

Modellering av sedimentspridning från muddring vid ny containerterminal i Helsingborgs hamn

Modellerad påverkan från muddring

Reviderad 1.1

2025-05-16

Framtagen för: Helsingborgs Hamn

Modellering av sedimentspridning från muddring vid ny containerterminal i Helsingborgs hamn

Modellerad påverkan från muddring

Reviderad 1.1

Framtagen för: Helsingborgs Hamn

Representerad av: Joakim Sandberg

Kontaktperson:	Cecilia Gustafsson Gombrii
Projektansvarig:	Cecilia Gustafsson Gombrii
Kvalitetsansvarig:	Martin Johnsson, Charlotta Lövestedt, Sina Saremi
Författare:	Cecilia Gustafsson Gombrii, Timothy Ley
Projekt No.:	12805242
Godkänd av:	Charlotta Lövestedt
Datum för godkännande:	2025-05-16
Revision:	Reviderad 1.1
Klassifikation:	Open: This document may be shared inside and outside the DHI Group entities without the client's prior approval.
Filnamn:	DHI 2025 Modellering av sedimentspridning från muddring.docx

Sammanfattning

DHI har på uppdrag av Helsingborgs Hamn modellerat sedimentspridning från muddring vid en ny containerterminal som planeras i södra delen av Helsingborgs hamn. Den här rapporten beskriver modellresultaten och är framtagna som underlag till MKB för muddring.

Modelleringen av sedimentspridning har utförts med hjälp av en hydrodynamisk tredimensionell modell, som representerar variationer i strömförhållanden och skiktning i närområdet kring den planerade muddringen. Dessutom har en tvådimensionell vågmodell tagits fram för samma område. Till den hydrodynamiska modellen och vågmodellen kopplas en modul som beräknar hur sedimentspillet från muddringen sprids med strömmar och vågor, och skapar en grumlande plym som påverkar närområdet. Spridningsberäkningarna visar vilka koncentrationer av suspenderat material utöver bakgrunds nivå som kan uppstå vid muddringen, hur varaktig grumlingen är, samt var sedimentation sker och hur tjock pålagringen blir.

Information om sedimenten och planerad muddring har erhållits från Helsingborgs Hamn, Sweco och Rejlers. Sedimentspridningsmodellen har satts upp med konservativa antaganden, baserat på denna information.

Modellresultaten för sedimentspridning från muddring vid den nya containerterminalen visar att:

- De närliggande naturreservaten (Knähaken i väst/sydväst, Pålsjö och Grollegrund i norr, samt Rååns dalgång och Örby ängar i söder) och Natura 2000-områdena (Nordvästra Skånes havsområde och Havet kring Ven), påverkas i olika grad. Det är framför allt en andel av det närmaste naturreservatet, Knähaken, samt gränsen till detta, som påverkas av högre nivåer av grumling och sedimentation. Påverkan sträcker sig i liten eller mycket liten grad till de andra närbelägna skyddade naturområden, vilket beror på det större avståndet till muddringen. Påverkan på Natura 2000-området Havet kring Ven är i princip försumbar eftersom strömmarna framför allt sprider sedimentspill längs djupkonturerna utanför östra kusten i Öresund. Dock är inte Natura 2000-områdets gränser skarpa.
- Netto-sedimentationen ger en pålagring i nordnordvästlig samt sydsydöstlig riktning från muddringen. Ca 2 % av Knähakens bottenyta beräknas täckas av en pålagring med tjocklek mellan 2–10 mm. Den beräknade pålagringen med tjockleken 10 mm förekommer i Knähaken där gränsen till muddringsområdet möter naturreservatets gräns. Resterande beräknad pålagring i naturreservatet är tunnare.
- Den maximala grumlingen som förekommer i Knähaken under simuleringen är större vid ytan än vid botten. Maximal grumling om 10–500 mg/l vid ytan beräknas förekomma i en sammanlagd area om ca 3,8 km² inom Knähakens naturreservat. Den längsta varaktigheten (sammanlagt 4–7 dygn) för grumling över 10 mg/l vid ytan i Knähaken, täcker dock mindre än 0,1 km² av naturreservatets area. Grumling över 40 mg/l i ytan beräknas förekomma under sammanlagt mellan 0,25–4 dygn i en area om ca 0,7 km² i Knähaken.
- Lokalt vid Knähakens gräns som vetter mot muddringsområdet förekommer en maximal grumling om upp mot 50 mg/l vid botten någon gång under simuleringen. Vid botten påverkas ca 0,1 km² av Knähakens area av grumling över 10 mg/l under en sammanlagd tid om 0,25–2 dygn, längs naturreservatets gräns som vetter mot muddringsområdet.

En jämförelse av bottenskjuvspänning vid befintlig hamn och för scenariot med ny vågbrytare och muddring har gjorts. Jämförelsen visar att förändringen i hamnen innebär en något mindre bottenskjuvspänning i grundområdet sydost om muddringsområdet, men att påverkan är mycket liten.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	6
1.1	Oceanografiska förhållanden i området	7
2	Data	9
2.1	Batymetri-data	9
2.2	Drivning av den hydrodynamiska modellen och vågmodellen	9
2.3	Sediment och muddringsförfarande	9
3	Modellbeskrivning	11
3.1	Hydrodynamisk modell och vågmodell	11
3.1.1	Modelleringsperiod	11
3.1.2	Beräkningsnät	11
3.1.3	Validering	12
3.2	Sedimentspridningsmodell	17
3.2.1	Simulering av muddring av sediment	17
4	Resultat av sedimentspridningsmodellering	19
4.1	Netto-sedimentation	19
4.2	Varaktighet	20
4.3	Maximal grumling	28
5	Bottenskjuvspänning	30
6	Referenser	33

Figurer

Figur 1.1	Djupförhållanden kring muddringsområdet i södra delen av Helsingborgs hamn, vid den nya planerade containerterminalen. Muddringsområdet (orange kontur) är uppdelat i en nordlig del, markerad "N", innanför den planerade vågbrytaren och en del, "S", som förlänger muddringsområdet söderut.	6
Figur 3.1	Beräkningsnät för den lokala modellen vid muddringsområdet och Helsingborgs hamn.	12
Figur 3.2	Stationerna FTO strömboj och W Landskrona	13
Figur 3.3	Observerade (punktmarkörer) och modellerade (streckad linje) djupprofiler av temperatur (överst) och salinitet (underst) vid station W Landskrona.	14
Figur 3.4	Fördelning av strömhastighet och riktning vid 10–12 m djup, FTO strömboj, 1 oktober – 13 december 2019. Observerad ström visas av den övre strömrosen och modellerad av den nedre.	15
Figur 3.5	Fördelning av strömhastighet och riktning vid 16–18 m djup, FTO strömboj, 1 oktober – 13 december 2019. Observerad ström visas av den övre strömrosen och modellerad av den nedre.	16
Figur 4.1	Netto-sedimentation en månad efter avslutad muddring.	20
Figur 4.2	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 2 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).	22

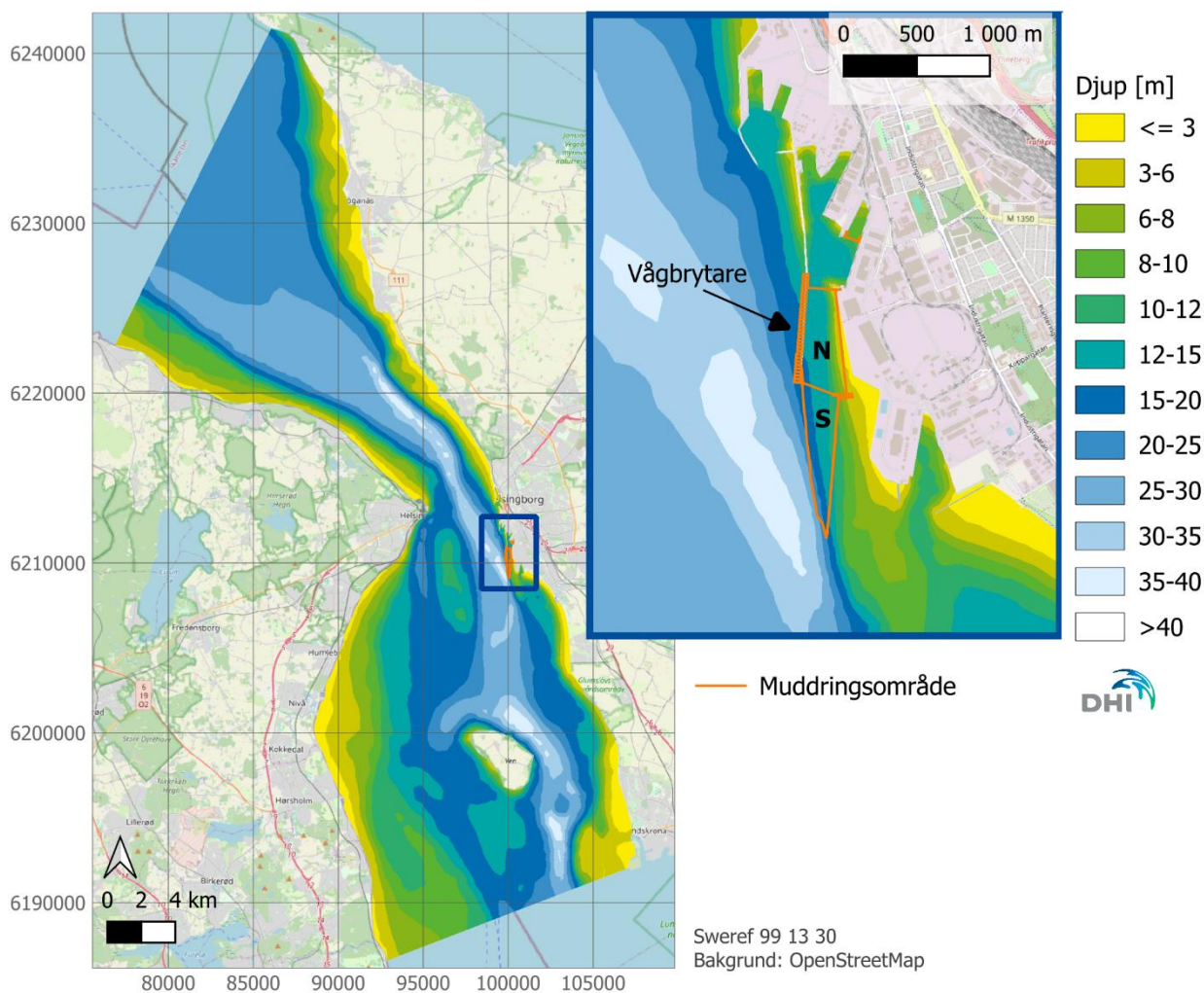
Figur 4.3	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 10 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).	23
Figur 4.4	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 40 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).	24
Figur 4.5	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 100 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).	25
Figur 4.6	Andel av tid då grumlingen överskrider olika koncentrationsnivåer vid fyra punkter (markerade i översiktskarta, överst). Tidsserier för koncentration suspenderat sediment vid respektive punkt visas i Figur 4.7.	26
Figur 4.7	Tidsserier över koncentration suspenderat sediment, i de fyra punkter som visas i Figur 4.6.	27
Figur 4.8	Sammanställning av maximala koncentrationer suspenderat sediment som förekommit under simuleringen, vid ytan (överst) och botten (underst).	29
Figur 5.1	Medelskjuvspänning för befintlig hamn (överst) och för scenariot med vågbrytare och muddrat djup (underst). Gul pil markerar område söder om Bulkhamnen där medlet är 0,1–0,15 N/m ² för befintlig hamn.....	31
Figur 5.2	Max skjuvspänning för befintlig hamn (överst) och för scenariot med ny vågbrytare och muddrat djup (underst).	32

Tabeller

Tabell 3-1	Modellerad kornstorleksfördelning för muddrade sediment, med fallhastighet angiven för respektive kategori längst ned.	18
------------	---	----

1 Introduktion

DHI Sverige AB (DHI) har fått i uppdrag av Helsingborgs Hamn (HHAB) att modellera sedimentspridning från muddring vid den nya planerade containerterminalen i södra delen av Helsingborgs hamn, se Figur 1.1. Studien är ett underlag för miljökonsekvensbeskrivning av muddring.



Figur 1.1 Djupförhållanden kring muddringsområdet i södra delen av Helsingborgs hamn, vid den nya planerade containerterminalen. Muddringsområdet (orange kontur) är uppdelat i en nordlig del, markerad "N", innanför den planerade vågbrytaren och en del, "S", som förlänger muddringsområdet söderut.

För att beskriva påverkan av sedimentspill från muddring har DHI satt upp en tredimensionell modell över hydrodynamiken och en vågmodell samt kopplat en sedimentspridningsmodell till de simulerade variationerna av strömmar, vågor, vattenstånd och skiktning i närområdet.

Denna rapport redovisar modelleringarna och är uppbyggd enligt följande:

- Kapitel 2 beskriver batymetrien i området, drivningsdata för den hydrodynamiska modellen och vågmodellen, samt erhållen information om muddringsförfarande och de sediment som ska muddras.

- Kapitel 3 beskriver uppställningen för den lokala hydrodynamiska modellen, vågmodellen och sedimentspridningsmodellen.
- Kapitel 4 presenterar resultaten för modellering av sedimentspridning.
- Kapitel 5 redovisar jämförelse av bottenskljuvspänning för befintlig hamn och för scenariot med ny vågbrytare och muddring.

