

Modellering av sedimentspridning från dumpning

Modellerad påverkan från dumpning

Slutlig 3.0

2025-07-21

Framtagen för: Helsingborgs Hamn

Modellering av sedimentspridning från dumpning

Modellerad påverkan från dumpning

Slutlig 3.0

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:	2025-07-21
Revision:	Slutlig 3.0
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 dumpning.docx

Sammanfattning

DHI har på uppdrag av Helsingborgs Hamn modellerat sedimentspridning från dumpning av muddringsmassor, som planeras tas upp vid en ny containerterminal i södra delen av Helsingborgs hamn och dumpas utanför kusten väster om Halmstad. Den här rapporten beskriver modellresultaten och är framtagen som underlag till MKB för dumpning.

Modelleringen av sedimentspridning har utförts med hjälp av en hydrodynamisk tredimensionell modell, som representerar variationer i strömförhållanden och skiktning i närområdet kring den planerade dumpningen. Till den hydrodynamiska modellen kopplas en modul som beräknar hur de dumpade sedimenten sjunker genom vattenmassan, hur den dumpade volymen breder ut sig över botten, samt hur en del sediment som sprids med strömmarna, och skapar en grumlande plym som påverkar närområdet. Spridningsberäkningarna visar vilka koncentrationer av suspenderat material utöver bakgrunds nivå som kan uppstå vid dumpningen, hur varaktig grumlingen är, samt var sedimentation sker och hur tjock pålagringen blir.

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

Modellresultaten för sedimentspridning från dumpning visar att:

- Det närliggande Natura 2000-området (Nordvästra Skånes havsområde) och naturreservatet (Skånska Kattegatt), söder om dumpningsområdena, påverkas i olika grad beroende på vid vilken plats dumpningen sker. Det är en andel av Natura 2000-området, samt gränsen till detta, som påverkas av grumling och sedimentation. I scenariot med dumpning vid det södra området sträcker sig dessutom låga varaktigheter för låga koncentrationer till naturreservaten Hallands Väderö och Södra Bjärekusten. Påverkan sträcker sig i princip inte till andra skyddade naturområden (exempelvis väster om dumpningsområdena), vilket beror på avståndet till dumpningarna samt att strömmarna framför allt sprider sedimentspill längs den generella riktningen av de lokala djupkonturerna (sydost - nordväst).
- Netto-sedimentationen ger en pålagring i nordvästlig samt sydostlig riktning från dumpningen. Pålagring som orsakas av dumpning vid det norra området har en beräknad tjocklek om mindre än 1 mm vid gränsen till Natura 2000-området Nordvästra Skånes havsområde. Det södra dumpningsområdet ligger precis intill gränsen till Natura 2000-området och beräknas orsaka en pålagring med tjocklek upp mot ca 80 mm lokalt vid gränsen. Pålagringskonturen med beräknad tjocklek 1 mm sträcker sig ca 8 km in i Natura 2000-området, vid dumpning i det södra området.
- Grumlingen är låg vid ytan (mindre än 2 mg/l) och störst nära botten.
- Vid dumpning i det norra området har en maximal grumling om 10–33 mg/l förekommit vid botten någon gång i norra delen av Natura 2000 Nordvästra Skånes havsområde. Ca 9 km² inom Natura 2000-området (nära den norra gränsen) påverkas av en sammanlagd varaktighet på 0,25–1 dygn för grumling vid botten över 10 mg/l, vid dumpning i det norra området.
- Dumpning i det södra området beräknas ge maximal grumling om 100–2300 mg/l vid botten i en sammanlagd area om ca 8,5 km² inom Natura 2000. Varaktighet för koncentrationer över 100 mg/l vid botten är mellan 0,25–4 dygn i Natura 2000-området (och täcker en area om ca 6,7 km² i Natura 2000, vid den norra gränsen). Maximal grumling 10–100 mg/l vid botten har förekommit därtill i en sammanlagd area om ca 53,3 km² inom Natura 2000. Grumlingen vid botten överstiger 10 mg/l under en sammanlagd varaktighet om 0,25–9 dygn inom Natura 2000 (denna påverkan täcker ca 59,2 km² inom Natura 2000).

Förändringen av bottenskjuvspänningen vid dumpningsområdena efter dumpning har beräknats i modellen. Jämförelsen visar att bottenskjuvspänningen ökar något lokalt efter dumpning, vilket även ökar erosionsrisken, men att förändringen är relativt liten. Den naturliga variationen av

bottenskuvspänning vid dumpningsplatserna innebär att lätteroderade fina fraktioner kan erodera i dumpningsområdena oavsett om man dumpar där eller ej. Det södra dumpingsområdet har använts för dumpning tidigare. Risken för erosion är något större i det södra dumpningsområdet i båda de simulerade scenariona (före och efter dumpning), än i det norra.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	7
1.1	Oceanografiska förhållanden i området	8
2	Data	9
2.1	Batymetri-data	9
2.2	Drivning av den hydrodynamiska modellen	9
2.3	Sediment och dumpningsförfarande	9
3	Modellbeskrivning	10
3.1	Hydrodynamisk modell	10
3.1.1	Modelleringsperiod	10
3.1.2	Beräkningsnät	10
3.1.3	Validering	11
3.2	Sedimentspridningsmodell	15
3.2.1	Simulering av muddring av sediment	16
3.2.2	Beskrivning av fysikaliska processer vid dumpning av sediment i modellverktyget	17
4	Resultat av sedimentspridningsmodellering	18
4.1	Netto-sedimentation	18
4.2	Varaktighet	20
4.3	Maximal grumling	28
5	Bottenskjuvspänning	32
6	Referenser	38
	Appendix A	XXXIX

Figurer

Figur 1.1	Djupförhållanden kring dumpningsområdena (norra och södra) utanför kusten väster om Halmstad. Natura 2000-område och naturreservat ligger mycket nära det södra dumpningsområdet.	7
Figur 3.1	Beräkningsnät för den lokala modellen vid dumpningsområdena.	11
Figur 3.2	Stationer (orange markör) med observerade vattenstånd (vid Falkenberg och Halmstad), ström (station P22/3892), samt temperatur och salinitet (station Anholt E).	12
Figur 3.3	Observerade (blå) och modellerade (orange) vattenståndsvariationer vid mätstation Falkenberg 2 SJÖV (överst) och Halmstad SJÖV (underst).	13
Figur 3.4	Strömrosor vid station P22/3892 (Figur 3.2) för observerad ström på 0–10 m (överst till vänster), 25–26 m (nederst till vänster) samt modellerad ström 0–10 m (överst till höger) och 25–26 m (nederst till höger).	14
Figur 3.5	Observerade (punktmarkörer) och modellerade (streckad linje) djupprofiler av temperatur (överst) och salinitet (underst) vid station Anholt E.	15
Figur 3.6	Schematisk illustration av "nearfield"-definitioner i modellen.	17
Figur 4.1	Netto-sedimentation en månad efter avslutad dumpning, i norra (överst) respektive i södra området (underst).	19

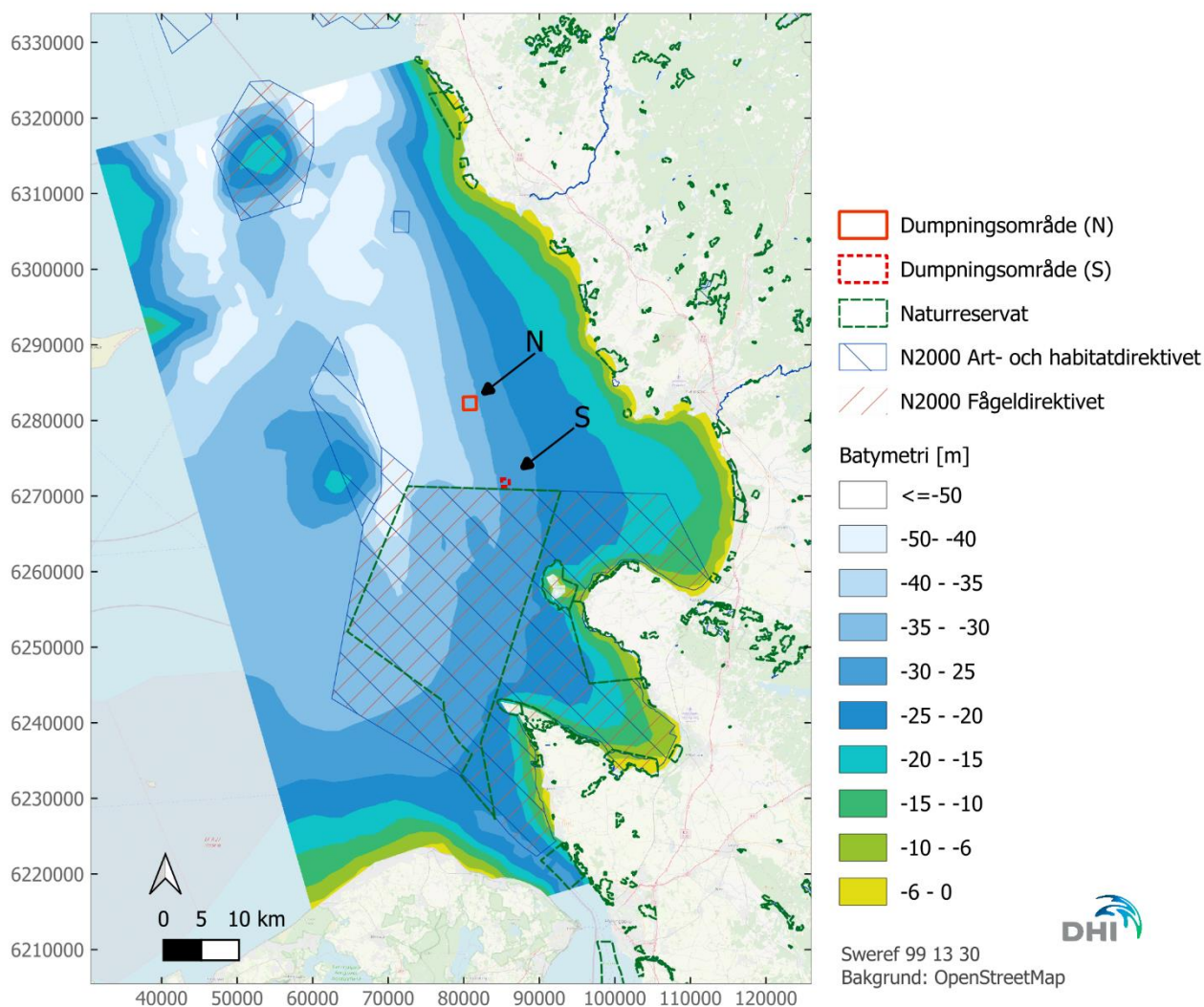
Figur 4.2	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 2 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).....	22
Figur 4.3	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 10 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).	23
Figur 4.4	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 40 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).	24
Figur 4.5	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 100 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).	25
Figur 4.6	Andel av tid då grumlingen överskrider olika koncentrationsnivåer vid punkter markerade i översiktskarta: P1a och P2a (till vänster) för dumpning i södra området, samt P1b och P2b (till höger) för dumpning i norra området. 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: P1a och P2a (till vänster) för dumpning i det södra området, samt P1b och P2b (till höger) för dumpning i norra området.	27
Figur 4.8	Sammanställning av maximala koncentrationer suspenderat sediment som förekommit under simuleringen, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).	29
Figur 4.9	Maximala koncentrationer suspenderat sediment i ett vertikalt tvärsnitt, från dumpning vid det norra området. Tvärsnittet är markerat i översiktskarta (överst).....	30
Figur 4.10	Maximala koncentrationer suspenderat sediment i ett vertikalt tvärsnitt, från dumpning vid det södra området. Tvärsnittet är markerat i översiktskarta (överst).	31
Figur 5.1	Modellerad 99 percentil av bottenskjuvspänning före (överst) och efter dumpningar (underst), under vintern (december 2022 – mars 2023).....	33
Figur 5.2	Modellerad bottenskjuvspänning i det norra dumpningsområdet, före (blå linje) och efter dumpningar (orange punkt-streckad linje).	36
Figur 5.3	Modellerad bottenskjuvspänning i det södra dumpningsområdet, före (blå linje) och efter dumpningar (orange punkt-streckad linje).	37

Tabeller

Tabell 3-1	Modellerad kornstorleksfördelning för dumpade sediment, med fallhastighet angiven för respektive kategori längst ned.	16
Tabell 5-1	Statistik (90, 95 och 99e percentil) över modellerad bottenskjuvspänning före (befintlig batymetri) och efter dumpningar under vintern december 2022 - mars 2023.	35

1 Introduktion

DHI Sverige AB (DHI) har fått i uppdrag av Helsingborgs Hamn (HHAB) att modellera sedimentspridning från dumpning vid två områden utanför kusten väster om Halmstad, se Figur 1.1. Studien är ett underlag för miljökonsekvensbeskrivning för planerad dumpning av massor som muddras vid den nya containerterminalen i södra delen av Helsingborgs hamn.



