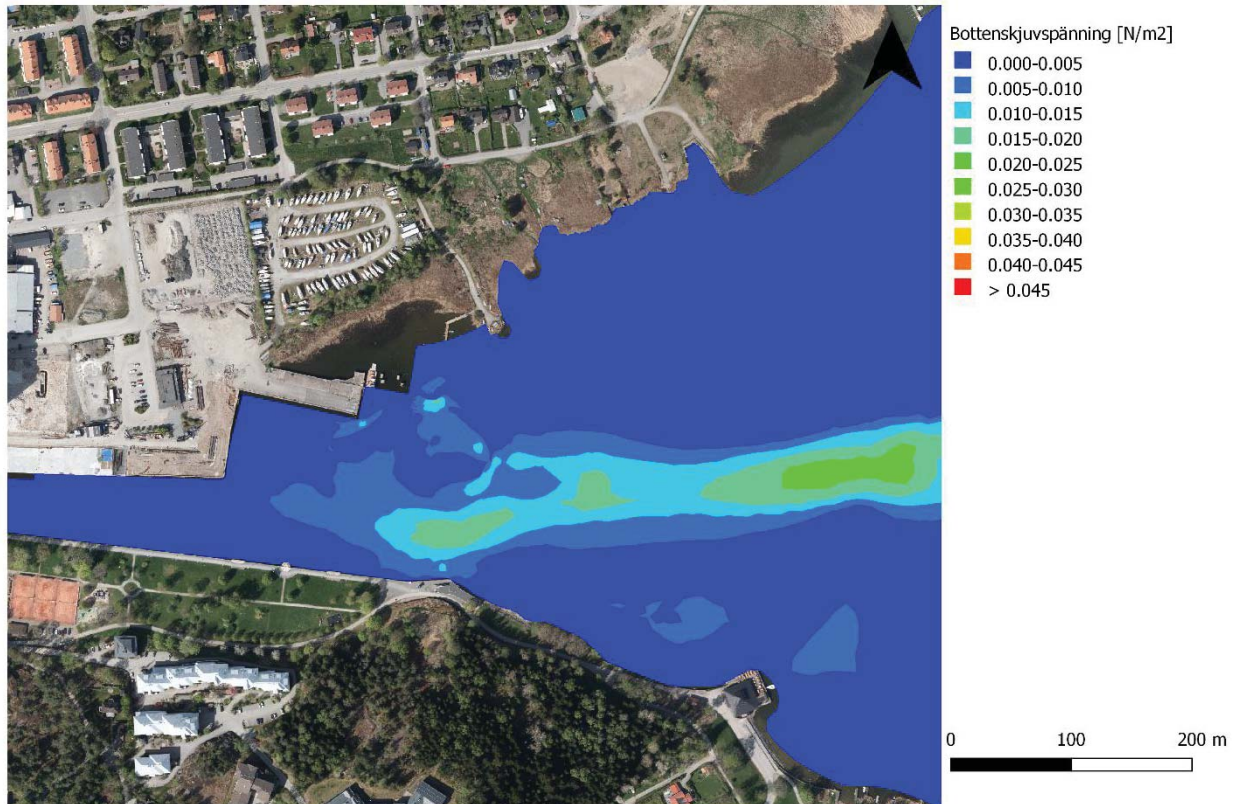
Bottenskjuvspänningar för de fyra simuleringsfall presenteras i