1.1 Oceanografiska förhållanden i området

Sett över lång tid strömmar vattnet i Öresund åt olika håll vid ytan och på större djup. I ytan finns det bräckta Östersjövattnet som strömmar norrut genom Öresund mot Kattegatt. På större djup ligger ett tyngre vatten, med högre salthalt från Kattegatt, som strömmar söderut, in under Östersjövattnet. Dessa två vattenmassor som har olika densitet blandas oftast inte med varandra, och skapar därför ett språngskikt (en skarp densitetsgradient) mellan sig. Vid språngskiktet sker en snabb ändring från det bräckta vattnet till det saltare då man rör sig från ytan mot botten. Detta språngskikt finns i medeltal på djup runt 10–12 m.

Denna beskrivning ger en medelbild av hur det ser ut över tid, och uppstår under lugnare och stabila meteorologiska förhållanden. Det förekommer dock frekvent också situationer då hela eller det mesta av vattenpelaren antingen rör sig norrut eller söderut genom Öresund, till följd av vind- och vattenståndsvariationer.

Öresund är ett dynamiskt område där vatten från Västerhaven och Östersjön möts. Det som driver vattnet genom Öresund är vattenståndskillnaden mellan södra och norra delen av sundet. Dessa skillnader i vattenstånd orsakas av hög- och lågtryckspassager samt hur vinden trycker upp vattnet beroende på den rådande vädersituationen. Hur stor denna vattenståndsskillnad mellan norr och söder blir beror på var dessa hög- och lågtryckspassager sker geografiskt, samt vilken vindriktning och vindstyrka det är på olika ställen och hur länge vinden är ihållande.

Som exempel kan ges om ett lågtryck passerar mellersta Sverige. På Kattegatt och Skagerrak kan det då bli en period med nordvästlig vind som pressar vattnet söderut. Detta ger då ett högt vattenstånd i norra Öresund (norr om Helsingborg). Samtidigt kan det på Östersjön vara en sydvästlig vind som pressar vattnet åt motsatt håll (bort från södra Öresund vidare in i Östersjön). Effekten detta ger är en sydgående ström från området med högt vatten, genom Öresund, mot området med lågt vatten i söder.

Under höst och vinter är vattenståndet ofta högt, då det som regel passerar många lågtryck. På våren och sommaren är däremot lägre vattenstånd eftersom det som regel ofta är högtryck och svagare vindar. Lufttrycket, i sig självt, kan också påverka så att vatten pressas in i eller ut ur Östersjön via Öresund om det föreligger en stabil tryckdifferens mellan Östersjön och Västerhavet.

Vattenståndsskillnaden över Öresund kan vara stor beroende på variationer i vindriktningen. I norra delen av sundet stiger nivåerna då kraftig vind omkring väst pressar Kattegatts vatten söderut där det stoppas upp i den trängre passagen genom sundet. Vattenståndet blir ofta extra högt i sundets norra mynning. Vid Viken har vattenstånd över 160 cm över medelvattenstånd registrerats vid flertalet tillfällen. I sundets södra del stiger vattenståndet då

kraftiga vindar omkring nord över Östersjön pressar vattnet söderut samtidigt som nivån i Västerhavet är relativt hög. Vid de mest extrema tillfällena kan nivåskillnaden mellan Viken i norr och Skanör i söder vara omkring tre meter. Även variationerna i tid kan vara mycket stora då vattenståndet i sundet kan stiga och sjunka mycket snabbt.

I Öresund och Södra Östersjön påverkar topografin vattnets rörelse i hög utsträckning, och Limhamnströskeln ger ett stort flödesmotstånd som gör vattenståndsdynamiken i dessa områden extra komplex. Höga och låga vattenstånd med en snedställning av havsytan i sundet kan alltså inträffa vid vindstuvning både norr- och söderifrån. Det är inte ovanligt att vattenståndet i området norr om Öresundsbron är högt medan det i stället är lågt söder om bron och vice versa.

2 Data

I det här avsnittet beskrivs batymetrin i området, drivningsdata för den hydrodynamiska modellen och vågmodellen, samt erhållen information om de sediment som ska muddras och muddringsförfarande.

2.1 Batymetri-data

För att representera djupförhållanden i modellen har djupdata från sjömätning i det planerade muddringsområdet använts (data erhållen från Sweco). Utöver dessa data har djupdata från EMODnet använts, [EMODnet Product Catalogue \(europa.eu\)](https://www.emodnet.eu/), samt CMAP från Jeppesen (<https://www.c-map.com/en-gb/all-charts/>).

Djupförhållanden i modellen visas i Figur 1.1. Befintligt vattendjup är ca 3–20 m längs den östra kanten av muddringområdet. Djupet sluttar från kustlinjen ner mot djuprännan som löper längs Öresund, med djup om ca 20–40 m, väster om hamnen.

2.2 Drivning av den hydrodynamiska modellen och vågmodellen

Drivning (randvillkor) för den lokala hydrodynamiska modellen och vågmodellen har hämtats från regionala data.

Meteorologiska fält med vindhastighet och riktning, lufttryck och lufttemperatur, har hämtats från öppna data i CFSv2 (1/1) som tillhandahålls av NSF National Center for Atmospheric Research.

Oceanografiska randvillkor (vattenstånd, strömmar, salinitet och vattentemperatur) vid den lokala modellens yttre ränder har hämtats från Copernicus CMEMS (https://data.marine.copernicus.eu/product/BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_003_006/description).

Randdata till vågmodellen har hämtats ur regionala modelldata från DHI Metocean Data Portal (<https://www.metocean-on-demand.com/>).

2.3 Sediment och muddringsförfarande

Sediment och planerat muddringsförfarande beskrivs av följande, baserat på erhållen information (1/2, 1/3).

Den totala volymen sediment som planeras muddras är 926 526 m³, varav 700 404 m³ i norra delen av muddringsområdet och 226 122 m³ i södra delen.

Muddringen planeras utföras inom perioden oktober till mars.

HHAB har informerat om att muddringen planeras utföras efter att en ny vågbrytare har byggts längs med den norra delen av muddringsområdet.

Sedimentundersökningar har gjorts i området med analys av kornstorleksfördelning, se 1/2 och 1/3. Materialet innehåller huvudsakligen fin sand samt ca 10% lera och silt.

Muddringen planeras ske med sugmudderverk (Trailer Suction Hopper Dredger "TSHD"), med en kapacitet om 43 300 m³/dygn (ca 1804 m³/timme). Sugmudderverket har ett så kallat "overflow" som ger ett spill vid ytan, utöver spill som sker nära botten.

De antaganden som används för att simulera sedimentspridning från muddringen beskrivs i avsnitt 3.2.1.

3 Modellbeskrivning

Modelleringen av hydrodynamik (variationer i vågor, vattenstånd, strömmar och skiktning) och sedimentspridning har utförts med hjälp av de numeriska modelleringsverktygen MIKE 3 Flow Model FM, Mud transport module samt MIKE 21 Spectral wave module. En detaljerad beskrivning av programvaran finns i /4/, /5/ och /6/.

De hydrodynamiska modelleringarna beskriver lokala djup, våg- och strömförhållanden för närområdet kring muddringen. Till de lokala modellerna med strömmar och vågor kopplas en modul för att beskriva hur spill från de muddrade sedimenten sprids av de rådande hydrodynamiska förhållandena.

I följande avsnitt beskrivs modelluppsättningen.

3.1 Hydrodynamisk modell och vågmodell

3.1.1 Modelleringsperiod

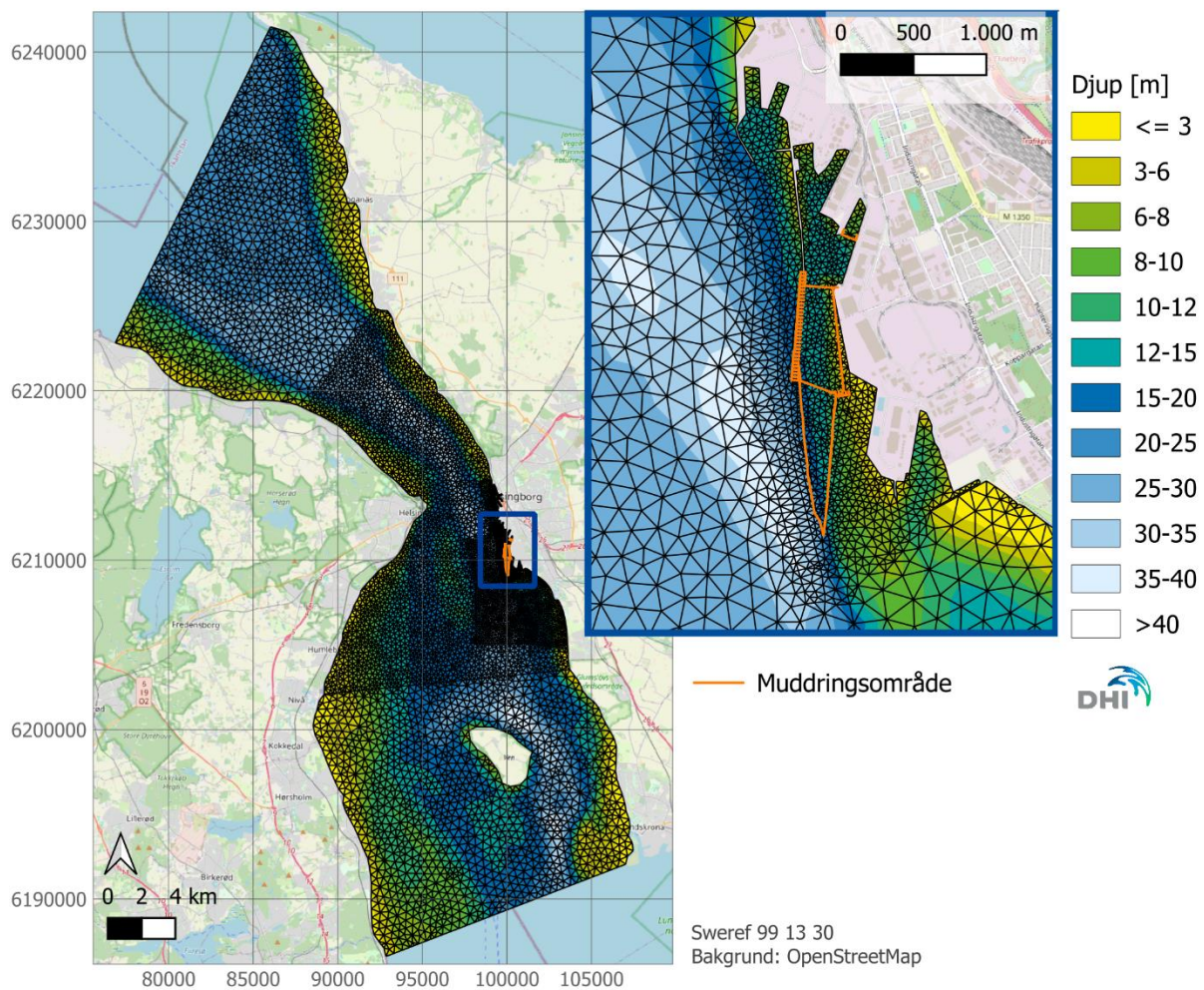
Strömnings- och vågmodellerna simulerar säsongen oktober 2019 – mars 2020. Denna period har valts som en representativ säsong för normala förhållanden. Under mitten av mars 2020 passerade dock stormen Laura över södra Sverige. SMHI har beräknat återkomsttid för byvindhastigheter som förekom under stormen till mellan 2–5 år vid Helsingborg ([Laura - mars 2020 — SMHI](#)). Det är alltså en relativt vanlig stormhändelse. Liknande återkomsttider i området kring Helsingborg har exempelvis beräknats för stormen Malik i januari 2022 och Otto i februari 2023.

3.1.2 Beräkningsnät

Den lokala modellens beräkningsnät visas i Figur 3.1.

Beräkningscellerna inom muddringsområdet har tilldelats en sidlängd om ca. 50 meter, vilket bedöms vara tillräcklig upplösning för att simulera vågornas och strömmarnas horisontella gradient i området och sedimentspridning. Upplösningen blir gradvis grövre i riktning mot modellens yttre ränder. Sidlängden på beräkningscellerna vid de yttre ränderna har storleksordningen 500 m.

Modellens vertikala upplösning består av en kombination av så kallade sigma-lager (bottenföljande) och z-lager (med en bestämd tjocklek). Sigma-lagren har ansatts i ytan och ner till ett djup om 16 m. I grunda områden närmast kusten ger dessa lager en mycket tät vertikal upplösning, för att glesa ut till en tjocklek om ungefär 1 m vardera (beroende på aktuellt vattenstånd) i områden där djupet är 16 m eller större. Vertikal upplösning vid muddringsområdet är ca 0,5–1 m. Under 16 m djup har z-lager med konstant tjocklek om 1–2 m ansatts.