Figur 1.1 Djupförhållanden kring dumpningsområdena (norra och södra) utanför kusten väster om Halmstad. Natura 2000-område och naturresevat ligger mycket nära det södra dumpningsområdet.

För att beskriva påverkan av sedimentspill från dumpning har DHI satt upp en tredimensionell modell över hydrodynamiken och kopplat en sedimentspridningsmodell till de simulerade variationerna av strömförhållanden och skiktning i närområdet.

Personerna hos DHI som arbetat i projektet är följande:

- Charlotta Lövestedt (Fil.Dr. Vattenresurslära och 17 års erfarenhet som konsult inom hydrodynamisk modellering, ström- och vågberäkningar)
- Sina Saremi (Fil.Dr. Kusthydraulik och 11 års erfarenhet som konsult inom hydrodynamisk modellering, sedimenttransport och muddringsprojekt)
- Martin Johnsson (Fil.Lic. Oceanografi och 19 års erfarenhet som konsult inom hydrodynamisk modellering, ström- och vågberäkningar)
- Cecilia Gustafsson Gombrii (M.Sc. Fysisk oceanografi och 7 års erfarenhet som konsult inom hydrodynamisk modellering, ström- och vågberäkningar)
- Timothy Ley (M.Sc. Ekosystemteknik och 3 års erfarenhet som konsult inom hydrodynamisk modellering, ström- och vågberäkningar)

Denna rapport redovisar modelleringarna och är uppbyggd enligt följande:

- Kapitel 2 beskriver batymetrin i området, drivningsdata för den hydrodynamiska modellen, samt erhållen information om dumpningsförfarande och de sediment som ska dumpas.
- Kapitel 3 beskriver uppställningen för den lokala hydrodynamiska och sedimentspridningsmodellen.
- Kapitel 4 presenterar resultaten för modellering av sedimentspridning.
- Kapitel 5 redovisar beräknad förändring av bottenskvjuspänning vid dumpningsområdena efter dumpning.

1.1 Oceanografiska förhållanden i området

Kattegatt har ett skiktat vatten, med det bräckta Östersjövattnet som strömmar norrut i ytlagret och ett djupare lager med högre salthalt 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 15 m.

Kattegatt är ett dynamiskt område där vatten från Västerhaven och Östersjön möts. Det som driver strömmarna är framför allt vattenståndsskillnader som orsakas av hög- och lågtryckspassager samt hur vinden trycker upp vattnet beroende på den rådande vädersituationen. Hur stora dessa vattenståndsskillnader 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.

2 Data

I det här avsnittet beskrivs batymetri och drivningsdata för den hydrodynamiska modellen, samt erhållen information om sediment och dumpningsförfarande.

2.1 Batymetri-data

För att representera djupförhållanden i modellen har djupdata från sjömätning i de två dumpningsområdena använts (data erhållen från Sweco). Utöver dessa data har djupdata från EMODnet använts, [EMODnet Product Catalogue \(europa.eu\)](https://emodnet.europa.eu/).

Djupförhållanden i modellen visas i Figur 1.1. Vattendjupet är ungefär 30–35 m i det norra dumpningsområdet, och ca 25–30 m i det södra dumpningsområdet. Djupet sluttar från grundare områden österut nära svenska kusten och ner mot en djupare ränna väster om dumpningsplatserna. Den djupa rännan snörs dock av söderut där det grundar upp mot Kullahalvön och Sjælland.

2.2 Drivning av den hydrodynamiska modellen

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

Meteorologiska fält med lufttryck, vindhastighet och vindriktning har hämtats från NORA3 (/1/) som tillhandahålls av norska Meteorologisk institutt.

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

Flöde från vattendrag som mynnar i kusten har hämtats från SMHI's S-HYPE (<https://www.smhi.se/data/sjoar-och-vattendrag/vattenwebb>).

2.3 Sediment och dumpningsförfarande

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

Den totala volymen sediment som planeras dumpas är 1 121 000 m³. Volymen inkluderar en bulkningfaktor om 1,2 för sand och 1,3 för finare material, /3/. Bulkningfaktorn är ett uttryck för att vatteninnehållet ökar och volymen blir större då sedimenten tas upp från botten. Sedimentundersökningar har gjorts i muddringsområdet med analys av kornstorleksfördelning, se /2/ och /3/. Materialet innehåller huvudsakligen fin sand samt ca 10% lera och silt.

Dumpningen planeras ske genom bottentömning från fartyg med sugmudderverk (Trailer Suction Hopper Dredger "TSHD"), med en volymkapacitet om 12 000 m³. Fartyget planeras dumpa en gång var 7:e timme. Schemat innebär i snitt att 42 000 m³ dumpas per dygn (med 3,5 dumpningar per dygn). Dumpningarna planeras utföras under tiden då muddringsarbetet pågår, inom perioden oktober till mars.

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

3 Modellbeskrivning

Modelleringen av hydrodynamik och sedimentspridning har utförts med hjälp av de numeriska modelleringsverktygen MIKE 3 Flow Model FM och Mud transport module. En detaljerad beskrivning av programvaran finns i /4/ och /5/.

Den hydrodynamiska modellen beskriver djupförhållanden och variationer i vattenstånd, strömmar och skiktning för närområdet kring dumpningsplatserna. Till den lokala hydrodynamiska modellen kopplas en modul för att beskriva hur de dumpade sedimenten sprids av de rådande hydrodynamiska förhållandena.

I följande avsnitt beskrivs modelluppsättningen.

3.1 Hydrodynamisk modell

3.1.1 Modelleringsperiod

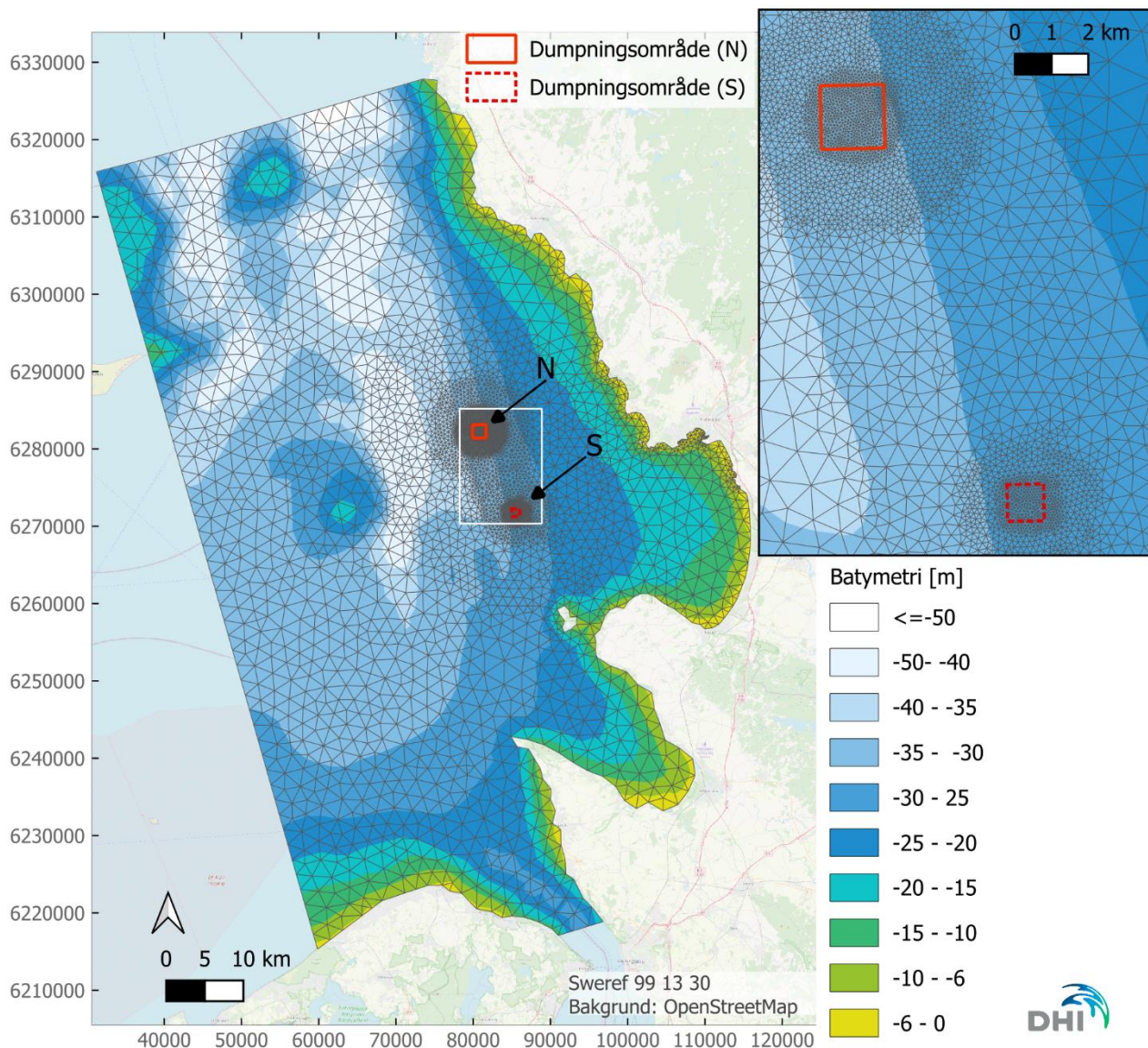
Modellen simulerar säsongen oktober 2022 – april 2023. Denna period har valts som en representativ säsong för normala förhållanden. Observerade tidsserier hämtade från SMHI visar normal variation av vindhastigheter och vattenstånd under perioden. Stormen Otto inträffade 17–18 februari 2023. SMHI har beräknat återkomsttiden för byvindhastigheten till lägre än 2 år vid dumpningsområdena ([Otto - februari 2023 — SMHI](#)). Det är alltså en relativt vanlig stormhändelse.

3.1.2 Beräkningsnät

Den lokala modellens beräkningsnät visas i Figur 3.1.

Beräkningscellerna inom dumpningsområdet har tilldelats en sidlängd om ca. 100 meter, vilket bedöms vara tillräcklig upplösning för att simulera 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 2 km.

Modellens vertikala upplösning består av en kombination av så kallade sigma-lager (bottenföljande) och z-lager (med en bestämd tjocklek). Sigma-lagren är relativt tunna för att säkerställa en tillräcklig upplösning i de nivåer där sedimenten sprids och för att fånga skiktning i vattenpelaren. Vertikal upplösning vid dumpningsområdena är ca 2 m.



Figur 3.1 Beräkningsnät för den lokala modellen vid dumpningsområdena.