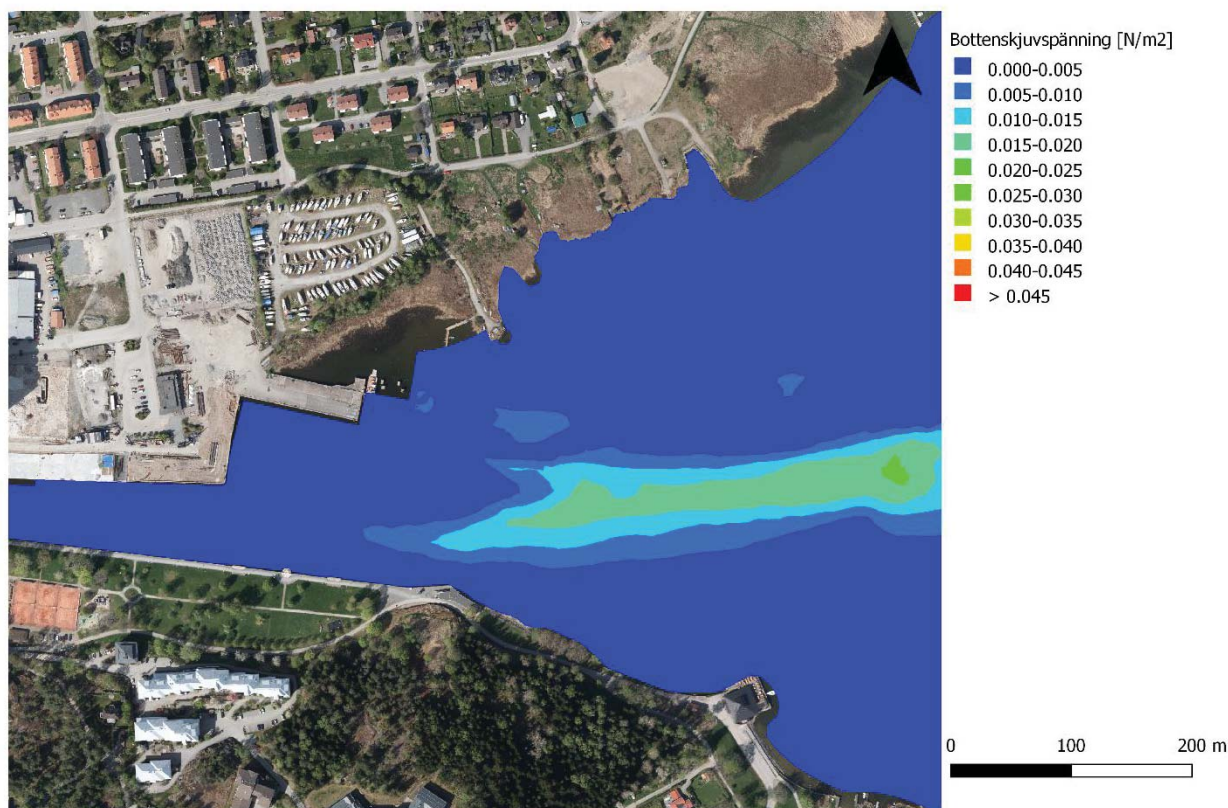
Figur 8-1 Fall 1 – Bottenskjuvspänningar under typiskt bästa uppblandning utan vind (MQ MW)



Figur 8-2 Fall 2 – Bottenskjuvspänningar under lägst uppblandning under sommaren ('worst case') (Q10sommars MW)



Figur 8-3 Fall 3 - Bottenskjuvspänningar under vanlig vindhastighet och riktning (250 grader) (MQsommar MW 250 grader)



Figur 8-4 Fall 4 - Bottenskujuvspänningar under vanlig vindhastighet och riktning (160 grader) (MQsommar MW 160 grader)

8.4 Diskussion av beräknade bottenskujuvspänningar

Beräknade bottenskujuvspänningar ligger under $0,03 \text{ N/m}^2$, och ligger därmed inom intervallet där bottensediment kan börja röra på sig ($0,01 - 0,1 \text{ N/m}^2$). Högsta bottenskujuvspänningarna förekommer i muddrade farleden in till Norrtälje Hamn, eftersom denna – med låg strömningsmotstånd – koncentrerar strömmen inom ett relativt smalt område. Farleden utsätts regelbundet för mycket högre bottenskujuvspänningar orsakat av skeppspropeller. Därmed blir farleden "spolat ren" för all lätt eroderbar sediment, som lyfts upp i suspension och transporteras med svaga strömmar bort från farledsområdet och sedimenterar. De flesta områden som i Figur 8-1 till Figur 8-4 visar bottenskujuvspänningar över $0,01 \text{ N/m}^2$, kommer inte att erodera eftersom kritiska bottenskujuvspänningen för den bottensediment som är kvar vill vara betydligt högre.