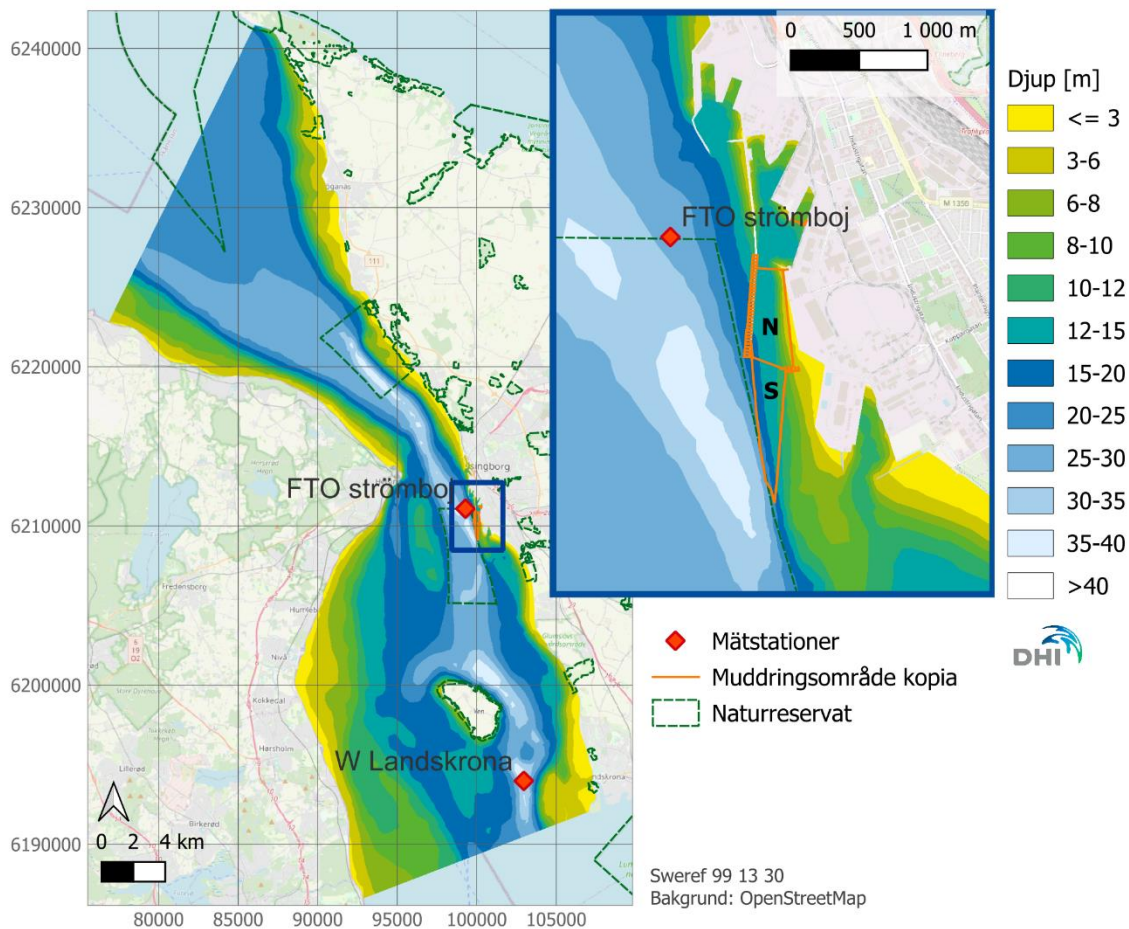


Figur 3.1 Beräkningsnät för den lokala modellen vid muddringsområdet och Helsingborgs hamn.

3.1.3 Validering

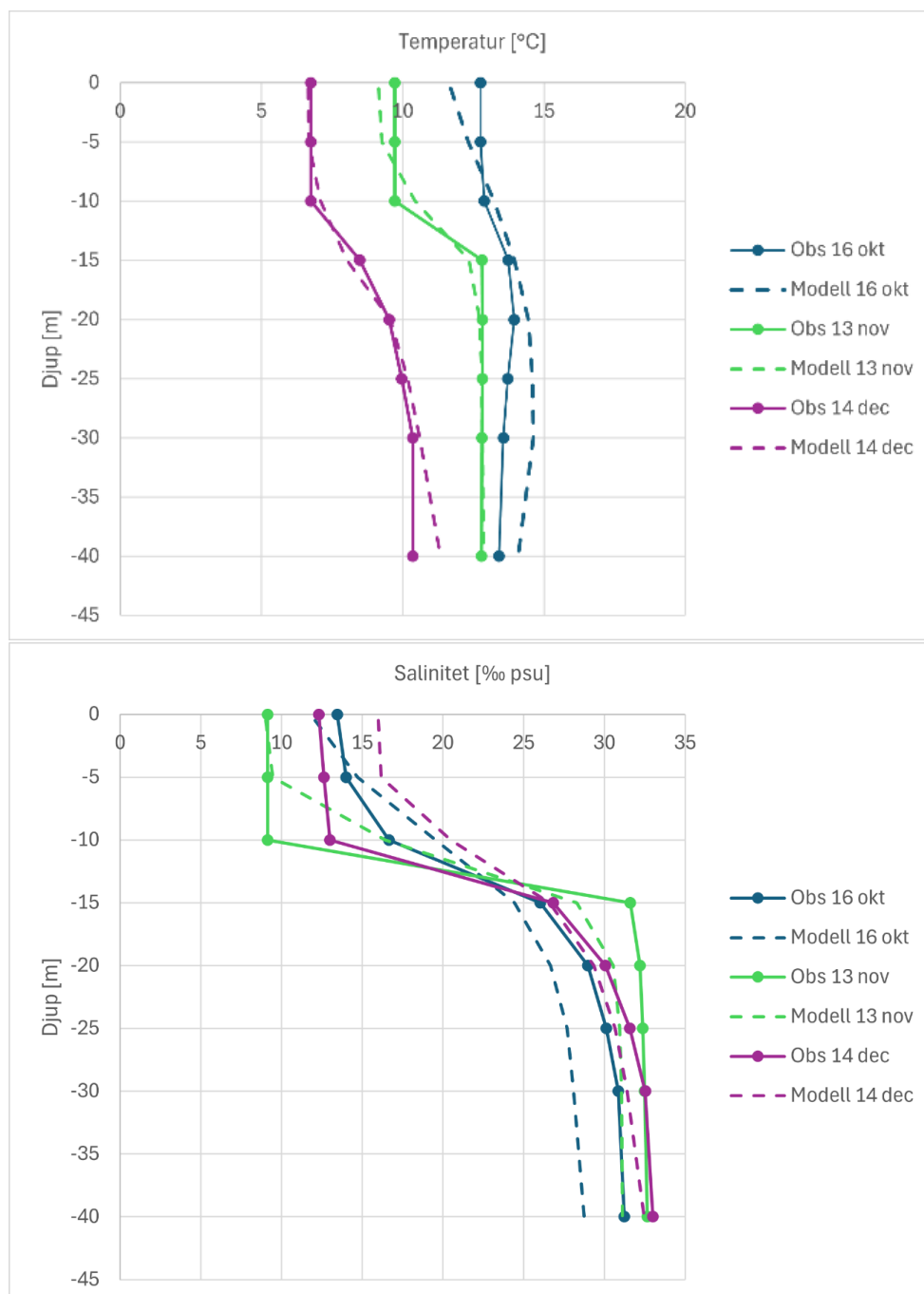
Validering av den hydrodynamiska modellen har gjorts genom att jämföra modellresultaten med observationer från området. Stationerna visas i Figur 3.2, där profiler av observerad temperatur och salinitet har hämtats från SMHI vid station W Landskrona och observerad strömhastighet och riktning har erhållits från SSPA vid FTO Strömboj.

En liknande validering av vågmodellen har inte gjorts, eftersom det inte finns några kända tillgängliga observationsdata att jämföra mot. Vågmodellen drivs dock av en regional modell som bland annat validerats vid stationer i Kattegat och i Östersjön söder om skånska sydkusten (/7/).



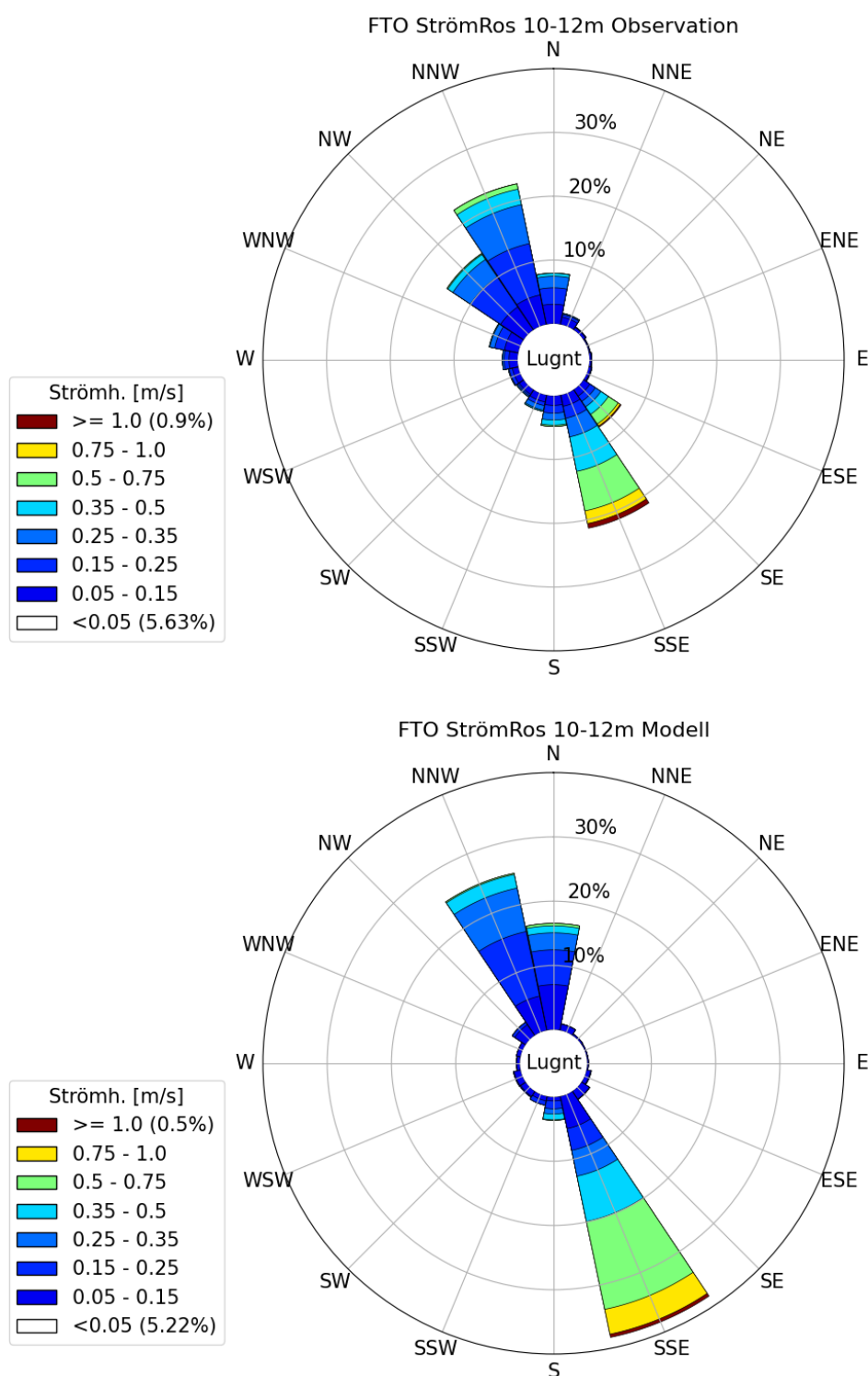
Figur 3.2 Stationerna FTO strömboj och W Landskrona .

Salinitet och temperatur har validerats i djupled mot observerade profiler vid station W Landskrona. Observerade värden har hämtats från SMHI ([SharkWeb \(smhi.se\)](https://sharkweb.smhi.se)). Observerade och modellerade profiler visas i Figur 3.3. Djupprofilerna i Figur 3.3 visar att modellen fångar skiktningen i salinitet och temperatur väl.

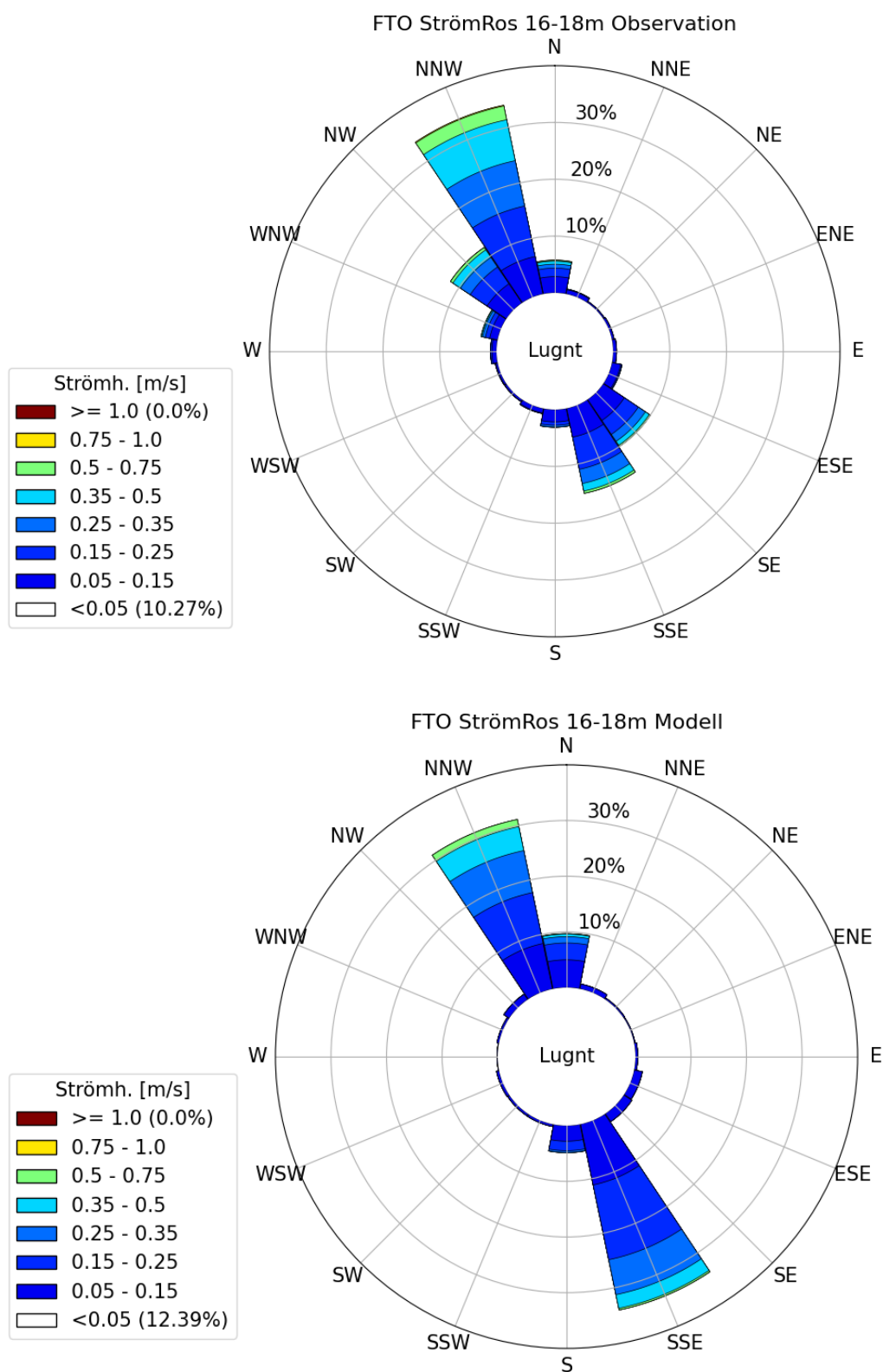


Figur 3.3 Observerade (punktmarkörer) och modellerade (streckad linje) djupprofiler av temperatur (överst) och salinitet (underst) vid station W Landskrona.