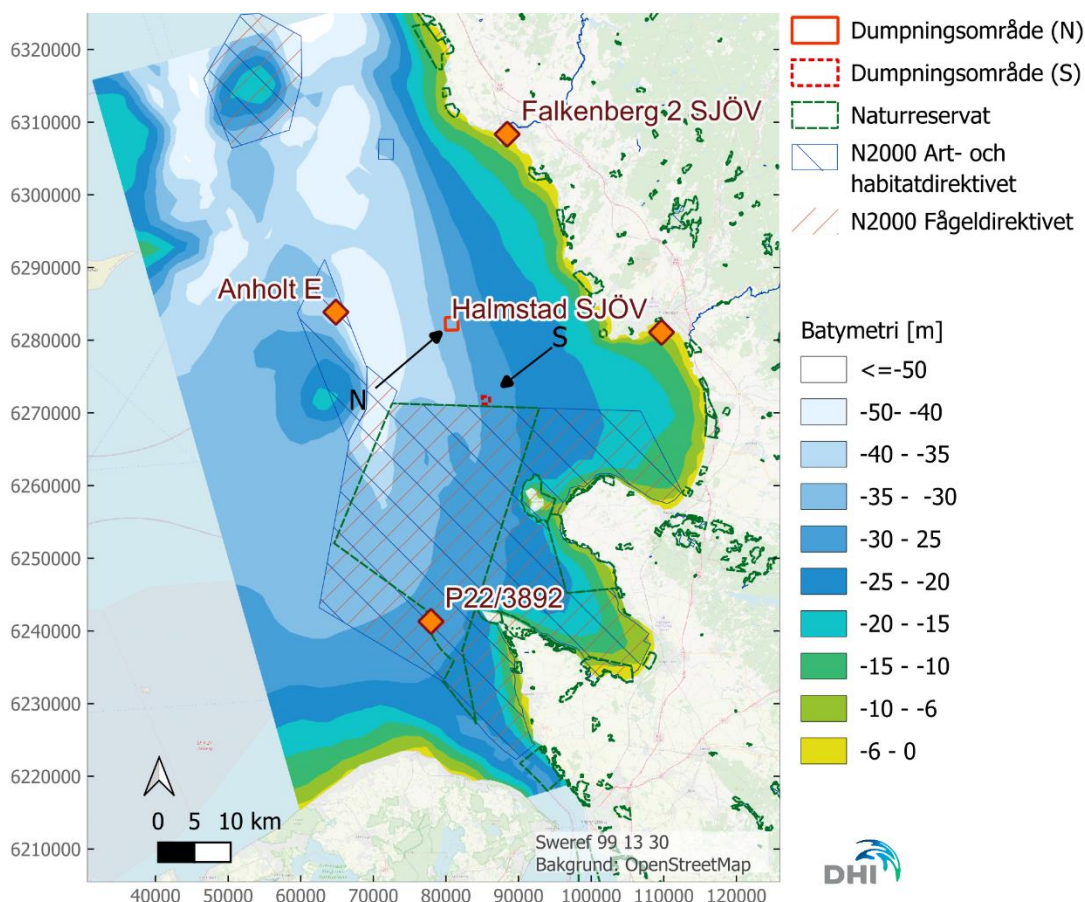
3.1.3 Validering

Vid dumpning lossnar spill från dumpningsvolymen då den faller genom vattenmassan och når botten. Sedimentspillet bildar en grumlande plym som sprids och späds ut av rådande strömförhållanden. De naturliga strömförhållandena i närområdet kring dumpningsplatsen varierar över tid, i strömmarnas styrka och riktning. Fördelningen av strömstyrka och riktning varierar också på olika djup i vattenpelaren. Grumling som sker högt upp i vattenkolumnen sprids och späds alltså initialt av strömmarna i ytlagret. Partiklarna faller samtidigt genom vattenkolumnen och när de når större djup sprids de av strömmarna som förekommer längre och längre ner. Variationen av strömmarnas styrka och riktning i vattenpelaren beror delvis på den vertikala skiktningen av temperatur och salinitet. För strömdynamiken generellt är vindar och vattenståndsvariationer viktiga.

Det finns inga kända mätdata på grumling eller pålagring från dumpning vid dumpningsområdena. Det går alltså inte att kalibrera eller validera

sedimentspridningsmodellen direkt. Däremot finns det vissa observationer av de hydrografiska förhållandena, som kan användas för att utvärdera modellens representation och fördelning av strömförhållanden och skiktning. Modellens representation och fördelning av strömmar och skiktning är viktig för modellering av spridningsmönstret av sediment i samband med dumpning.

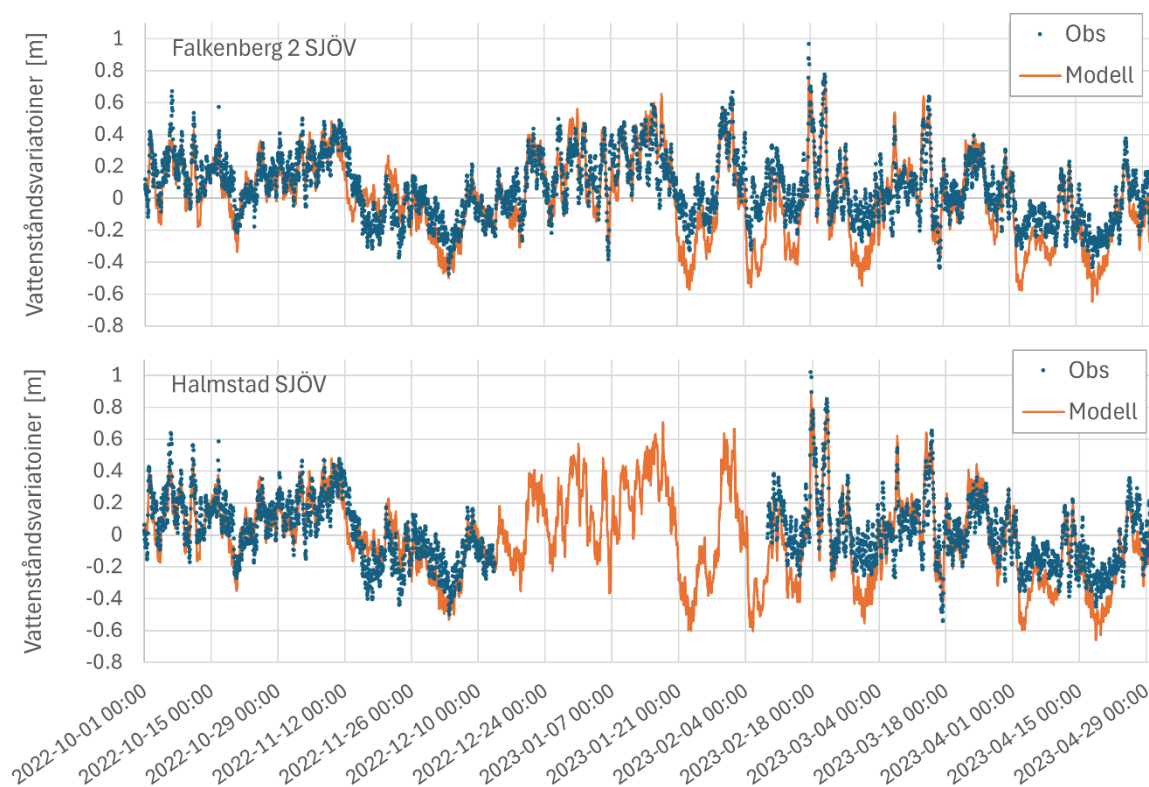
Validering av den hydrodynamiska modellen har gjorts genom att jämföra modellresultaten med observationer från området, hämtade från SMHI ([Ladda ner oceanografiska observationer | SMHI](#)). Mätstationerna visas av orange markörer i Figur 3.2.



Figur 3.2 Stationer (orange markör) med observerade vattenstånd (vid Falkenberg och Halmstad), ström (station P22/3892), samt temperatur och salinitet (station Anholt E).

Observerade och modellerade vattenståndsvariationer visas i Figur 3.3, vid station Falkenberg 2 SJÖV och Halmstad SJÖV. Modellen beskriver generellt nivåförändringarna väl vid de två stationerna. Vid några tillfällen med lågt observerat vattenstånd visar dock modellen ytterligare något lägre vattenstånd. Detta kan bero på att modellens meteorologiska drivning är en förenkling av det verkliga fältet av vindar och atmosfärstryck, och att vattenståndet vid kusten underskattas därav under dessa begränsade tillfällen med högre atmosfärstryck.

De modellerade vattenstånden samvarierar vid de två mätstationerna, vilket betyder att ovanstående avvikelse inte genererar några orimliga vattenståndsdrivna strömmar.

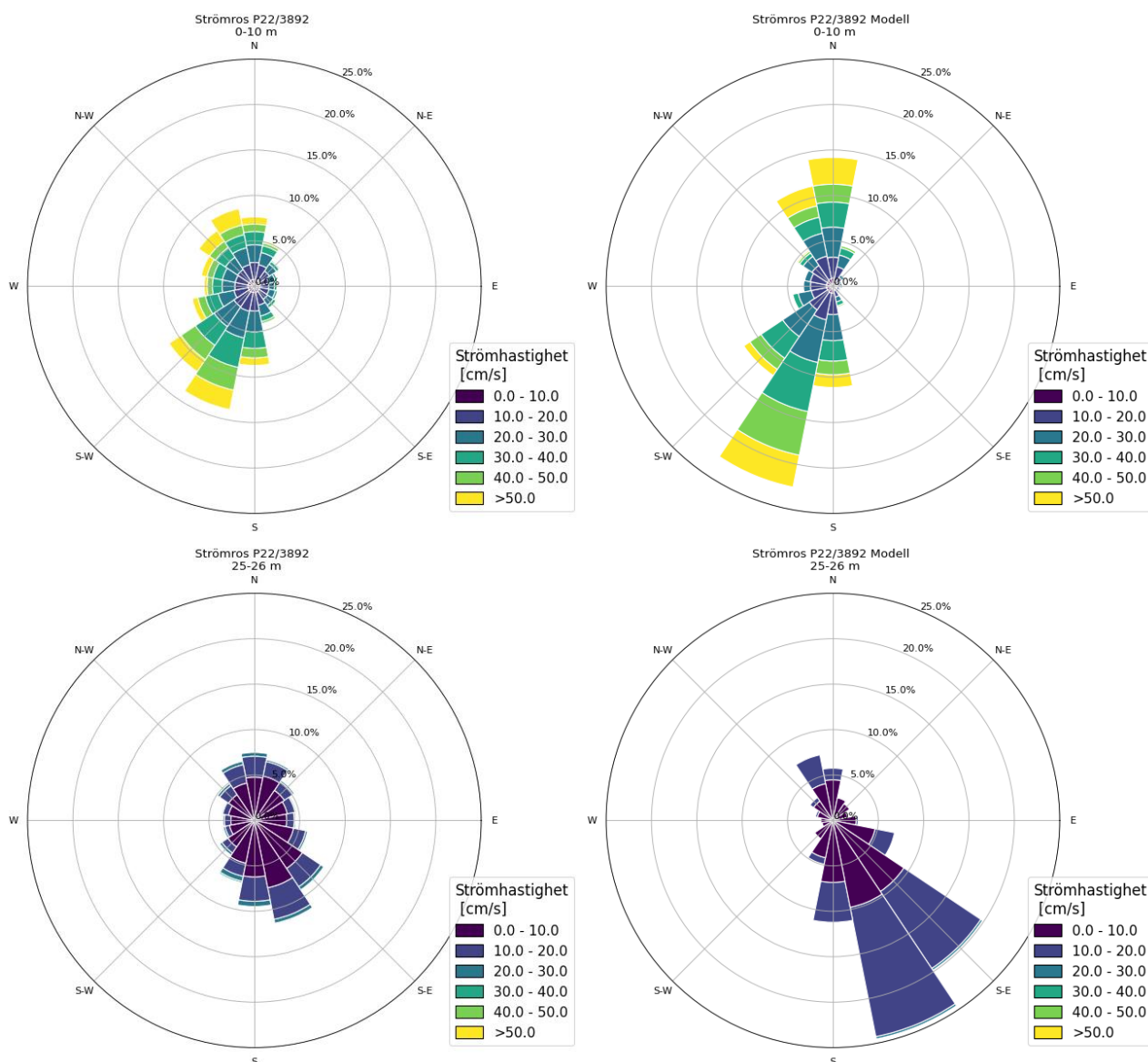


Figur 3.3 Observerade (blå) och modellerade (orange) vattenståndsvariationer vid mätstation Falkenberg 2 SJÖV (överst) och Halmstad SJÖV (underst).