Det kan även noteras att beräknade bottenskujuvspänningar i havbadet i alla 4 fall ligger under $0,01 \text{ N/m}^2$ i alla fyra fall och ingen erosion av bottenmaterial kommer därför att ske i havbadet.

Det är dock viktigt att nämna att osäkerheten i kritiska bottenskjuvspänningen är stor eftersom denna inte har kvantifierats för aktuella sedimentprover och sedimentens fysikaliska egenskaper inte har kvantifierats.

8.5 Slutsats

Strömningshastigheterna under icke-extrema strömningsförhållanden är små i inre hamnen och därmed också den resulterande bottenskjuvspänningen ($<0,03 \text{ N/m}^2$). Det finns troligen löst sediment som kan erodera redan vid $0,01 \text{ N/m}^2$, men sådant material kommer inte finnas i farledsområdet där de högsta bottenskjuvspänningar förekommer.

Slutsatsen blir därför att vanligt förekommande strömmar inte är tillräckligt starka för att erodera den befintliga bottensediment.

9 Islaster

Denna utredningen ska identifiera eventuella risker för stora islaster mot konstruktionerna.

Islaster kan förekomma emot kajer och pålar, såväl befintliga som nyetablerade. Under kajer räknas vertikala ytor av relativt lång horisontell utsträckning, även permeabla vertikala avskärningsytor.

Islaster utgör primärt horisontell kraftpåverkan, men vertikal påverkan kan förekomma om isen fryser fast emot konstruktionen.

Olika länder har egna (och mycket varierande) riktlinjer för hur islaster ska beräknas. En sammanställning och genomgång av internationella riktlinjer presenteras av Frederking (2012). En liknande, men lite mer djupgående jämförelse med focus på nordiska riktlinjer har gjorts av Steenfelt (2016).

Frederking går genom 5 olika standarder:

- CSA-S6 Canadian Highway Bridge Design Code
- ISO 19906 Arctic offshore structures
- CSA-S471 General requirements, design criteria, the environment, and loads
- API Recommended Practice 2N Planning, Designing, and Constructing Structures and Pipelines for Arctic Conditions (1995)
- SNiP 2.06.04-82* Loads and Effects on Hydrotechnical Structures (Russia)

Frederking kommer fram till att kanadensiska riktlinjer är bäst lämpade, CSA-S6 för pålar och CSA-S471 för breda konstruktioner (kajer etc.).

Steenfelt ser på 8 olika metoder, inklusive kanadensiska CSA-S6 men fokuserar sen på svenska och danska riktlinjer. Han konkluderar att riktlinjer från 80-talet (Vägverket, 1987) fortfarande är gällande i Sverige och att dimensionering efter svenska riktlinjer ger betydligt lägre dimensioner än dimensionering efter danska riktlinjer. I övrigt visar han hur danska riktlinjer har blivit mycket strängare genom åren. Danska riktlinjer från 1945 var ungefär som de nuvarande svenska riktlinjer från 1987. Steenfelt nämner att en orsak till stora skillnader mellan riktlinjerna är stor spridning i bedömningen av isens kompressionshållfasthet.