Observerad och modellerad strömshastighet och strömriktning, vid FTO strömboj utanför Sydhamnen (Figur 3.2), visas i strömrosorna i Figur 3.4 - Figur 3.5. Strömrosen i Figur 3.4 visar djupnivån 10–12 m och Figur 3.5 visar 16–18 m. Observerade data i ytlagret (över 10 m) var felaktiga och visas ej. Modellerade strömmar i strömrosorna avser en version av den hydrodynamiska modellen utan den planerade vågbrytaren. Fördelningen av strömriktningar är väl representerad i modellen. För modellscenariot som inkluderar den planerade vågbrytaren är det dock inte lämpligt att jämföra mot observerad ström vid bojen, eftersom placeringen är för nära den planerade vågbrytaren.



Figur 3.4 Fördelning av strömshastighet och riktning vid 10–12 m djup, FTO strömboj, 1 oktober – 13 december 2019. Observerad ström visas av den övre strömrosen och modellerad av den nedre.



Figur 3.5 Fördelning av strömshastighet och riktning vid 16–18 m djup, FTO strömboj, 1 oktober – 13 december 2019. Observerad ström visas av den övre strömrosen och modellerad av den nedre.

3.2 Sedimentspridningsmodell

Till vågmodellen och den hydrodynamiska modellen har en modul kopplats för att beräkna sedimentspridning från muddring vid den nya containerterminalen i Helsingborgs hamn. De antaganden som gjorts beskrivs nedan i avsnitt 3.2.1.

3.2.1 Simulering av muddring av sediment

Sedimentspridningsmodellen har satts upp baserad på erhållen information om sediment och planerat muddringsförfarande, som beskrivits i avsnitt 2.3. Representation av sediment och muddringsförfarande i modellen, med de antaganden som gjorts, beskrivs här.

Den totala muddringsvolymen är 926 526 m³. För beräkning av mängd sedimentspill vid muddring har det antagits att in situ torrdensiteten är 1600 kg/m³, baserat på erhållen information om sedimenten.

För spill som sedimenterat efter muddringen har 300 kg/m³ för nydeponerade fina sediment (ler och silt) respektive 1600 kg/m³ för nydeponerade grövre material (fin sand och grövre fraktioner) antagits. Notera att den parameter som beräknas i modelleringen är massa per kvadratmeter på botten, och den beräknade tjockleken av sedimenterat spill är styrd av de densiteter som antagits. De densiteter som ansätts i beräkningen av pålagringens tjocklek medför därmed en osäkerhet i resultaten.

Muddringsförfarandet simuleras enligt erhållen information om sugmudderverk som beskrivits i kapitel 2.3. Sugmudderverket har ett så kallat "overflow" som ger ett spill vid ytan, utöver spill som sker nära botten. Andelen spill vid botten har antagits vara 1 % av det muddrade materialet. Vid ytan har andelen spill antagits vara 20% av ler- och siltfraktionerna. Andelen spill vid ytan och botten har ansatts konservativt, för att inte underskatta grumling och pålagring från spill vid muddringen. Antagandet är baserat på erfarenhet av liknande projekt, men medför en osäkerhet till resultaten.

Muddringen utförs i kontinuerlig följd under de ca. 22 dygn som muddringsperioden pågår. Muddringsperioden har modellerats med start den 1 oktober. Perioden har valts för att simulera spridning under normala strömningsförhållanden, då muddringsarbetet kan fortlöpa utan pauser. Väderscenariot är därför representativt, men man undviker samtidigt att underskatta grumlingen i simuleringen.

I simuleringen av sedimentspridning gjordes antagandet att muddringen utförs efter att den nya vågbrytaren byggts. Att anlägga vågbrytaren innan muddringen sker är planerat tillvägagångssätt enligt HHAB.

Inga skyddsåtgärder har inkluderats i modelleringen av muddringen. Lämplighet av skyddsåtgärder (exempelvis siltgardin) hindras av strömförhållanden i området, som har för starka strömhastigheter i öppet vatten. Inuti hamnbassänger, där strömmen läas av vågbrytare, är det dock möjligt att använda skyddsåtgärder.

Fördelningen av kornstorlek som representerar spill från det muddrade materialet i modellen har baserats på erhållen information, som beskrivits i kapitel 2.3. Sedimenten representeras av tre kategorier, med fördelning och fallhastighet som listas i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Modellerad kornstorleksfördelning för muddrade sediment, med fallhastighet angiven för respektive kategori längst ned.

	Fin lera	Lera och silt	Fin sand och grövre
Modellerad kornstorleksfördelning [%]	5	5	90
Fallhastighet [mm/s]	0,05	0,5	5

4 Resultat av sedimentspridningsmodellering

I detta avsnitt presenteras resultaten för simuleringen av sedimentspridningen. Kartresultat som presenteras visar netto-sedimentation (pålagringens tjocklek på botten efter muddring), varaktighet för överskridande av 2, 10, 40 och 100 mg/l och en sammanställning av maximal grumling som förekommit på varje plats.

4.1 Netto-sedimentation

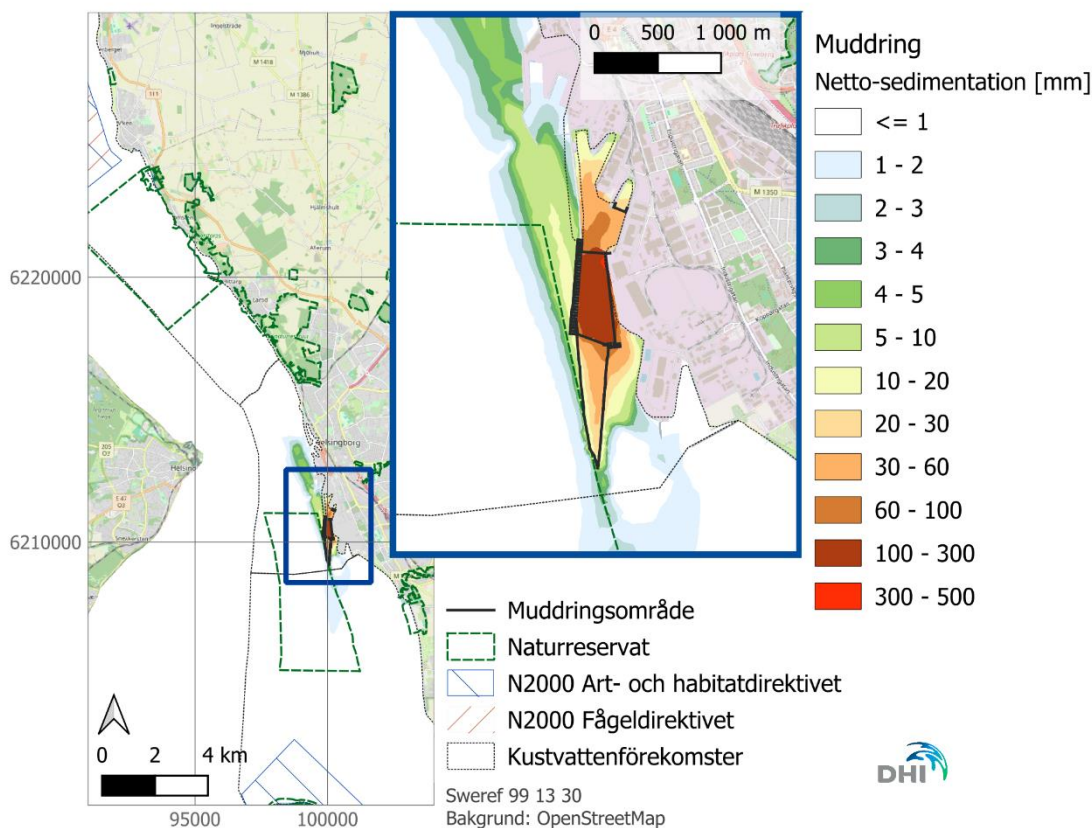
Pålagringens utbredning och tjocklek 1 månad efter muddring visas i Figur 4.1. Den beräknade pålagringen är baserad på antagandet att torrdensiteten för nydeponerat sediment från muddringen är 300 kg/m³ för de finare fraktionerna (ler och silt) respektive 1600 kg/m³ för fin sand och grövre fraktioner.

Resultaten visar att muddringen orsakar tjockast pålagring inom muddringsområdet samt i hamnområdena innanför. En del sedimentspill suspenderas dock och sprids med strömmarna i framför allt nordgående riktning längs kusten och gränsen till naturreservatet Knähaken.

Pålagring med större tjocklek än 1 mm påverkar Knähakens naturreservat, men inte övriga närliggande naturreservat eller Natura 2000-områden. Muddringen orsakar en pålagring med tjocklek 1–2 mm som täcker ca 1,1 km² i Knähakens naturreservat. Pålagring med tjocklek 2–10 mm täcker ca 0,3 km² av naturreservatet (ca 2 % av Knähakens area). Knähakens naturreservat har en total area om ca 13,6 km². Pålagring med tjockleken 10 mm förekommer i Knähaken där gränsen till muddringsområdet möter naturreservatets gräns. Resterande pålagring i naturreservatet är tunnare.

Den tunnare pålagringen som sker utanför muddringsområdena orsakas primärt av de mindre kornstorlekarna i sedimentspill, som lätt suspenderas av strömmarna. De finaste kornstorlekarna i spillet suspenderas och transporteras bort av de starka strömmar som uppstår i Öresund, och bidrar därför inte till pålagringen i närområdet eftersom de är för lätta för att kunna sedimentera i dessa strömförhållanden. Fin sand och grövre fraktioner sedimenterar snabbare och skapar framför allt pålagring i muddringsområdet och längs gränserna till den södra delen av muddringsområdet.

I den här studien har spridning av spill från muddringen modellerats. Eventuell resuspension av sedimenterade partiklar som kan ske vid möjliga stormtillfällen efter tiden för kartbilden i Figur 4.1 (en månad efter muddringsperiodens slut) är inte inkluderad här. Figur 4.1 ska därför inte tolkas som en definitiv slutlig bild, eftersom sedimentdynamiken i området naturligt har en viss variation.



Figur 4.1 Netto-sedimentation en månad efter avslutad muddring.

4.2 Varaktighet

Figur 4.2 till Figur 4.5 illustrerar den sammanlagda tiden då grumlingen överstiger 2, 10, 40 respektive 100 mg/l. Kartresultaten visar utbredningen av påverkan och hur länge området påverkas utifrån de olika koncentrationnivåerna. De högre koncentrationnivåerna har en mindre rumslig utbredning och kortare varaktighet, på grund av att strömmarna transporterar bort en del suspenderat material och späder ut plymen, samt att delar av det suspenderade materialet faller ur vattenmassan när det sedimenterar ner till botten.

Grumling som överstiger 2 mg/l med en sammanlagd tid på mer än 0,25 dygn (6 timmar) sträcker sig i norr- och sydgående riktning från muddringen, och når de närliggande naturreservaten Knähaken, Pålsjö och Grollegrund (i norr) samt Rååns dalgång och Örby ängar (i söder), se Figur 4.2. Natura 2000-området Nordvästra Skånes havsområde, i höjd med Viken norr om Helsingborg, nås också i liten grad (i sydöstra hörnet av Natura 2000-området). Natura 2000-områden har dock, till skillnad från naturreservat, inte skarpa gränser utan upphör med den skyddade naturtypen, vilken kan sträcka sig utanför polygonerna.

I Öresund har normala bakgrundsvärden om 0–2 FTU (ca 0–2 mg/l) vid lugnt väder rapporterats. Vid stormiga perioder under vintern kan dock grumlingen nå ca 5–15 mg/l i området, och lokalt upp mot ca 20–40 mg/l (/8/).

Muddringen innebär att en area om ca 2,8 km² inom Knähakens naturreservat påverkas av en sammanlagd varaktighet på 0,25–4 dygn då grumlingen vid ytan överstiger 10 mg/l. Denna påverkan sträcker sig längs naturreservatets nordöstra del, se Figur 4.3. Mindre än 0,1 km² av naturreservatet påverkas därtill av grumlingsnivåer överstigande 10 mg/l i ytan under en sammanlagd varaktighet om ca 4–7 dygn, längs nordöstra gränsen nära muddringsområdet. Vid botten påverkas ca 0,1 km² av Knähakens area av grumling över 10 mg/l under en sammanlagd tid om 0,25–2 dygn.