Fördelningen av strömmar visas av strömrosor i ytlagret och nära botten vid station P22/3892 i Figur 3.4.

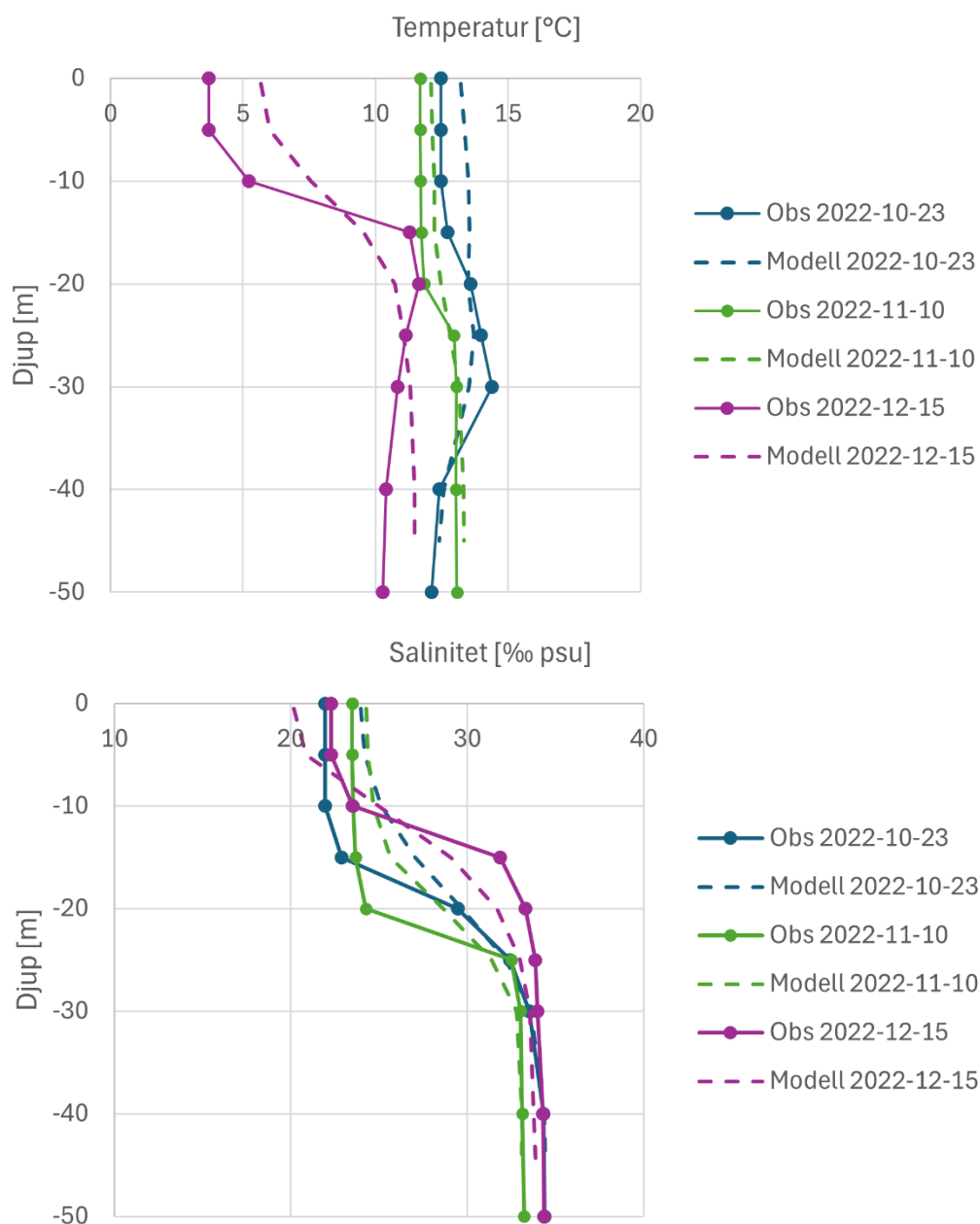
Modellen ger representativa förhållanden avseende strömningsmönster och dynamik i området. De förhärskande strömriktningarna är förstärkta i modellens resultat jämfört med observationerna, vilket innebär att ovanliga strömriktningar är mindre frekventa i modellen än i verkligheten. Dock bör det noteras att strömmätningar även kan fånga småskaliga virvlar, medan modellen beräknar vattenmassornas förflyttning i lite större skala. Det gör också att skillnaden i strömfördelning ser större ut än vad den är, när det gäller att sprida sedimentplymen.

Stationen med observerad ström ligger väster om Kullaberg, ca 30 respektive 40 km söder om dumpningsområdena. Om de modellerade strömmönstren vid botten visar samma tendenser i närområdet kring dumpningsplatserna som vid stationen utanför Kullaberg skulle skillnaden mellan modellerade och observerade strömmar nära botten kunna innebära att modellen ger spridning av bottennära grumling och pålagring något längre i sydöstlig riktning från dumpningsområdena. Den modellerade räckvidden av spridningen nära botten skulle då kunna vara något överskattad i sydgående riktning, in i Natura 2000 Nordvästra Skånes havsområde. Strömmönstren utanför Kullaberg är dock starkt påverkade av in- och utflödet genom Öresund, och det är inte säkert att de förhärskande strömriktningarna är lika förstärkta av modellen i påverkansområdet kring dumpningsplatserna som vid stationen utanför Kullaberg. Eventuella skillnader i modellerad strömhastighet i ytlagret kring dumpningsområdena förväntas endast ge marginell effekt på spridningsmönstret av grumling och pålagring, eftersom endast en liten andel av sedimentspillet från dumpningsvolymen orsakar grumling i ytlagret under en begränsad period.



Figur 3.4 Strömrosor vid station P22/3892 (Figur 3.2) för observerad ström på 0–10 m (överst till vänster), 25–26 m (nederst till vänster) samt modellerad ström 0–10 m (överst till höger) och 25–26 m (nederst till höger).

Salinitet och temperatur har validerats i djupled mot observerade profiler vid station Anholt E. Observerade och modellerade profiler visas i Figur 3.5. Djupprofilerna i Figur 3.5 visar att modellen fångar skiktningen i salinitet och temperatur väl. Modellen representerar hur skiktningen varierar mellan olika tillfällen och gradienterna av temperatur och salinitet är representerade på rätt djup. Modellens skiktning är dock något svagare än den verkliga, men skiktningen i modellen är stark nog att minska den vertikala omblandningen. Det finns dock en risk att den vertikala omblandningen är lite högre i modellen än i verkligheten. Tillsammans med strömrosorna (Figur 3.4) visas dock att strömmönstret på olika djup är representerat i modellen, vilket är viktigt för modelleringen av sedimentspridning.



Figur 3.5 Observerade (punktmarkörer) och modellerade (streckad linje) djupprofiler av temperatur (överst) och salinitet (underst) vid station Anholt E.

3.2 Sedimentspridningsmodell

Till den hydrodynamiska modellen har en modul kopplats för att beräkna sedimentspridning från dumpning vid de två områdena. De antaganden som gjorts beskrivs nedan i avsnitt 3.2.1. Modellverktyget och fysikaliska processer som sker när dumpningsvolymen släpps i vattnet introduceras i 3.2.2.

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 dumpningsförfarande i modellen, med de antaganden som gjorts, beskrivs här.

Den totala dumpningsvolymen är 1 121 000 m³.

In situ torrdensiteten har antagits vara 1600 kg/m³, baserat på erhållen information om sedimenten. Med bulkningsfaktorn om 20% för sand, antas en torrdensitet om ca 1300 kg/m³ i fartygets lastvolym vilket medför att lastad volym har ca 50% torrsubstans. Det innebär att den totala massan som dumpas är ca 1,5 miljoner ton.

För spill som sedimenterar efter dumpningen har en torrdensitet om 300 kg/m³ för nydeponerade fina sediment (ler och silt) respektive 1600 kg/m³ för nydeponerade grövre material (fin sand och grövre fraktioner) antagits. Torrdensiteten för nydeponerade lerpartiklar (fluffigt lager) är inledningsvis 100 kg/m³, men lagret sjunker därefter ihop och då når torrdensiteten 300 kg/m³ (/8/). 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.

Dumpningsförfarandet simuleras enligt erhållen information om dumpning en gång var 7:e timme genom bottentömning, med en volymkapacitet om 12 000 m³. Fartygets djupgående utan last har antagits 3 m. Fartygets inre dimensioner i lastutrymmet har antagits 80 m längd och 30 m bredd. Öppningsarean vid bottentömning har antagits vara 30% av lastutrymmets area.

Dumpningarna simuleras var 7:e timme i kontinuerlig följd under en period om ca 27 dygn, tills alla massor dumpats. Dumpningsperioden har modellerats med start den 1 oktober. Perioden har valts för att simulera spridning under normala strömningsförhållanden, då dumpningsschemat kan fortlöpa utan uppehåll. Väderscenariot är därför representativt, men man undviker samtidigt att underskatta grumlingen i simuleringen.

Andelen spill som lossnar från dumpningsvolymen då den faller genom vattenkolumnen beräknas dynamiskt i modelleringsverktyget, se nästa avsnitt 3.2.2.

Fördelningen av kornstorlek som representerar det dumpade 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 dumpade 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

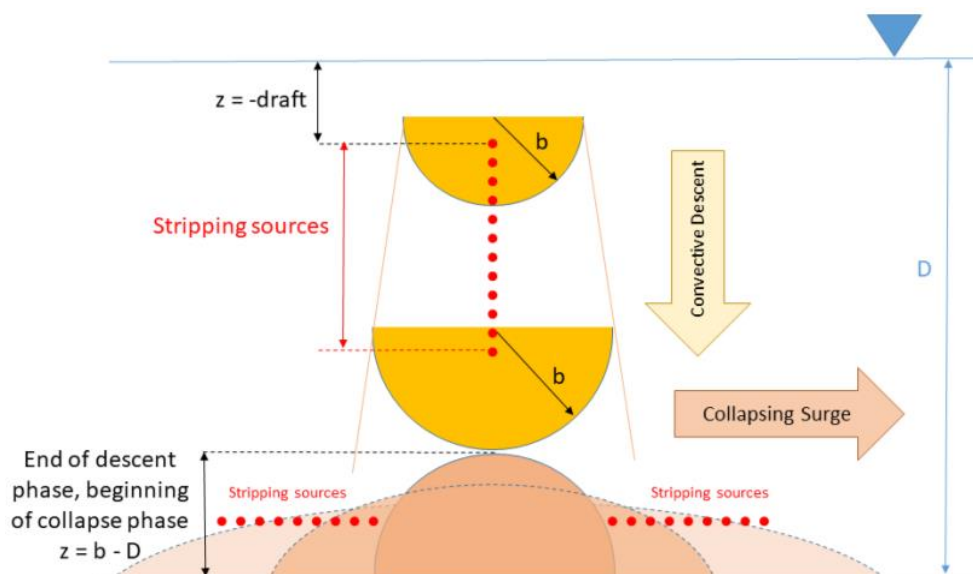
3.2.2 Beskrivning av fysikaliska processer vid dumpning av sediment i modellverket

Simulering av sedimentspridning från dumpning genom botten tömning är baserad på en dynamisk koppling av en "nearfield"-integrerad lösning och en "farfield" spridningsmodell, i modelleringsverket MIKE 3 FM MT (/5/). Beteendet hos det dumpade materialet kan delas in i tre faser: konvektivt sjunkande, då materialet faller nedåt på grund av gravitationen, kollaps då dumpningsvolymen möter botten, samt passiv spridning. De första två faserna är så kallade "nearfield"-processer, kontrollerade av dynamiken och energin från dumpningsvolymen. Den sista fasen är en så kallad "farfield"-process där transport och spridning av material drivs av omgivande strömmar och turbulens.