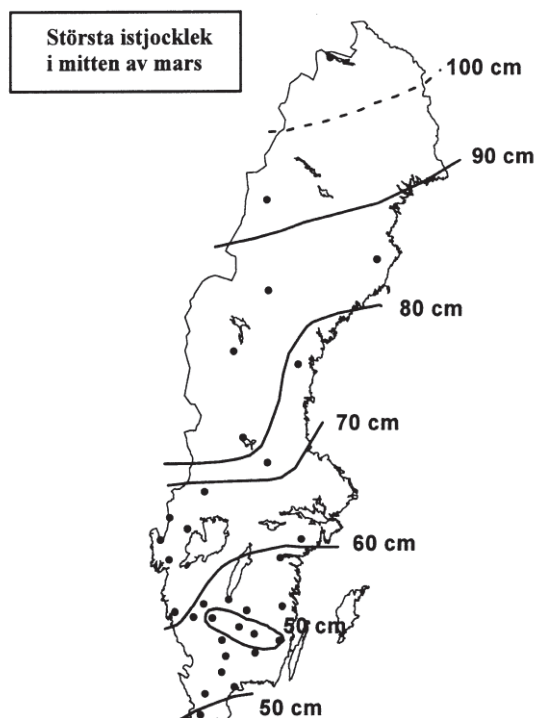
Mest relevanta riktlinjer för konstruktionerna i Norrtälje Hamn är svenska riktlinjer (Vägverket, 1987). Islaster som gäller för dammar i Sverige kan betraktas som en övre gräns (RIDAS, Betongdamm, Tillämpningsvägledning 7.3.2.1.4)

Eftersom man betraktar fall där isen krossas/bryts emot en konstruktion är isens hållfasthetsparametrar avgörande för islaster – och hållfastheten hos is är starkt beroende av saliniteten. Havsis har en hållfasthet som är mindre än hälften av hållfastheten hos färskvatten. Saliniteten i Östersjön norr om Stockholm är låg, och ännu lägre inne i Norrtäljeviken (<6 psu³). Dessutom medför skiktningen att ytvattnet har ännu lägre salinitet (ca 3 psu eller lägre). Som

³ Practical Salinity Unit. 1 psu = 1g/kg

jämförelse kan nämnas att Nordsjöns salinitet är >35 psu. Vi **bortser därför från salinitetens reduktion av isens hållfasthet och räknar med samma hållfasthet som för färskvatten.**

Istjockleken är en viktig parameter. Eklund (1998), Ref. [14], anger medelvärdet av varje års största istjocklek genom 40 år att vara ungefär 45 cm i Norrtälje och största istjockleken (i mars) kring 65 cm, vilket kan anses vara ca en 40-års istjocklek se Figur 9-1.



Figur 9-1 Maximala istjocklekar i Sverige uppmätt genom 40 år, SMHI (1998), Ref. 14

Riktlinjerna från Vägverket anger generella gränsvärden, t ex statliga belastningsbestämmelser från 1961, men beskriver samtidigt att aktuella värden ska bestämmas med "hänsyn till konstruktionens form, styvhet och utsträckning samt till de lokala isförhållandena". En viktig parameter, särskilt vad gäller termisk istryck, är om hamnområdet hålls isfri längs farleden vintertid.

Det antas att flytbryggorna ska ligga i vattnet året om. De måste i så fall vara lämpade för detta, både själva bryggan men också förankringarna.

Konstruktioner inom hamnområdet som (beroende på lokala förhållande) kan vara utsatta för stora islaster är:

- Nya och befintliga kajer, inklusive permeabel avskärmning i inre hamnen
- Betongpålar (30cm x 30cm)
- Flytbryggor

Den kraft som uppstår mellan isen och den konstruktion som isen ligger an emot är beroende av hur eftergiven konstruktionen är. En fast konstruktion som inte flyttar sig är utsatt för mycket högre islaster än en konstruktion som ger efter för kraften. Denna aspekt bör studeras närmare under detaljprojektering.

Möjlig kraftpåverkan utgörs av både vertikal lyftkraft och horisontella krafter inemot konstruktionen. De två behandlas separat och diskussionen nedan bygger primärt på Vägverket (1987), Ref. [11]. Isens krosshållfasthet uppskattas till 700 kPa (1.3.3).