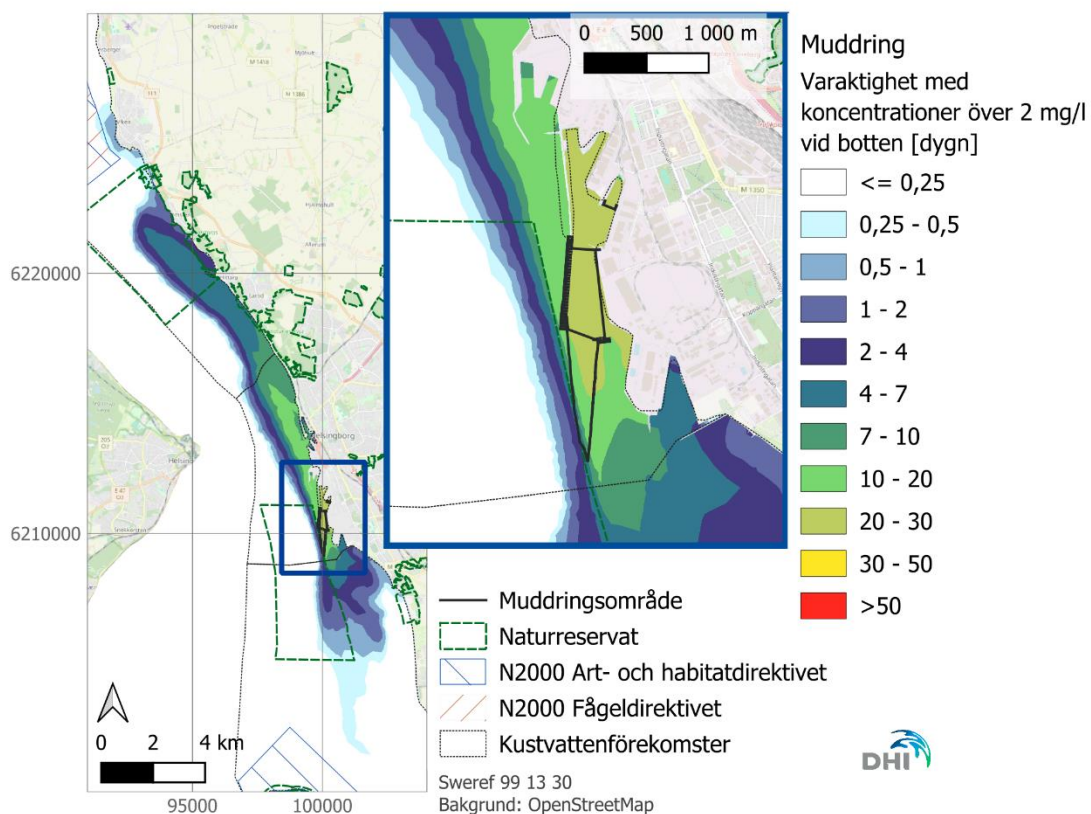
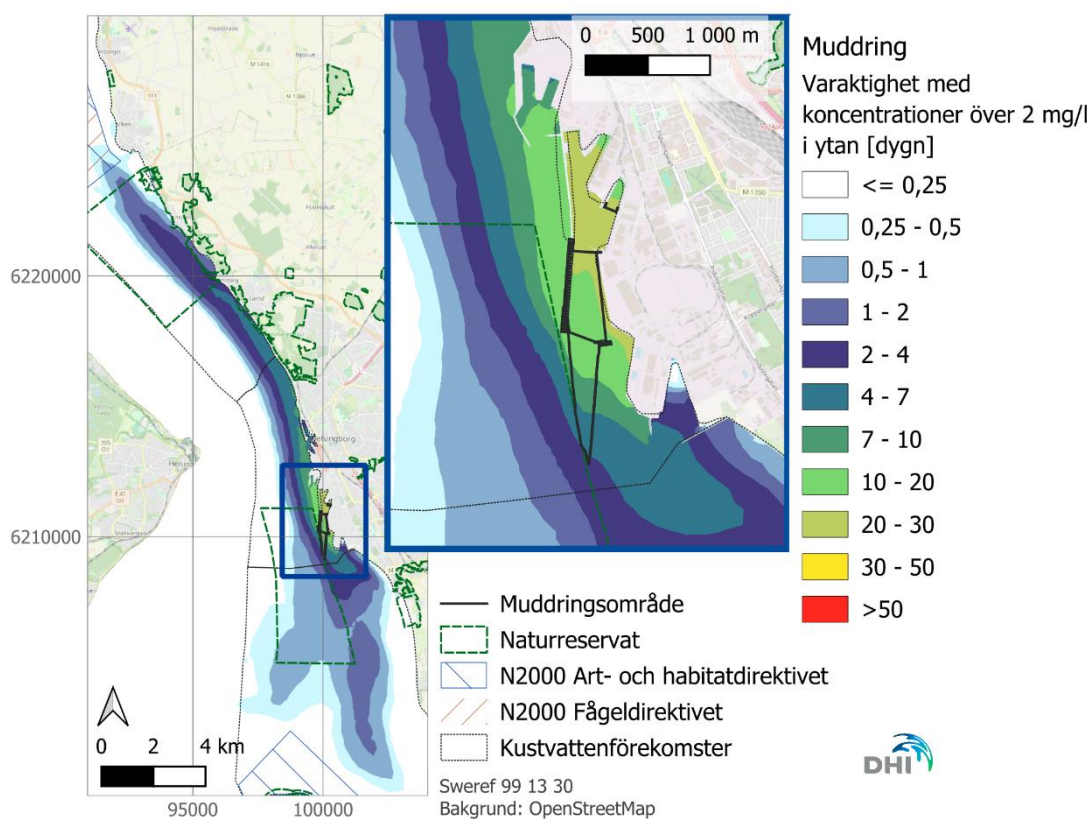
Vid Knähakens gräns som vetter mot muddringsområdet överstiger grumlingen 40 mg/l under sammanlagt upp mot ca 4 dygn vid ytan, men mindre än 0,25 dygn (6 timmar) vid botten (Figur 4.4). Ca 0,7 km² av Knähakens area påverkas av grumling över 40 mg/l i ytan under en sammanlagd varaktighet om mellan 0,25–4 dygn.

Lokalt vid Knähakens gräns som vetter mot muddringsområdet överstiger grumlingen 100 mg/l under sammanlagt upp mot ca 2 dygn vid ytan. Vid botten är motsvarande varaktighet mindre än 0,25 dygn (6 timmar) (Figur 4.5).

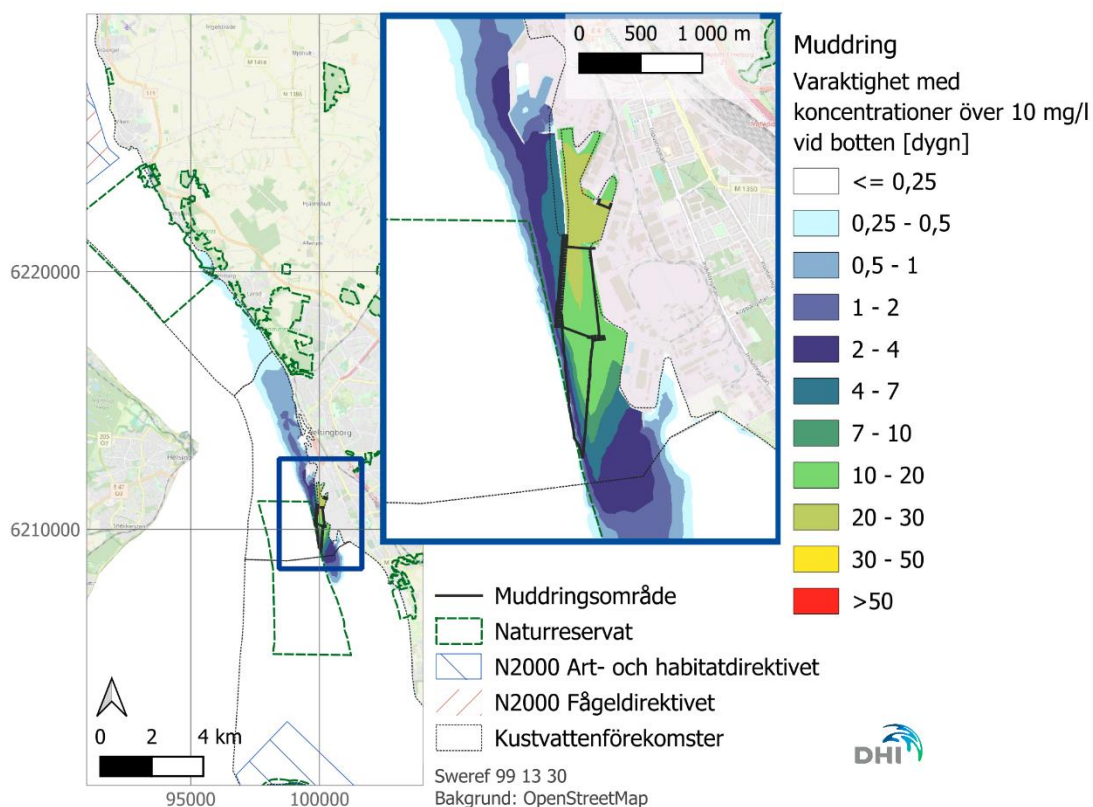
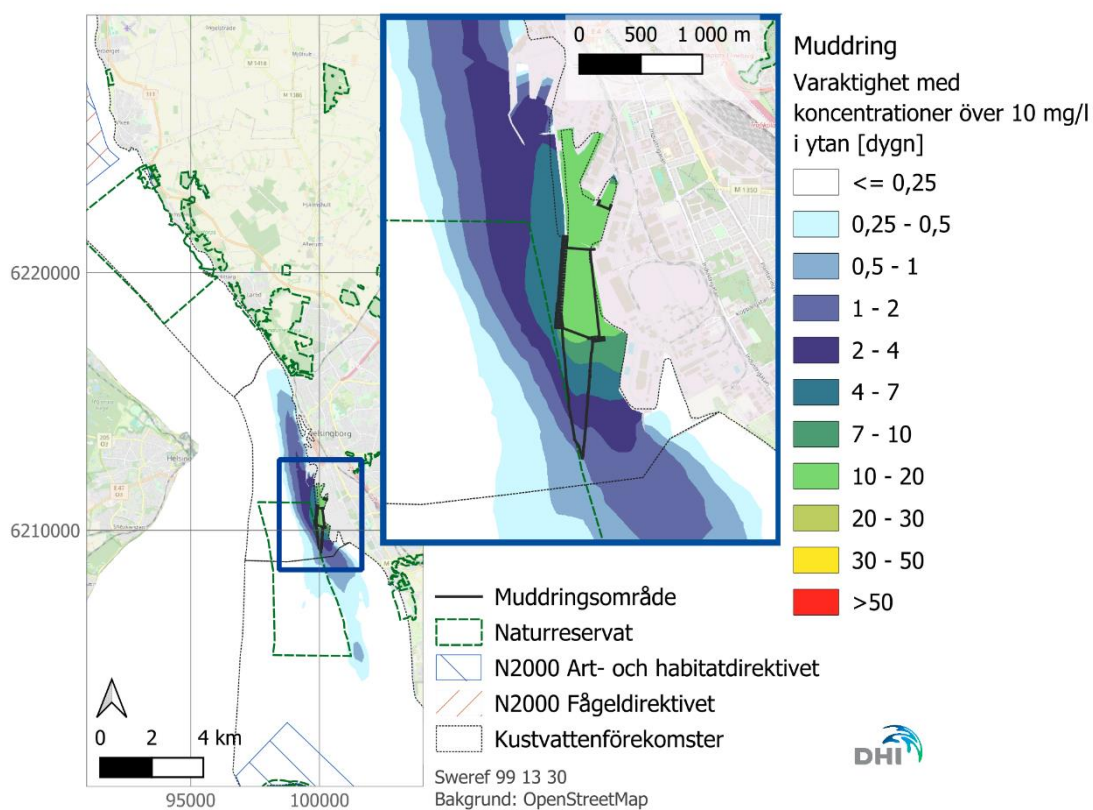
Kartfigurer för varaktigheter över 1000 mg/l visas ej eftersom den sammanlagda varaktigheten är mindre än 6 timmar utanför hamnbassängen och muddringsområdet.

Sammanlagd andel av tiden under muddringsperioden då grumlingen överskrider olika nivåer har illustrerats för fyra utvärderingspunkter i Figur 4.6. Punkten F23 ligger i muddringsområdet och visualiseras med en annan skala än övriga punkter, eftersom högre nivåer av grumling förekommer i muddringsområdet.