"Nearfield"-modellen beräknar sjunkandet och kollapsen mot botten, samt avgör när plyn från dumpningen går över till att spridas passivt (det vill säga, när fasen går över till "farfield"). Under fasen då den dumpade massan sjunker kan plyn gå över till att spridas passivt om rörelsemängden hos plyn blir lägre än den omgivande rörelsemängden, eller om plyn lagrar in vid en densitetsskiktning i vattnet. Om plyn går över till att spridas passivt under fasen då materialet sjunker genom vattenkolumnen, frigörs sediment som suspenderat material i ett cirkulärt plan motsvarande storleken hos den dumpade volymen (vid den aktuella tidpunkten). Under fasen då kollaps mot botten sker, kan plyn vid botten övergå till att spridas passivt om dess rörelsemängd är mindre än omgivande rörelsemängd, baserad på hastighet eller densitet.

Under både fasen då den dumpade massan sjunker samt kollapsar mot botten, frigörs suspenderat material vid punkter lokaliserade vid plynens masscentrum (vid den aktuella tidpunkten då den lösgjorda volymen beräknas).

Definitioner av "nearfield"-processer i modellen illustreras schematiskt i Figur 3.6. Detta beskrivs ytterligare i /5/.



Figur 3.6 Schematisk illustration av "nearfield"-definitioner i modellen.

4 Resultat av sedimentspridningsmodellering

I detta avsnitt presenteras resultaten för simuleringen av sedimentspridningen. Kartresultaten som presenteras visar netto-sedimentation (pålagringens tjocklek på botten efter dumpning), varaktighet för överskridande av olika grumlingsnivåer och en sammanställning av maximal grumling som förekommit på varje plats under simuleringen.

4.1 Netto-sedimentation

Pålagringens utbredning och tjocklek 1 månad efter dumpning visas i Figur 4.1. Den beräknade pålagringen är baserad på antagandet att torrdensiteten för nydeponerat sediment är 300 kg/m^3 för de finare fraktionerna (ler och silt) respektive 1600 kg/m^3 för fin sand och grövre fraktioner. Torrdensiteten för nydeponerade lerpartiklar (fluffigt lager) är inledningsvis 100 kg/m^3 , men lagret sjunker därefter ihop och då når torrdensiteten 300 kg/m^3 (/8/).

Resultaten visar att dumpningen orsakar tjockast pålagring inom respektive dumpningsområde. En del spill sprids dock med strömmarna och deponerar i närområdet i nordvästlig och sydostlig riktning från dumpningsområdena. Detta beror på att strömriktningarna till stor del styrs längs den generella riktningen av de lokala djupkonturena (nordväst - sydost) vid dumpningsområdena.

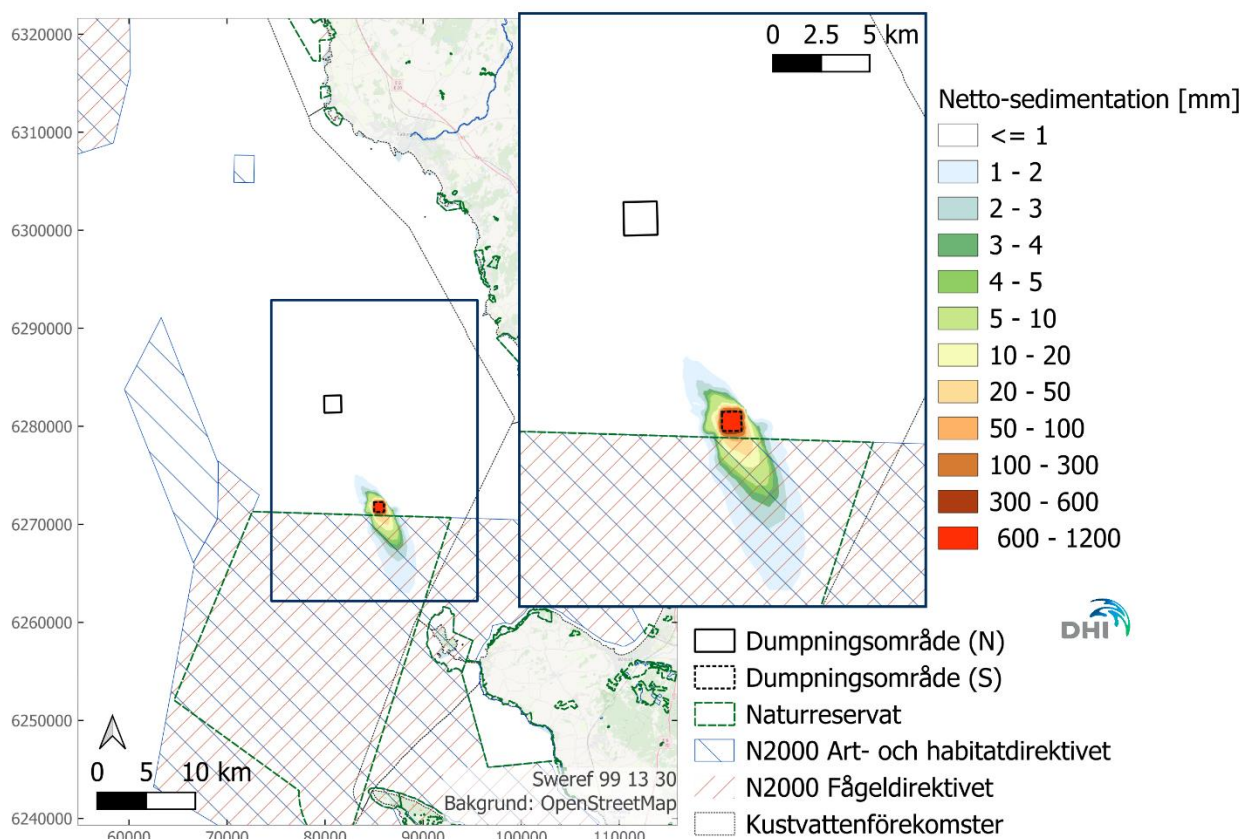
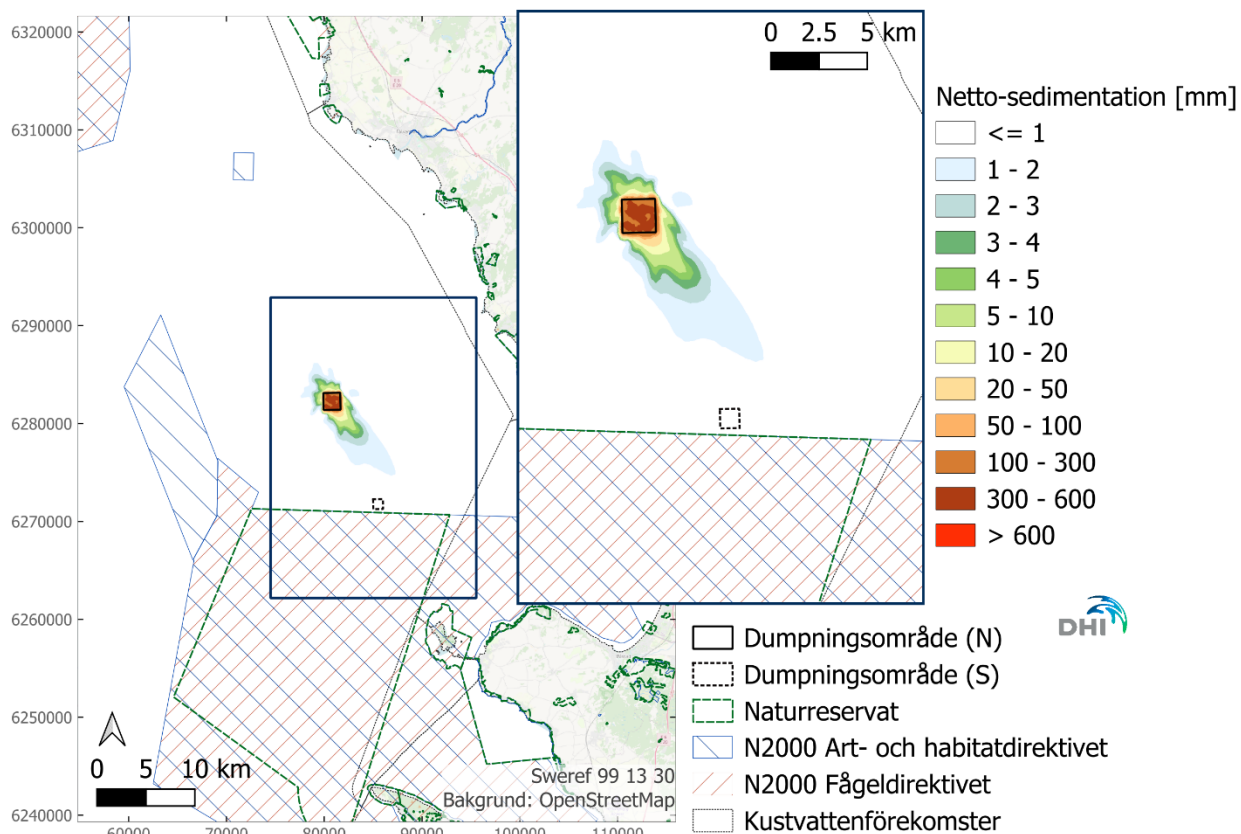
Vid dumpning i det norra området når inte pålagringskonturen med tjocklek 1 mm de skyddade områdena, Natura 2000 Nordvästra Skånes havsområde samt naturreservatet Skånska Kattegatt.

Vid dumpning i det södra området sträcker sig pålagringskonturen med tjocklek 1 mm ca 8 km in i Natura 2000-området. Vid gränsen till Natura 2000 når pålagringen lokalt upp mot ca 80 mm.

Den tunnare pålagringen som sker på ett avstånd från dumpningsområdena orsakas primärt av de mindre kornstorlekarna i sedimentspillen, som lätt suspenderas av strömmarna. Större partiklar sedimenterar snabbare och skapar pålagringen i och närmare dumpningsområdena.

Eftersom det norra dumpningsområdet har en större area, fördelas de dumpade massorna så att pålagringen inom dumpningsområdet når tjocklekar om upp mot 600 mm. Detta jämfört med dumpning vid det södra området (med mindre area) som orsakar pålagring inom dumpningsområdet med tjocklekar upp mot 1200 mm.

I den här studien har spridning av spill från dumpningarna modellerats. Eventuell resuspension av sedimenterade partiklar som kan ske vid möjliga stormtillfällen efter tiden för kartbilden i Figur 4.1 (en månad efter dumpningsperiodens slut) är inte inkluderad här. Figur 4.1 ska därför inte tolkas som en definitiv slutlig bild. Resuspensionen antas dock vara liten eftersom det är så låga strömhastigheter lokalt vid botten kring området med pålagring, och djupet innebär att området påverkas mycket lite eller inte alls av vågor.



Figur 4.1 Netto-sedimentation en månad efter avslutad dumpning, i norra (överst) respektive i södra området (underst).

4.2 Varaktighet

Figur 4.2 till Figur 4.5 illustrerar den sammanlagda tiden då grumlingen vid botten överstiger 2, 10, 40 respektive 100 mg/l. Kartresultaten visar utbredningen av påverkan och hur länge området påverkas utifrån de olika koncentrationsnivåerna. De högre koncentrationsnivåerna 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.