Strömningshastigheter orsakade av utflöde från Norrtäljeån är låga, därför anses laster från drivande is vara försumbar.

Horisontella krafter

Kraften angriper konstruktionen mellan LLW och HHW.

Trycket från fast istäcke genom temperaturväxlingar kan ge anledning till tryck mot konstruktionen (kajer, skärmar) på 50 – 300 kN/m (1.1.1–1.1.2)

För pelare med sidolängd mindre än 4 m sätts sidolängden till 4 m. Detta kan tyckas orimligt ifall man som i Norrtälje Hamn har sidolängd 0,3 m. Med stöd i andra riktlinjer kan man i sådana fall argumentera för att avvika från gällande svenska riktlinjer Vägverket (1987), Ref. [11].

Islasten på en 0,3 m x 0,3 m påle uppgår iflg [11] till 0,2 – 1,2 MN. Om ett värde i den högre endan av intervallet tillämpas, reduceras till 1/3 för bakomliggande pålar, dock minst 50 kN. (1.1.3–1.1.4)

Istryck kan räknas verka bara på en sida av pålen i taget. (1.1.5).

Vattenståndsväxlingar kan medföra ensidigt horisontellt tryck genom spännverkan eller valvverkan mellan pelare eller mellan påle och kajmur. Tryck mot kajmur kan uppgå till högst 200 kN och lasten på en 0,3 m x 0,3 m påle kan uppgå till högst 0,8 MN (1.2.1).

Vertikal lyftkraft

Denna kraft uppstår vid stigande vattennivåer när isen är fastfryst till konstruktionen. Lyftkraften är relevant främst för pålar och dykdalber, men också för kajmuren.

Maximal lyftkraft på en lång rak kajväg kan högst vara 1/3 av den horisontella kraften. Om kraft från temperaturväxlingar och vattenståndsväxlingar förekommer samtidigt kan denna som högst uppgå till $(300+200)/3 \text{ kN/m} = 168 \text{ kN/m}$ (1.6.1).

Lyftkraften på en ensamstående påle, dykdalb eller liknande uppskattas till 576 kN (1.6.4).

Ovan angivna värden får ses som grova uppskattade värden. Mer precisa värden bör tas fram i detaljprojekteringen baserat på lokala förhållanden och noggranna beräkningar.

10 Referenser

- [1] Sweco Energiguide, 2016. MKB Kolkajen-Ropsten vattenverksamhet. Rapport strömningsberäkningar. 2016-05-10. Uppdragsnummer 115988000.
- [2] EDF R&D, 2016. TELEMAC-3D Software Release 7.0. Operating manual. January 2016. www.opentelemac.org.
- [3] Young, I.R. and Verhagen, L.A. (1996).” The growth of fetch-limited waves in water of finite depth. Part 1: total energy and peak frequency”. Coastal Engrg. Vol. 28, pp 47–48.
- [4] Bosboom, J. and Stive, M.J.F. (2015).” Coastal Dynamics I”. Lecture notes CIE04305.
- [5] SMHI, 2018. Karakteristiska havsvattenstånd vid Norrtäljeviken mynning i dagens och framtidens klimat. 2018/61/9.5. 2018-02-13.
- [6] Johnson et al. (1997).” On the Dependence of Sea Surface Roughness on Wind Waves”. Journal of Physical Oceanography. Vol. 28, p 1702-1716
- [7] CUR-CIRIA [1992]. Manual on the use of rock in Hydraulic Engineering, 189-190
- [8] MSB (2015): Översiktlig översvämningskartering längs Norrtäljeån. Rapport nr 43, 2015-11-17
- [9] Engqvist, A. (2010): Modellstudie av totalkväve- och totalfosforhalter i Norrtäljes vattenområde under en årscykel med en typisk kustoceanografisk drivning från 1991 och närsaltsbelastning från 2004 uppdelad på olika källkategorier. A & I Engqvist Konsult HB. 2010-11-30
- [10] Nepf, H. M. (1999): Drag, turbulence and diffusion in flow through emergent vegetation. Water Resources Research 35.2. American Geophysical Union
- [11] SMHI (2008): Hydrodynamiska utredningar I Slussenprojektet – underlag för bedömning av erosionsrisk samt effekter på avloppsvattensspridningen i Saltsjön vid ökad avtappning av Mälaren genom Söderström. Rapport Nr 2008-61.
- [12] Bjerking (2014): PM Miljöteknisk undersökning av sediment. Delområde 10 och 11. Del av Norrtäljeviken, Norrtälje Kommun.
- [13] Ramböll (2016): PM Föroreningar i sedimenten i Norrtälje hamn.
- [14] Vägverket (1987): Istryck mot bropelare. Publ. 1987:43. Vägverket, Serviceavdelning Väg- och Brokonstruktion.
- [15] Frederking, R. (2012): Review of Standards for Ice Forces on Port Structures. 15th International Conference on Cold Regions Engineering, Quebec, Canada, August 19-22, 2012