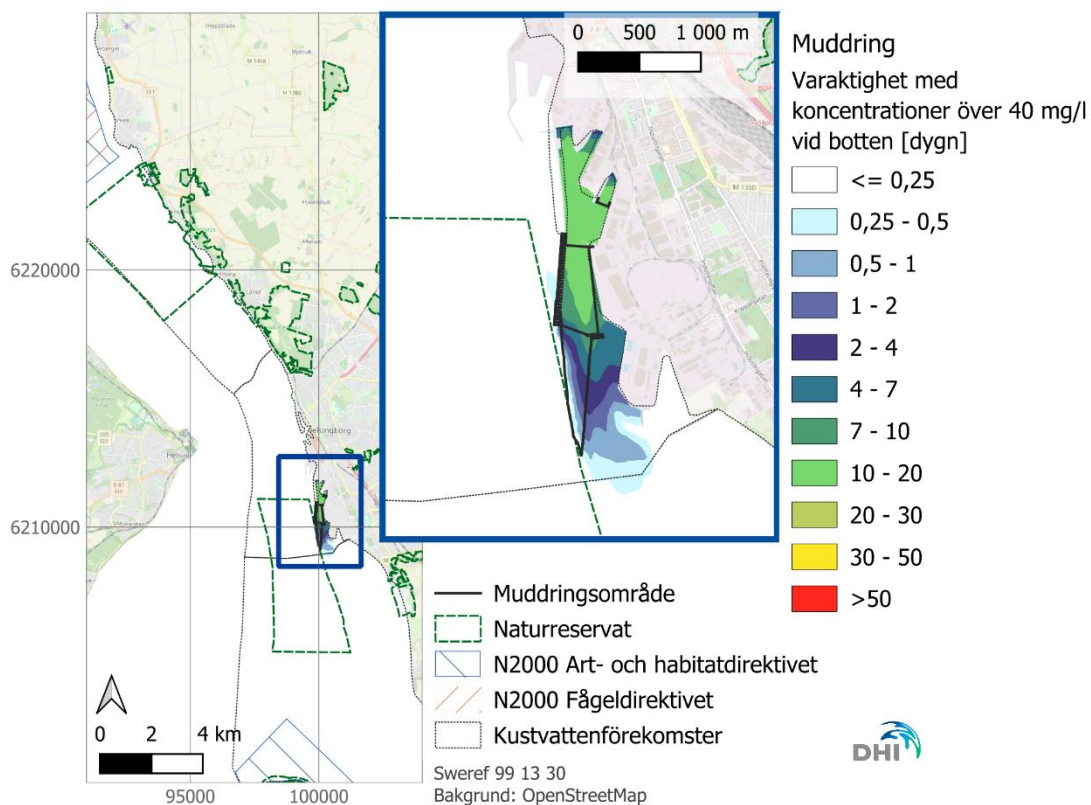
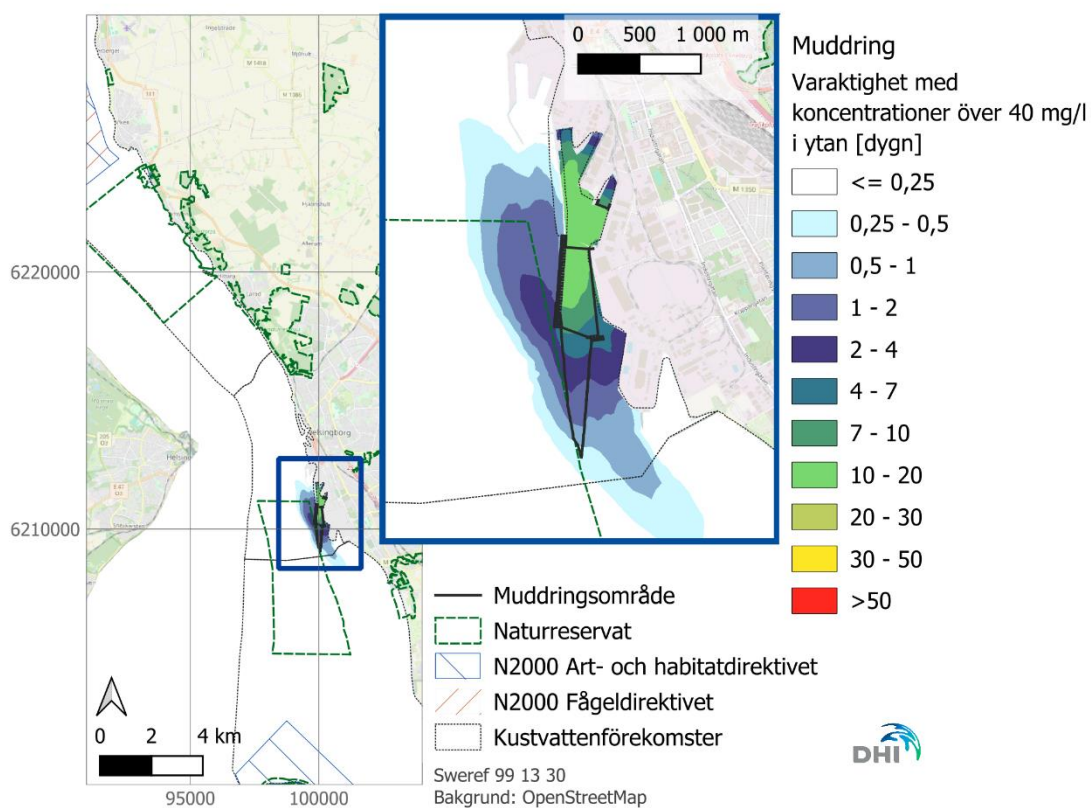
Varaktigheten då grumlingen överstiger en viss nivå är inte nödvändigtvis en sammanhängande period. Tidsserier för koncentrationen suspenderat material vid de fyra utvärderingspunkterna i Figur 4.6 visas i Figur 4.7. Vid F23 (i muddringsområdet) varierar grumlingen kraftigt under muddringsperioden, med ett flertal korta toppar då grumlingen når nivåer över 500 mg/l i ytan och 100 mg/l vid botten. Den största delen av muddringsperioden ligger grumlingen vid F23 dock på nivåer lägre än 100 mg/l, både i ytan och vid botten. Grumlingen från muddringen är generellt lägre än 10 mg/l vid punkterna P4, Knähaken_SO och Grollegrund_SO (det vill säga punkterna utanför muddringsområdet). Vid P4 och Knähaken_SO når enstaka, mycket korta toppar någon gång över 20 mg/l i ytan. Men vid botten är topparna lägre än 5 mg/l vid P4 och Knähaken_SO. Vid Grollegrund_SO når grumlingstopparna nivåer mellan 5–10 mg/l (vid både ytan och botten).



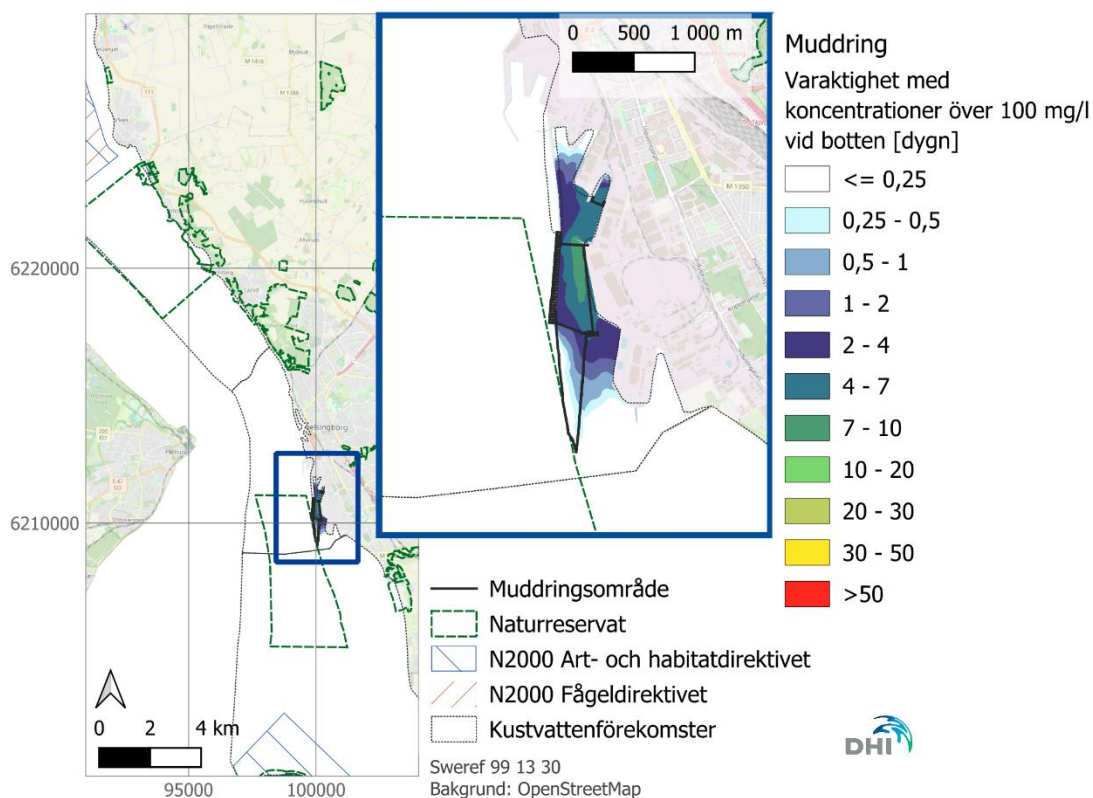
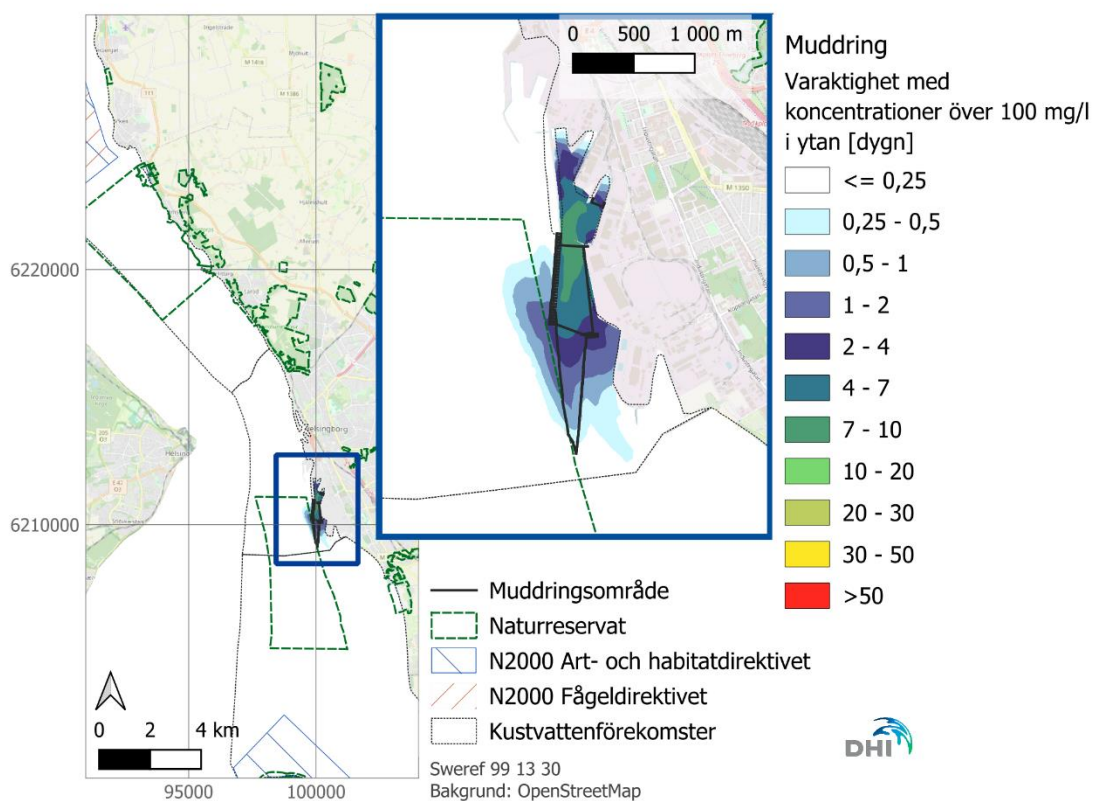
Figur 4.2 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 2 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).



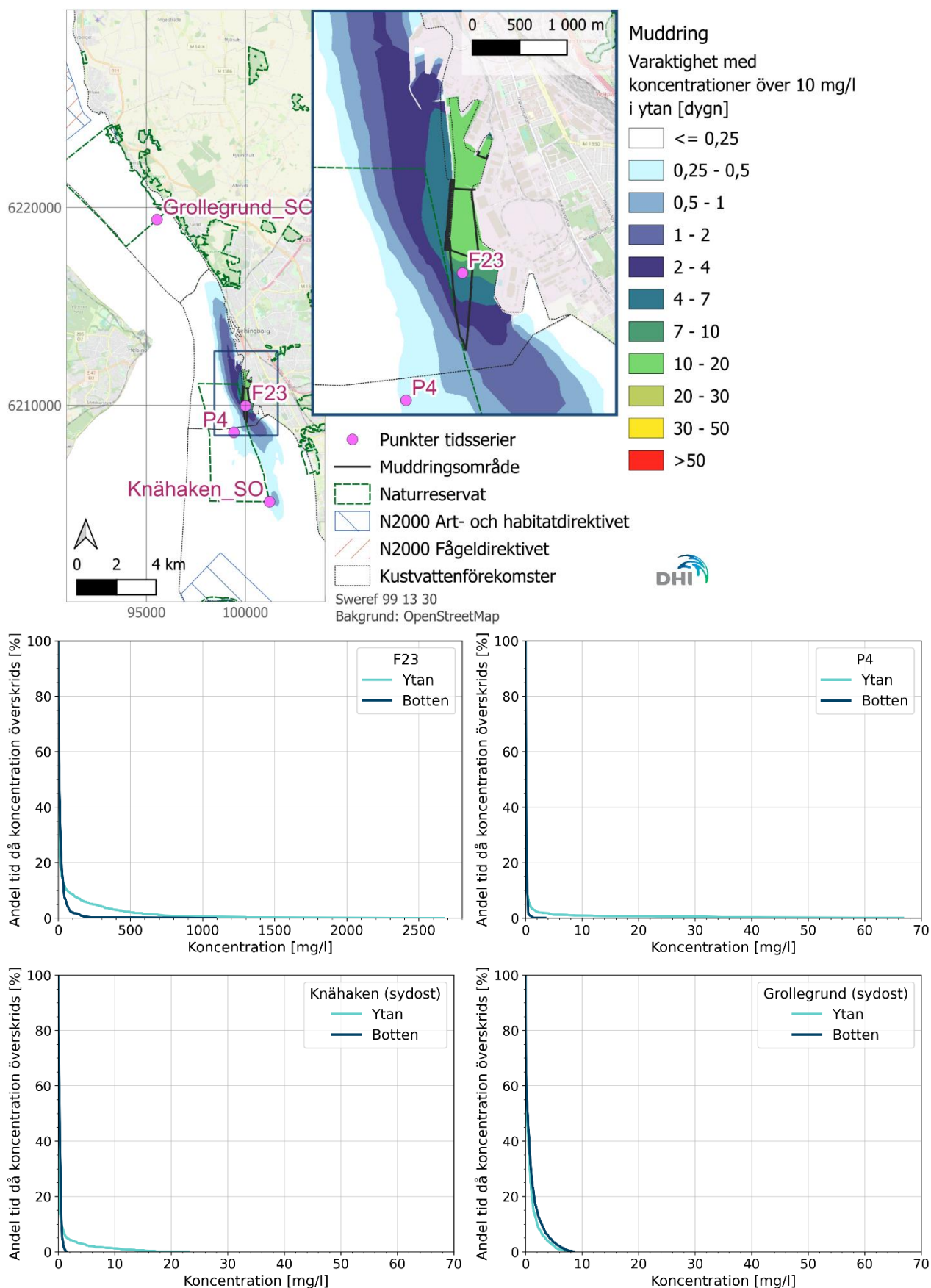
Figur 4.3 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 10 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).