Längre varaktigheter från grumling som överstiger 2 mg/l vid botten sträcker sig huvudsakligen i syd-sydostlig riktning från dumpningarna, och når de skyddade områdena söderut (Natura 2000 Nordvästra Skånes havsområde och naturreservatet Skånska Kattegatt) i olika grad beroende på dumpningsplats. Påverkan sträcker sig i princip inte till andra skyddade områden (exempelvis väster om dumpningsområdena), vilket beror på avståndet till dumpningarna samt att strömmarna till stor del styrs längs den generella riktningen av de lokala djupkonturena (nordväst - sydost).

Vid dumpning i det norra området sträcker sig påverkan in i Natura 2000 och naturreservatet (för koncentrationer över 2 mg/l vid botten). Varaktigheterna inom det skyddade området är mindre än 8 dygn, se Figur 4.2.

I scenariot med dumpning vid det södra området är varaktigheten mindre än 16 dygn i det skyddade området (för koncentrationer över 2 mg/l vid botten), Figur 4.2. Varaktigheten som illustreras i färg sträcker sig dessutom till naturreservatet Hallands Väderö (mindre än 8 dygn). Varaktigheten når precis upp mot ca 1 dygn lokalt vid gränsen till naturreservatet Södra Bjärekusten.

Det finns generellt få mätningar av grumling och inga kända mätningar i området kring dumpningsplatserna. Men i närliggande Öresund har normala bakgrundsvärden om 0–2 FTU (ca 0–2 mg/l) vid lugnt väder rapporterats. Vid stormiga perioder under vintern kan grumlingen i Öresund nå ca 5–15 mg/l, och lokalt upp mot ca 20–40 mg/l (/6/).

Dumpning vid det norra området innebär att en area om ca 9 km² inom Natura 2000 påverkas av en sammanlagd varaktighet på 0,25–1 dygn då grumlingen vid botten överstiger 10 mg/l. Denna påverkan sker vid den norra gränsen till Natura 2000-området, se Figur 4.3.

Dumpning vid det södra området innebär att en area om ca 59,2 km² inom Natura 2000 påverkas av en sammanlagd varaktighet på 0,25–9 dygn då grumlingen vid botten överstiger 10 mg/l.

Varaktigheter över 0,25 dygn för koncentrationer över 40 mg/l vid botten når inte Natura 2000-området i scenariot med dumpning i den norra dumpningsplatsen, se Figur 4.4.

Ca 17,5 km² av Natura 2000-området påverkas av grumling över 40 mg/l vid botten under en sammanlagd varaktighet om mellan 0,25–6 dygn, vid dumpning i det södra området.

Dumpning vid det södra området innebär dessutom att ca 6,7 km² av Natura 2000 påverkas av grumling över 100 mg/l vid botten med varaktigheter mellan 0,25–4 dygn (Figur 4.5).

Kartfigurer för varaktigheter över 1000 mg/l vid botten visar endast mycket lokal påverkan vid dumpningsplatserna och redovisas i Appendix A.

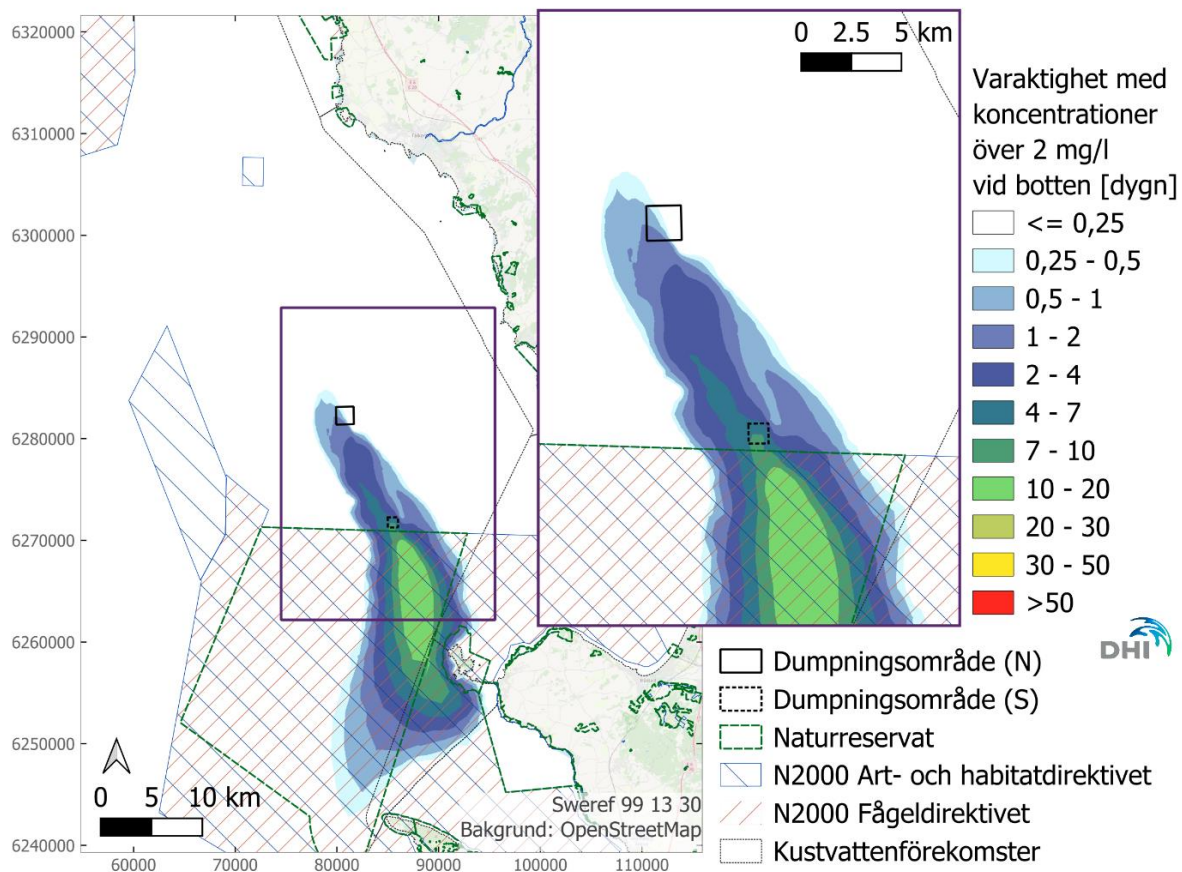
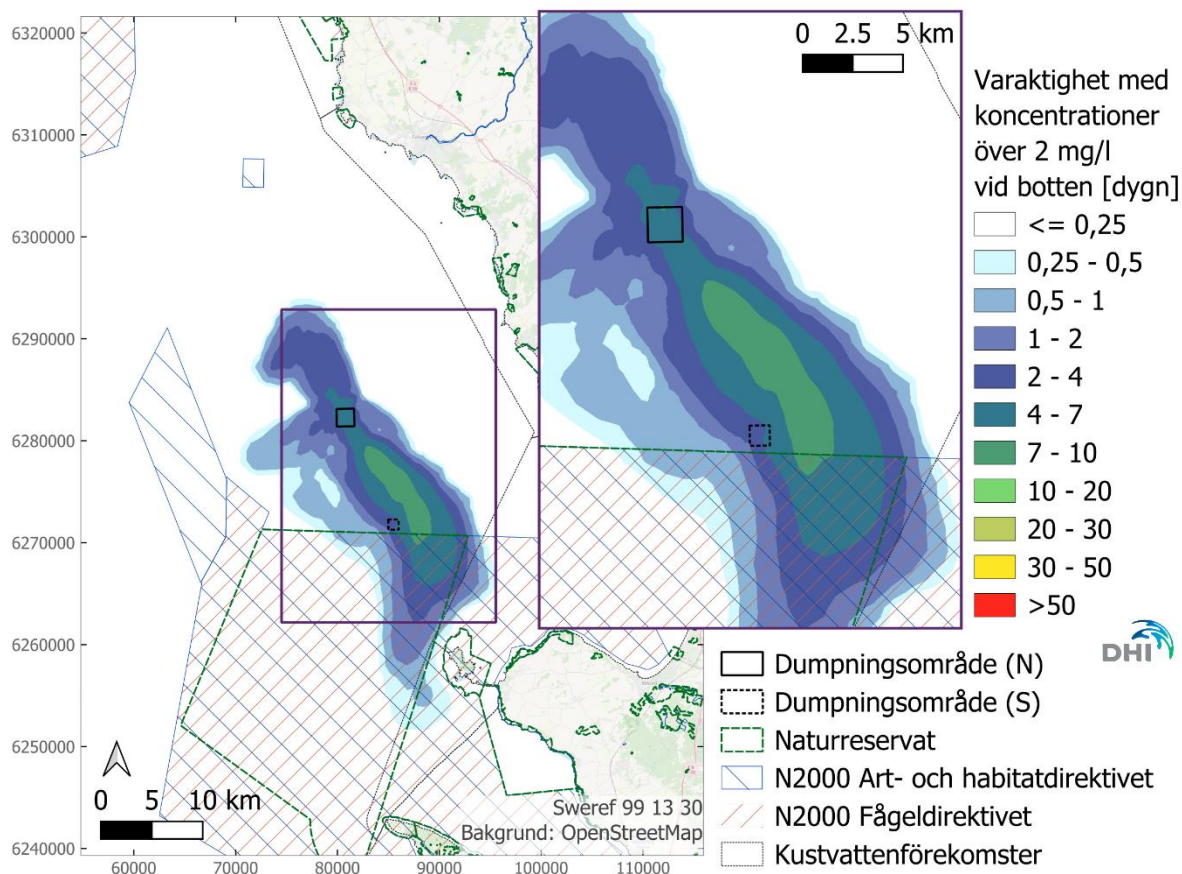
De sammanlagda varaktigheterna i ytan är mindre än 0,25 dygn för alla koncentrationnivåerna (2 mg/l och högre) och visas därför ej som kartfigurer.

Sammanlagd andel av tiden under dumpningsperioden då grumlingen överskrider olika nivåer har illustrerats vid två positioner i Natura 2000-området i Figur 4.6 (vid gränsen och en kilometer in). Punkterna är något olika för de två scenariona, för att visualisera förekomsten av halter i plymens riktning vid dumpning i norra respektive södra området. Skalorna är också olika för de två scenariona i diagrammen, eftersom dumpningen i det södra området ligger nära Natura 2000-området och skapar högre grumling nära gränsen.