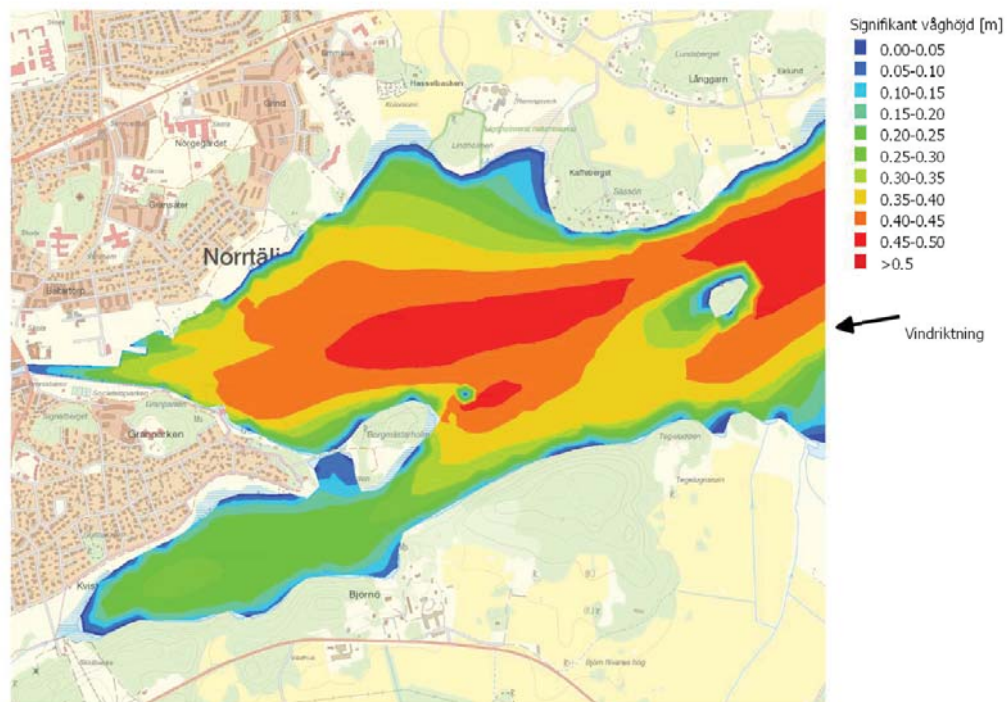
- [16] Steenfelt, J. S. (2016): Ice Loads on Structures in the Baltic Environment. Proceedings of 13th Baltic Sea Geotechnical Conference. Lithuania, 22-24 September 2016.
- [17] Eklund, A.: Istjocklek på sjöar – en statistisk bearbetning av SMHIs mätningar. SMHI, rapport Nr 76, 1998.
- [18] Ekström, T. (2002): Islaster mot hydrauliska konstruktioner. Inriktning mot betongdammar. Elforsk rapport 02:03. Jan 2002.