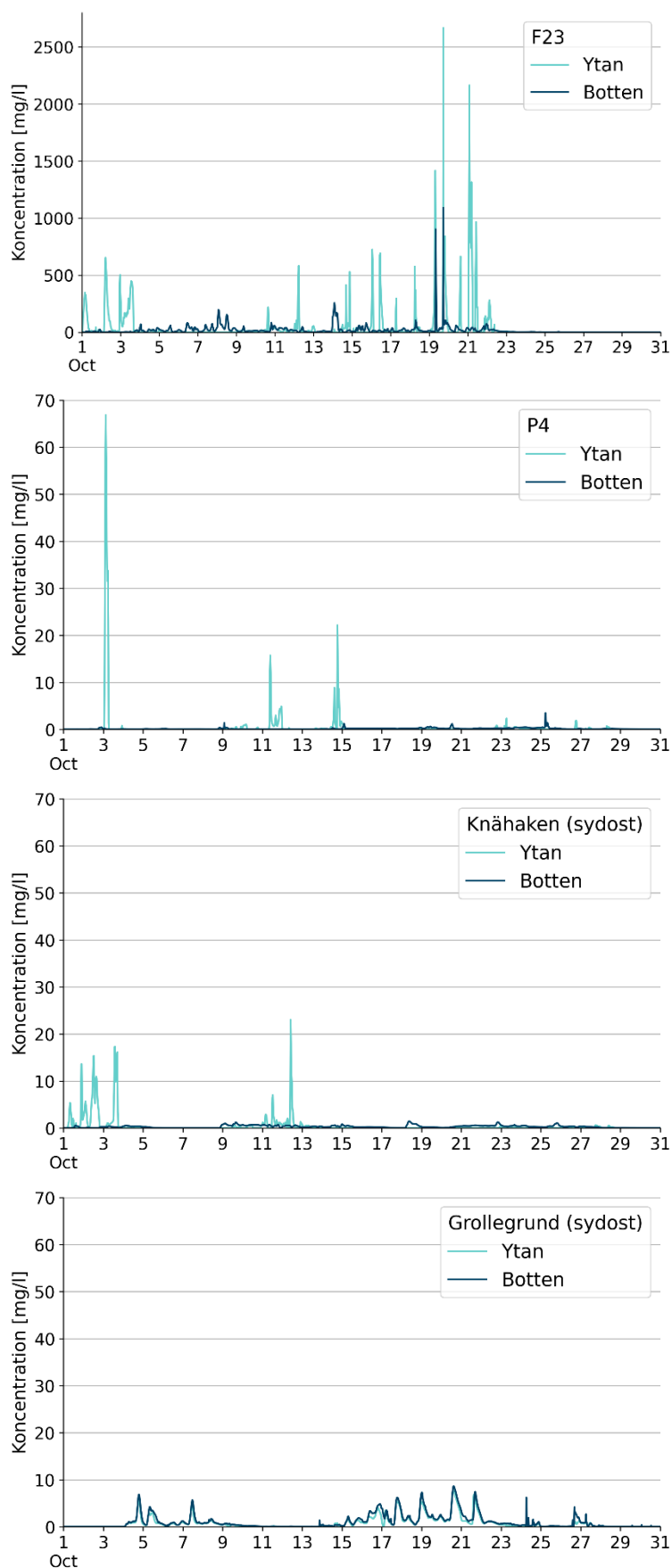
Figur 4.4 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 40 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).



Figur 4.5 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material överstiger 100 mg/l, vid ytan (överst) och botten (underst).



Figur 4.6 Andel av tid då grumlingen överskrider olika koncentrationsnivåer vid fyra punkter (markerade i översiktskarta, överst). Tidsserier för koncentration suspenderat sediment vid respektive punkt visas i Figur 4.7.



Figur 4.7 Tidsserier över koncentration suspenderat sediment, i de fyra punkter som visas i Figur 4.6.

4.3 Maximal grumling

Figur 4.8 visar en sammanställning över maximal grumling som förekommit på respektive plats under simuleringen. Kartfiguren har genererats genom att registrera den maximala (99,9 percentil) koncentration av suspenderat material som förekommit på varje enskild plats i modellen. Kartfigurerna är alltså en sammanställning av maximal grumling som inträffat i respektive beräkningscell under simuleringen. Figuren representerar därmed inte en enskild tidpunkt.

När man tolkar resultaten i Figur 4.8 är det viktigt att se på resultaten om varaktighet, se avsnitt 4.2, för att få en uppfattning om hur länge olika koncentrationer av suspenderat material förekommer.

De maximala koncentrationer som orsakas av muddringen är generellt högre vid ytan. Maximal grumling om 10–20 mg/l har förekommit vid ytan någon gång i en sammanlagd area om ca 2,5 km² inom naturreservatet Knähaken (ca 0,1 km² vid botten). Maximal grumling om 20–100 mg/l har förekommit vid ytan i en sammanlagd area om ca 1 km² inom naturreservatet Knähaken (grönt och ljusgrönt i färgskalan i Figur 4.8). Maximal grumling om 100–500 mg/l har förekommit vid ytan i en sammanlagd area om ca 0,3 km² inom Knähaken (vid gränsen som vetter mot muddringsområdet).

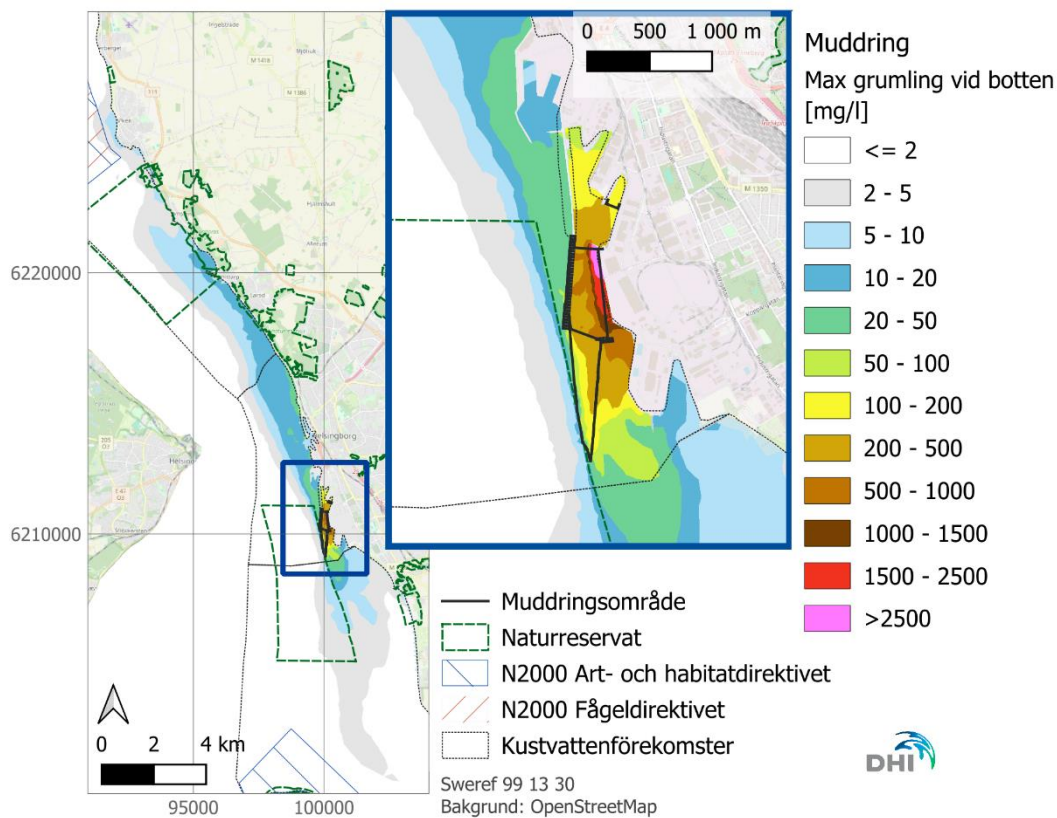
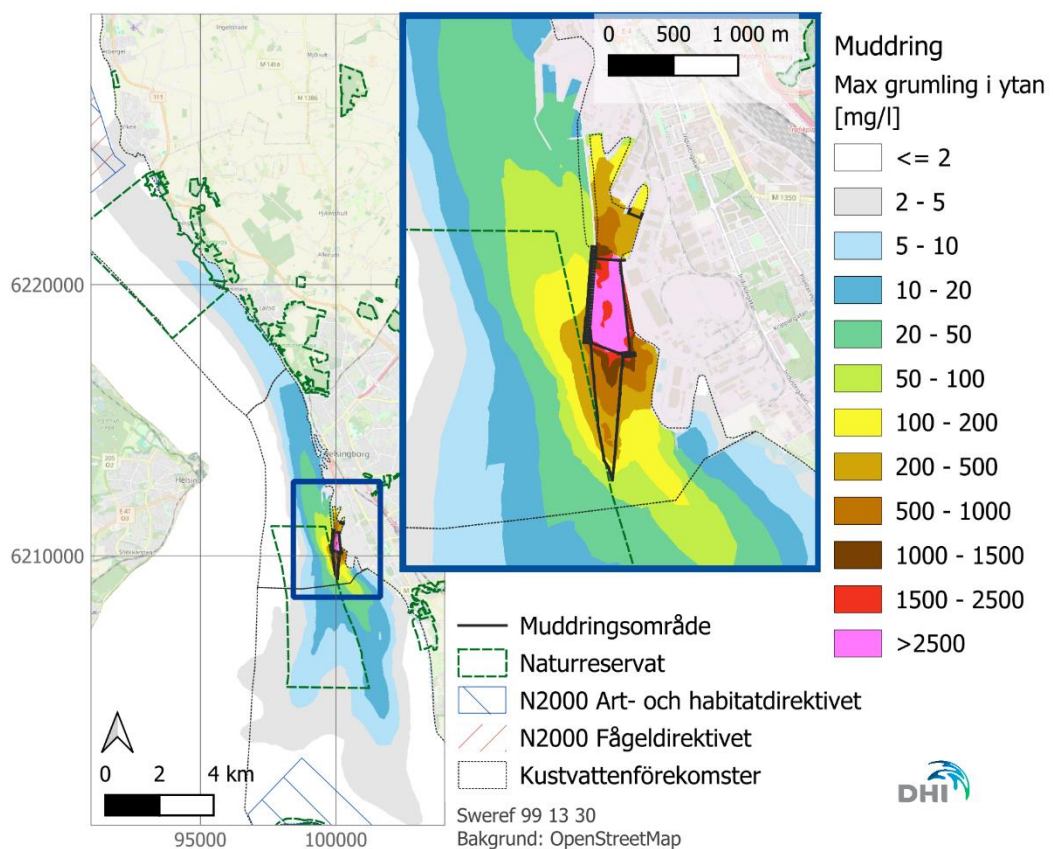
Den längsta varaktigheten (sammanlagt 4–7 dygn) för grumling i ytan över 10 mg/l i Knähaken, täcker mindre än 0,1 km² av naturreservatets area (Kapitel 4.2, Figur 4.3).

Vid botten är de maximala koncentrationerna mer begränsade i Knähaken än vid ytan. Detta beror på grumlingen från spill av ler och silt i ytan (från muddringsverkets "overflow"), som är större än spillet vid botten och dessutom hålls i suspension längre (eftersom spillet vid ytan innehåller en högre andel finmaterial). Lokalt vid Knähakens gräns som vetter mot muddringsområdet förekommer en maximal grumling om upp mot 50 mg/l vid botten någon gång under simuleringen. Ca 0,1 km² av Knähakens area påverkas av grumling över 10 mg/l vid botten under en sammanlagd tid om 0,25–2 dygn (Kapitel 4.2, Figur 4.3).

Dock förekommer maximal grumling om upp mot 10–20 mg/l längre norrut vid botten än vid ytan (mörkare blå färg i Figur 4.8). Detta beror på att spillet av finmaterial i ytan faller genom vattenkolumnen samtidigt som det sprids norrut med strömmarna. När spillet når de grunda områdena längs kusten i Pålsjö och Grollegrunds naturreservat, bidrar det till högre maximala grumlingsnivåer vid botten i högre utsträckning än i ytan. Maximala koncentrationer om upp mot 10–26 mg/l vid botten når Pålsjö naturreservat och upp mot 10–21 mg/l når Grollegrunds naturreservat. Varaktigheten vid botten i Pålsjö och Grollegrunds naturreservat för koncentrationer över 10 mg/l är mindre än ett dygn (Figur 4.3).