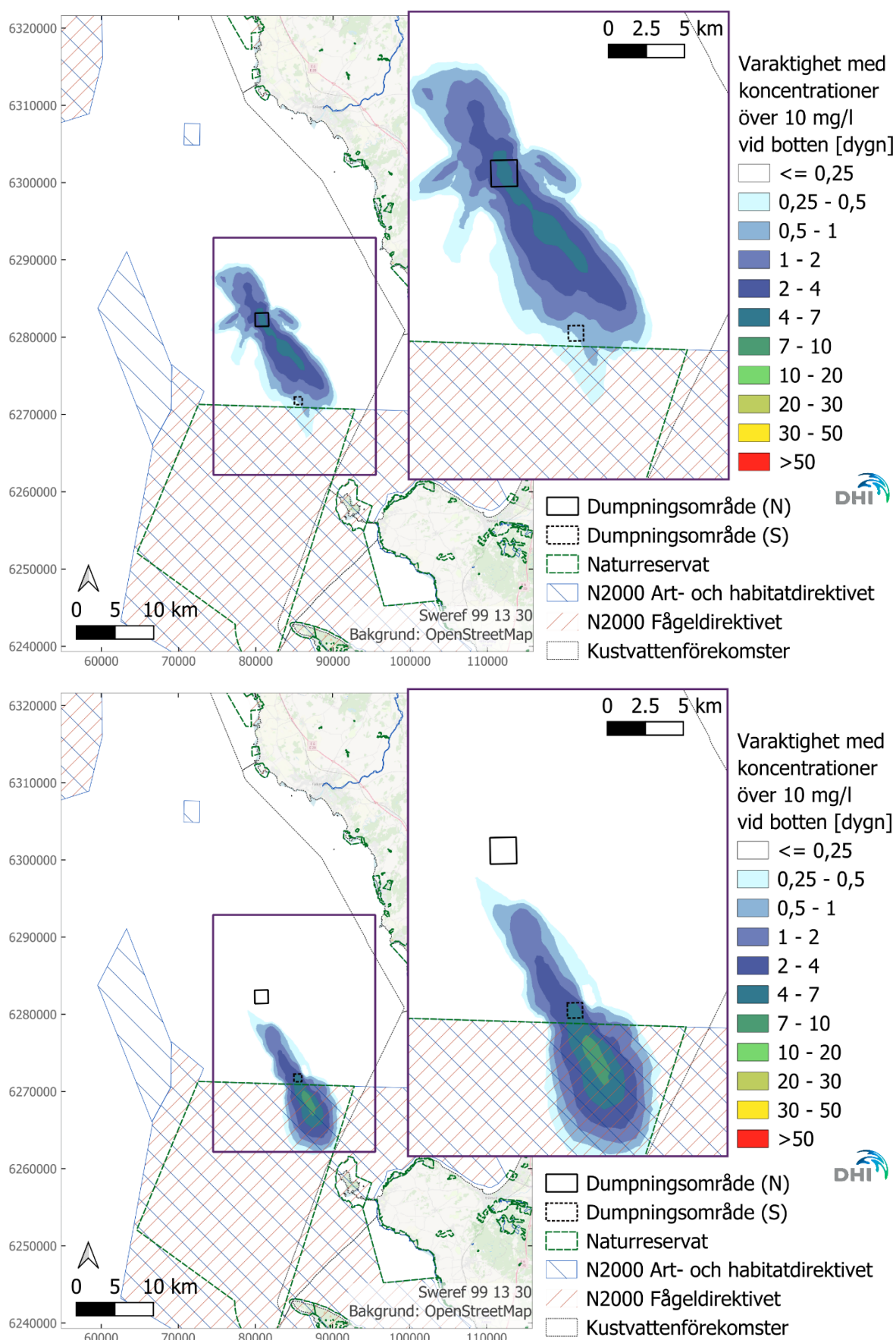
Grumlingen i ytan är mycket låg i de två punkterna, under hela simuleringen.

Varaktigheten då grumlingen överstiger en viss nivå är inte nödvändigtvis en sammanhängande period. Tidsserier för koncentrationen suspenderat material vid utvärderingspunkterna i Figur 4.6 visas i Figur 4.7. Grumlingen vid botten, på gränsen till Natura 2000 samt 1 km in, varierar kraftigt under dumpningsperioden vid dumpning i det södra området. Vid gränsen (P1a) inträffar ett flertal korta toppar då grumlingen når nivåer över 500 mg/l vid botten. 1 km in (P2a) är topparna över 500 mg/l färre i antal och med lägre maxkoncentration. Den största delen av dumpningsperioden ligger grumlingen vid P1a och P2a dock på nivåer lägre än 200 mg/l vid botten, i scenariot med dumpning i det södra området. Den sammanlagda varaktigheten för nivåer över 100 mg/l vid botten är dock begränsad (Figur 4.5), som nämnts ovan.

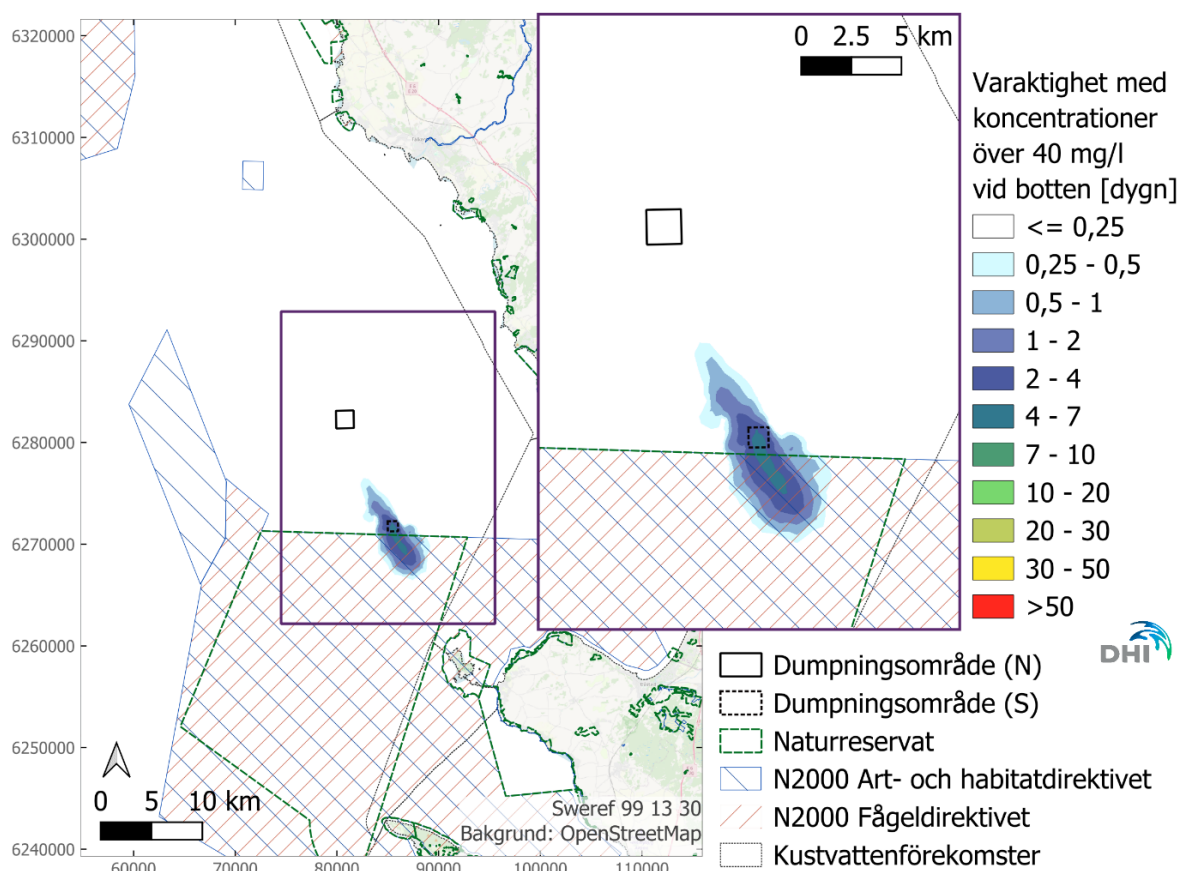
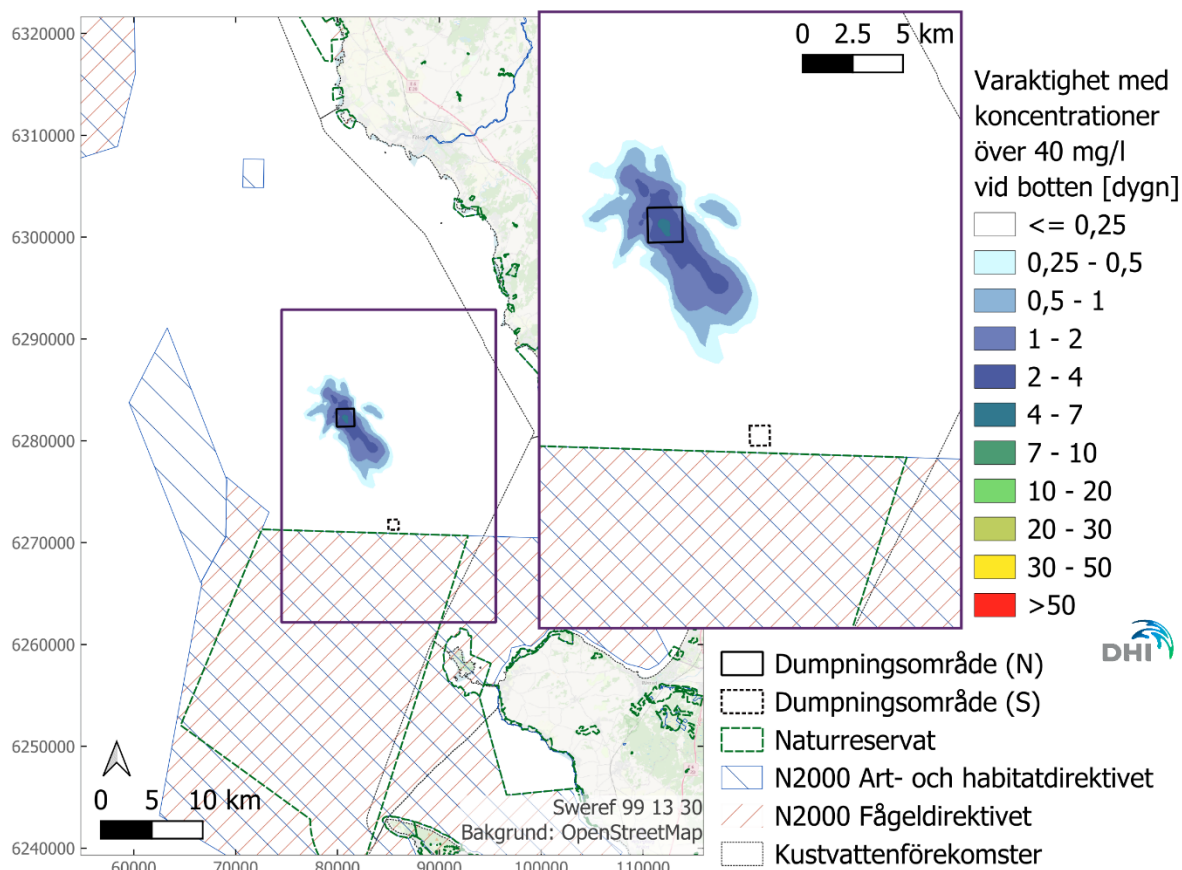
Dumpning i det norra området innebär lägre toppar i grumling vid gränsen till Natura 2000, samt 1 km in. Ett fåtal toppar med grumling över 10 mg/l inträffar vid gränsen (P1b) samt 1 km in (P2b) i Natura 2000. Den största delen av dumpningsperioden ligger grumlingen vid P1b och P2b på nivåer lägre än 5 mg/l vid botten, i scenariot med dumpning i det norra området.