BILAGA A

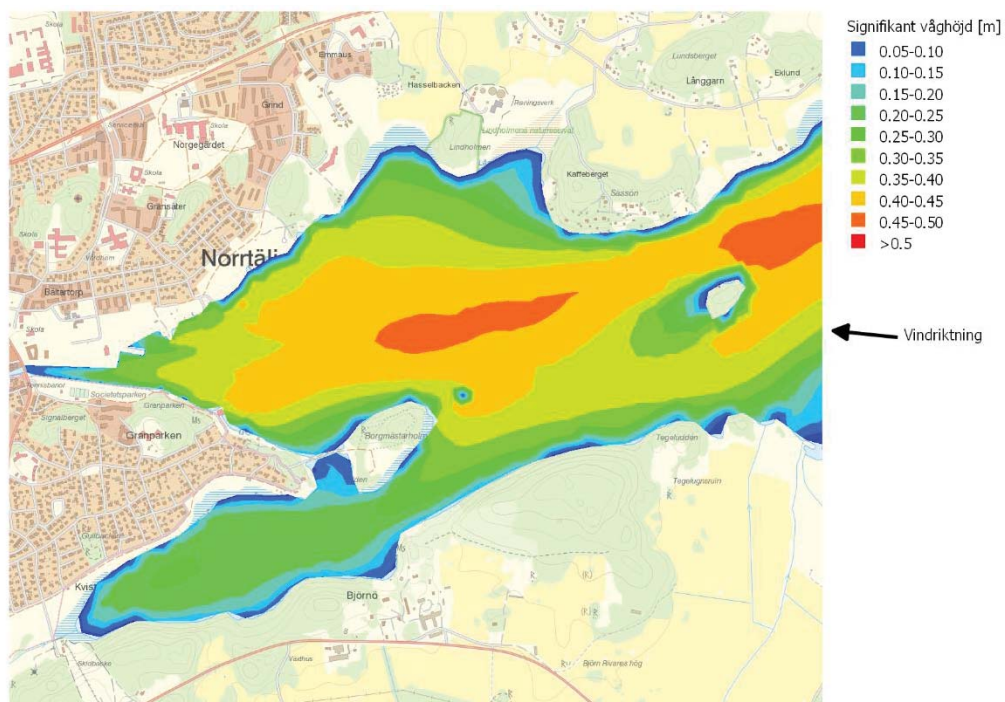
VÄGMODELL: ÖVRIGA RESULTAT

1 Vindvågor resultat

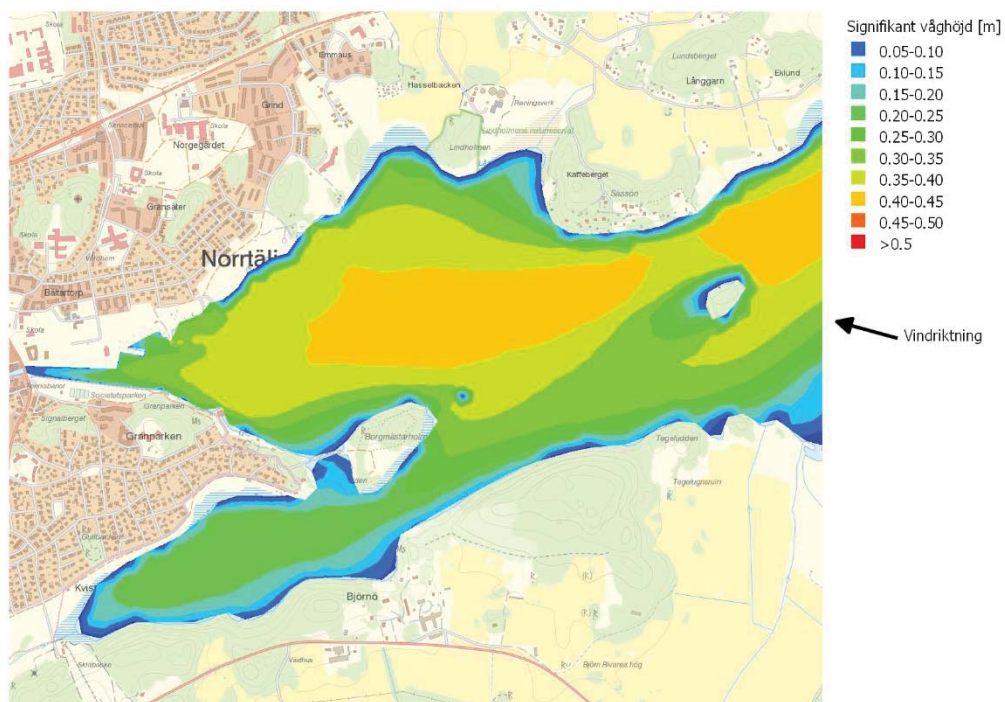
Simulerade våghöjder för vindgenererade vågor för varje av tre vindriktningar illustreras i Figur A-1 to Figur A-3. Slutligt visas den kombinerade maximala våghöjd för alla 3 riktningar i Figur A-4. Utsnitt av Figur A-4 finns i Figur 5.7 i huvudrapporten, som visar våghöjder inom hamnområdet i större skala.