Maximal grumling om upp mot 2–10 mg/l vid botten förekommer någon gång inom Natura 2000-området Nordvästra Skånes havsområde, norr om Helsingborg. Men den sammanlagda varaktigheten för koncentrationer över 2 mg/l som når Nordvästra Skånes havsområde är mindre än 0,5 dygn (Figur 4.2).

Maximala koncentrationer som når Natura 2000-området Havet kring ven (söder om Helsingborg) ligger under 2 mg/l. Natura 2000-områden har dock inte skarpa gränser, utan upphör med den skyddade naturtypen.



Figur 4.8 Sammanställning av maximala koncentrationer suspenderat sediment som förekommit under simuleringen, vid ytan (överst) och botten (underst).

5 Bottenskjuvspänning

När man förändrar djupförhållanden eller etablerar nya konstruktioner i vattenmiljön kan en lokal påverkan på vågor och strömhastighet ske, genom exempelvis läande effekter. Den lokala förändringen av vågor och strömmar kan ge en följd effekt på sedimentdynamiken i närområdet. Transporten av sediment beror på vilken bottenskjuvspänning som inträffar (från vågor och strömmar) samt sedimentens egenskaper och kornstorlekar.

Bottenskjuvspänning från vågor och strömmar har beräknats för nuläget och för scenariot med ny vågbrytare och muddring. I beräkningen har magnituderna från vågor och strömmar adderats, vilket ger en konservativ skattning av bottenskjuvspänningen (eftersom bottenskjuvspänning från vågor och strömmar inte alltid verkar i samma riktning).

Figur 5.1 visar medelvärdet av den sammanlagda skjuvspänningen under det modellerade vinterhalvåret, för befintlig hamn (överst) och för scenariot med ny vågbrytare och muddring (underst). Medelvärdet över tid är mycket likt för de två scenarierna, dock med ett något lägre medelvärde i scenariot med den nya vågbrytaren och muddringen i grundområdet söder om bulkhamnen (sydost om muddringsområdet).

Figur 5.2 visar maximal sammanlagd bottenskjuvspänning under det modellerade vinterhalvåret, för befintlig hamn (överst) och för scenariot med ny vågbrytare och muddring (underst). Kartan är en sammanställning av det maximala värdet på varje plats och representerar inte en enskild händelse. Kartan över maximal sammanlagd bottenskjuvspänning är mycket lik för de två scenarierna, förutom i grundområdet söder om bulkhamnen (sydost om muddringsområdet). De maximala bottenskjuvspänningarna som förekommit i grundområdet sydost om muddringen är något lägre än för referensfallet med befintlig hamn.

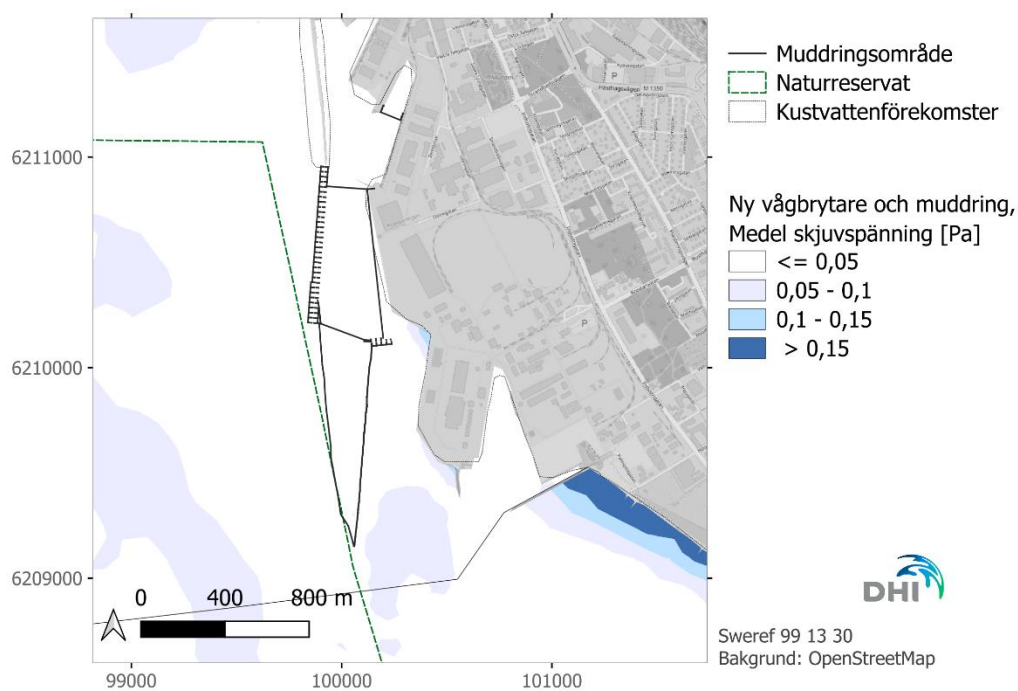
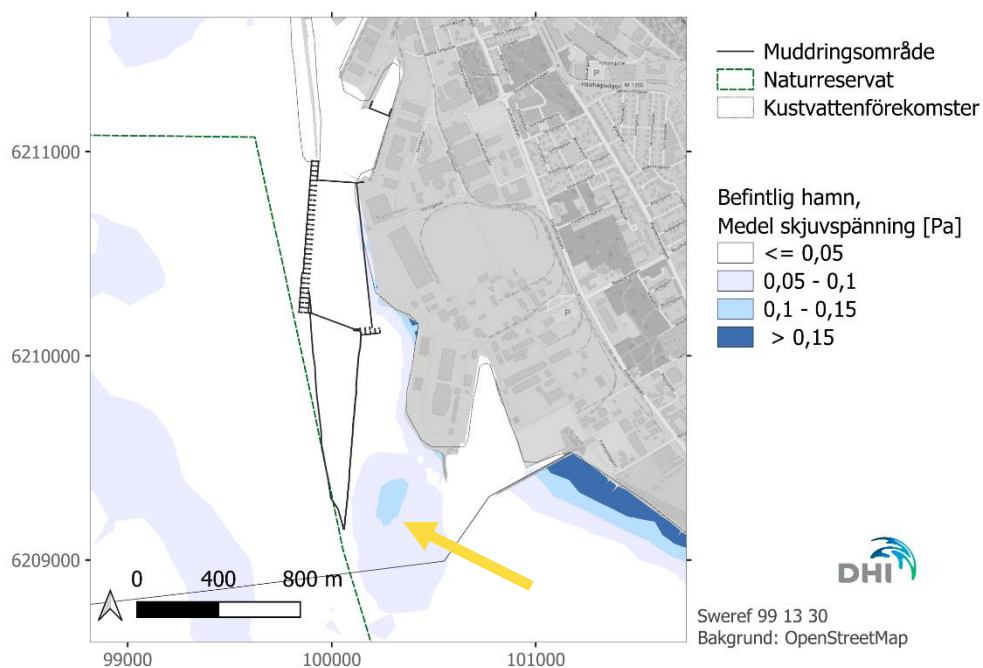
Det ökade djupet efter muddringen ger generellt en minskning i bottenskjuvspänning (i det muddrade området) eftersom inducerad bottenskjuvspänning från ytströmmar och vågornas rörelser avtar med djupet.

Vågbrytaren ger en läande effekt vid tillfällen med nordligt inkommande vågor och sydgående strömmar.

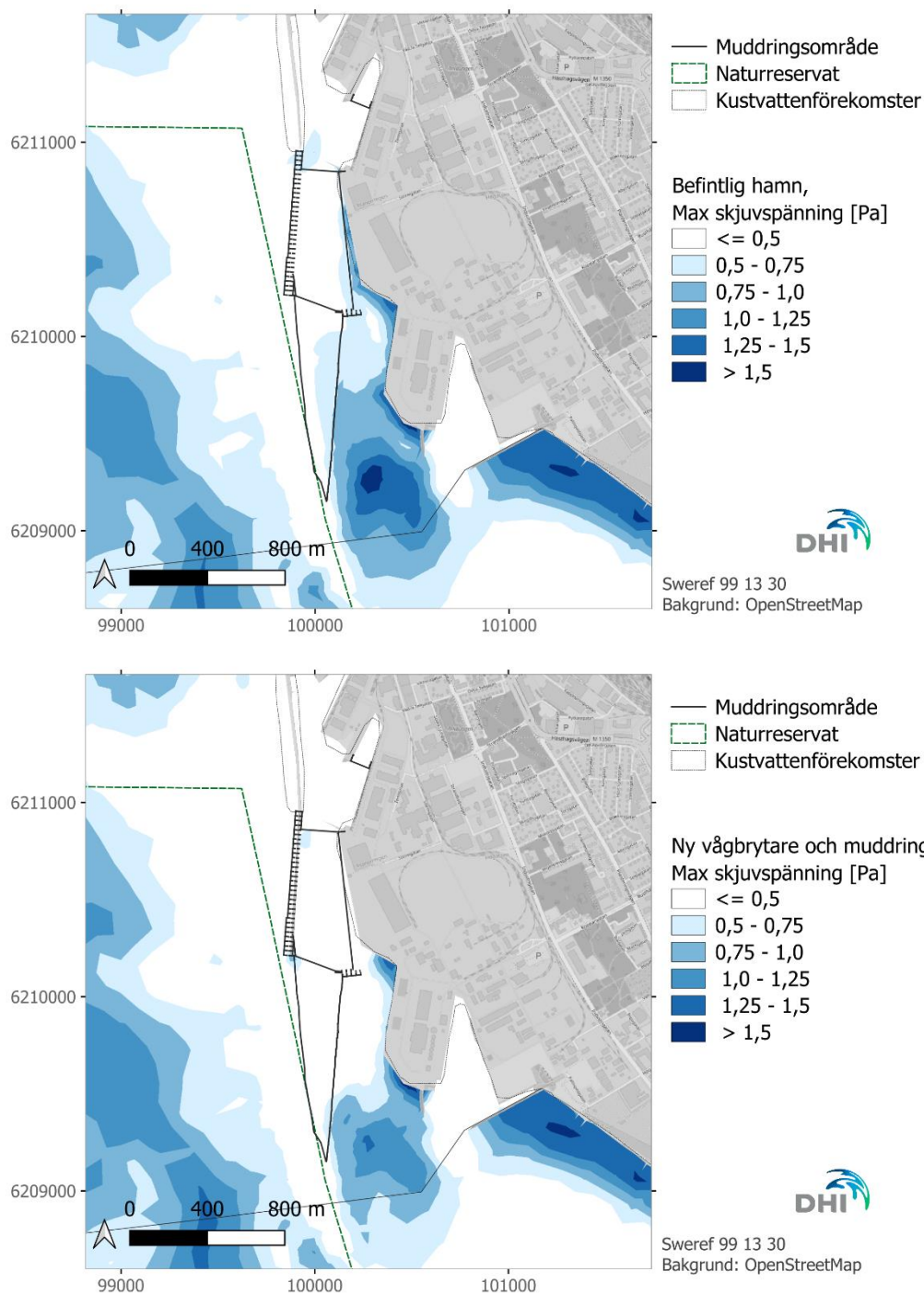
En minskad bottenskjuvspänning kan bidra till minskad resuspension och att sedimentpartiklar lättare kan deponera, om de läande effekterna är tillräckligt stora.

De mest lättroderade kornstorlekarna har en kritisk bottenskjuvspänning om ungefär $0,1 \text{ N/m}^2$ (Pa). Det är endast ett mycket litet område (mindre än $0,03 \text{ km}^2$) sydost om muddringsområdet, där medelvärdet av bottenskjuvspänningen förändras från över $0,1 \text{ N/m}^2$ till strax under $0,1 \text{ N/m}^2$ (Figur 5.1).

De maximalt förekommande bottenskjuvspänningarna förändras i något större grad sydost om muddringsområdet, men vid dessa tillfällen är bottenskjuvspänningen ändå så pass hög att erosion av ytsediment kan ske i både referensfallet med befintlig hamn och i scenariot med ny vågbrytare och muddring.



Figur 5.1 Medelskjuvspänning för befintlig hamn (överst) och för scenariot med vågbrytare och muddrat djup (underst). Gul pil markerar område söder om Bulkhamnen där medlet är 0,1–0,15 N/m² för befintlig hamn.



Figur 5.2 Max skjuvspänning för befintlig hamn (överst) och för scenariot med ny vågbrytare och muddrat djup (underst).

6 Referenser

- /1/ Saha, Suranjana, and Coauthors, “The NCEP Climate Forecast System Version 2”, 2014. *J. Climate*, **27**, 2185-2208 (DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1).
- /2/ Rejlers, “Markteknisk undersökningsrapport Geoteknik (MUR/Geo) – Ny Containerterminal Helsingborg”. 2023.
- /3/ Sweco, “Dredging, filling and dumping operations in Helsingborg harbour development”, 2025.
- /4/ DHI, “Scientific documentation of MIKE 3 Flow Model FM”, 2021.
- /5/ DHI, “MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Mud Transport Module – Scientific documentation”, 2023. [MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Mud Transport Module \(mikepoweredbydhi.help\)](#)
- /6/ DHI, “MIKE21 – Spectral Wave Module – Scientific Documentation”, 2022. [MIKE 21 - Spectral Wave Module](#)
- /7/ DHI, “North Europe”, <https://www.metocean-on-demand.com/>, 2021.
- /8/ Valeur J.R., Jensen, A. “Sedimentological research as a basis for environmental management: The Øresund fixed Link”, 2001. *The Science of the Total Environment*, 266, 281-289.