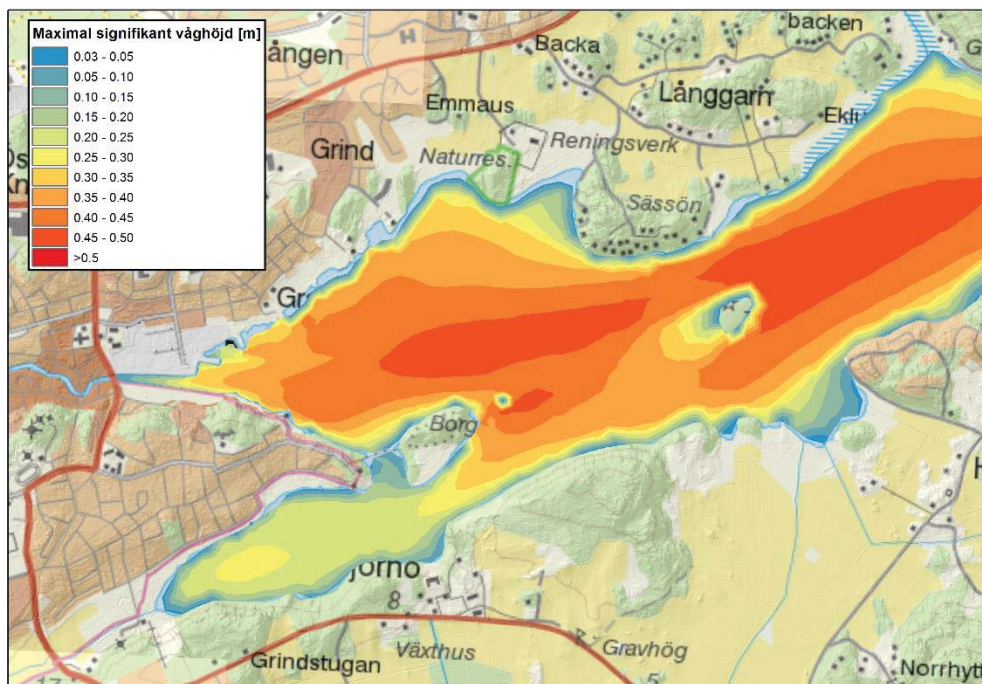
Figur A-1 Signifikant våghöjd vid vind från 85 grader.



Figur A-2 Signifikant våghöjd vid vind från 100 grad.



Figur A-3 Signifikant våghöjd vid vind från 115 grad.



Figur A-4 Maximal signifikant våghöjd vid vindhastighet 19,05 m/s vid vindriktningar 85, 100 och 115 grader i Norrtäljeviken