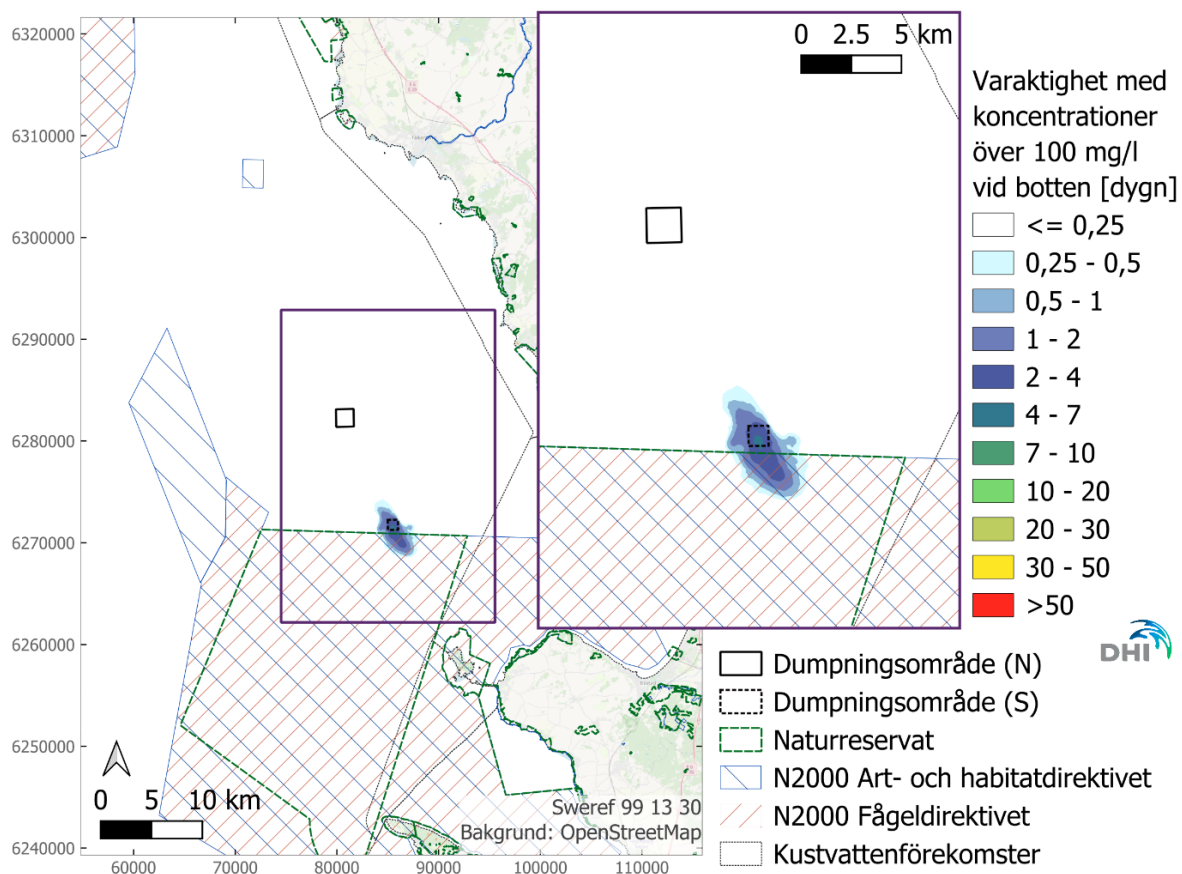
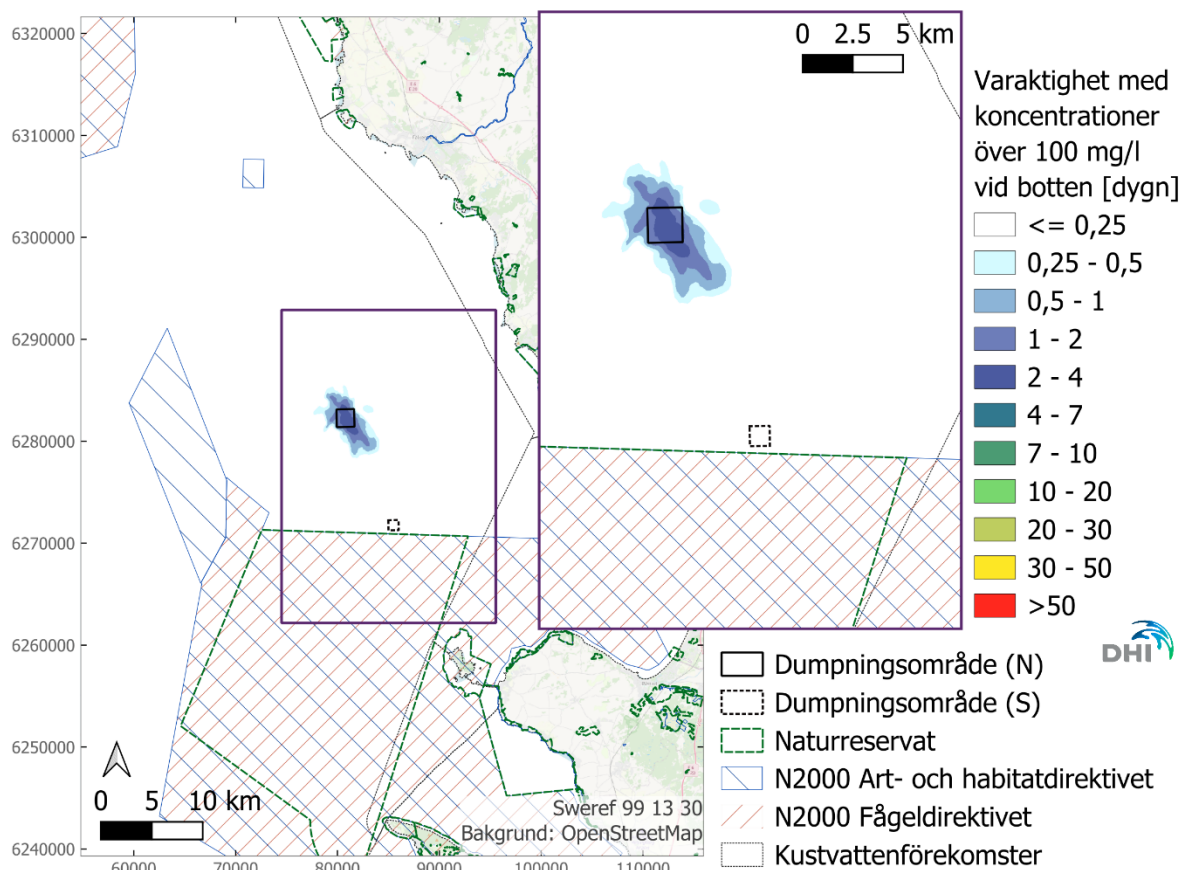
Figur 4.2 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 2 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).



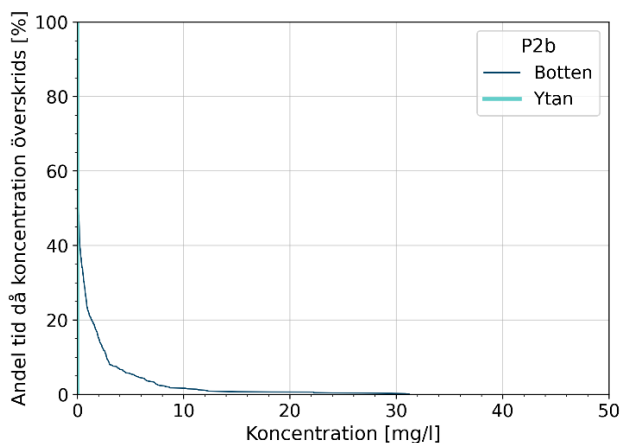
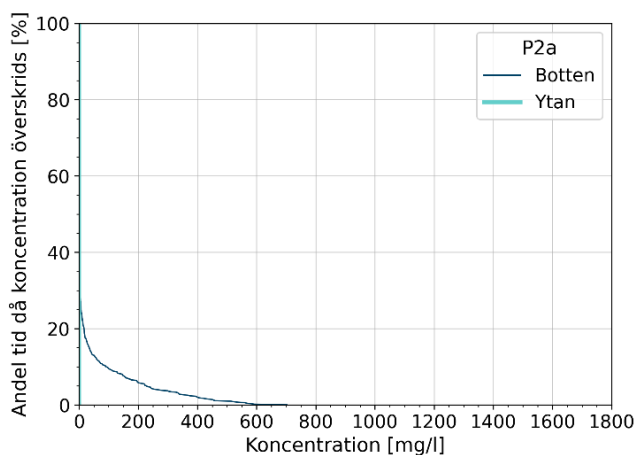
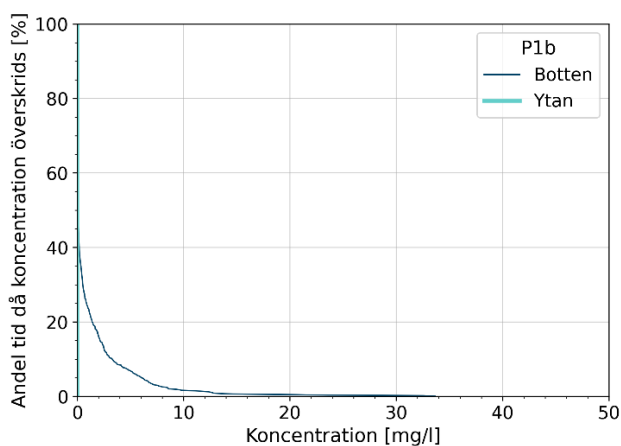
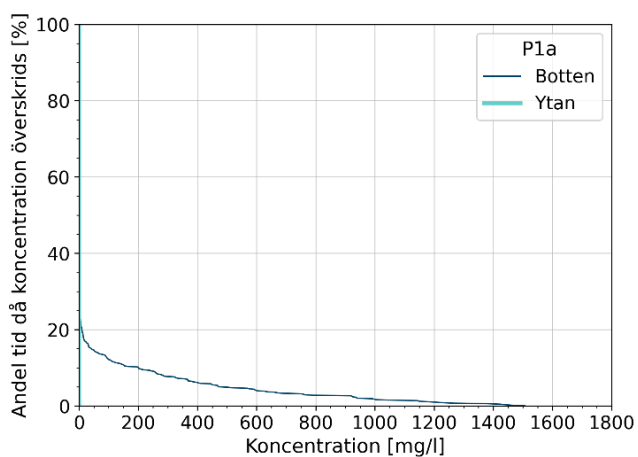
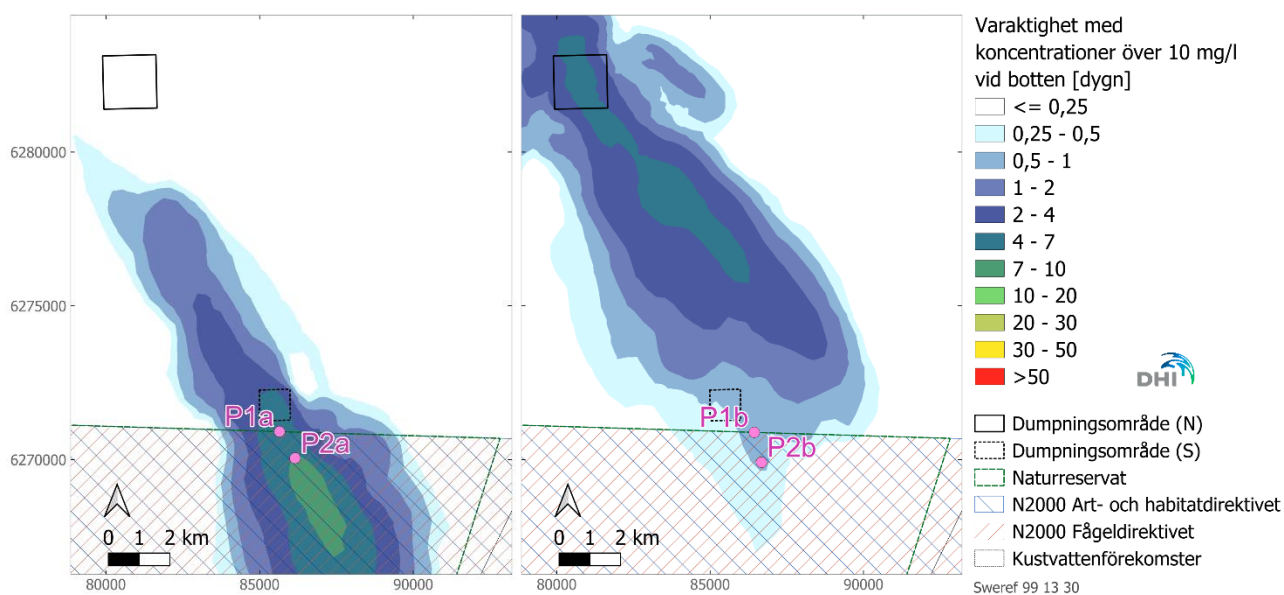
Figur 4.3 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 10 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).



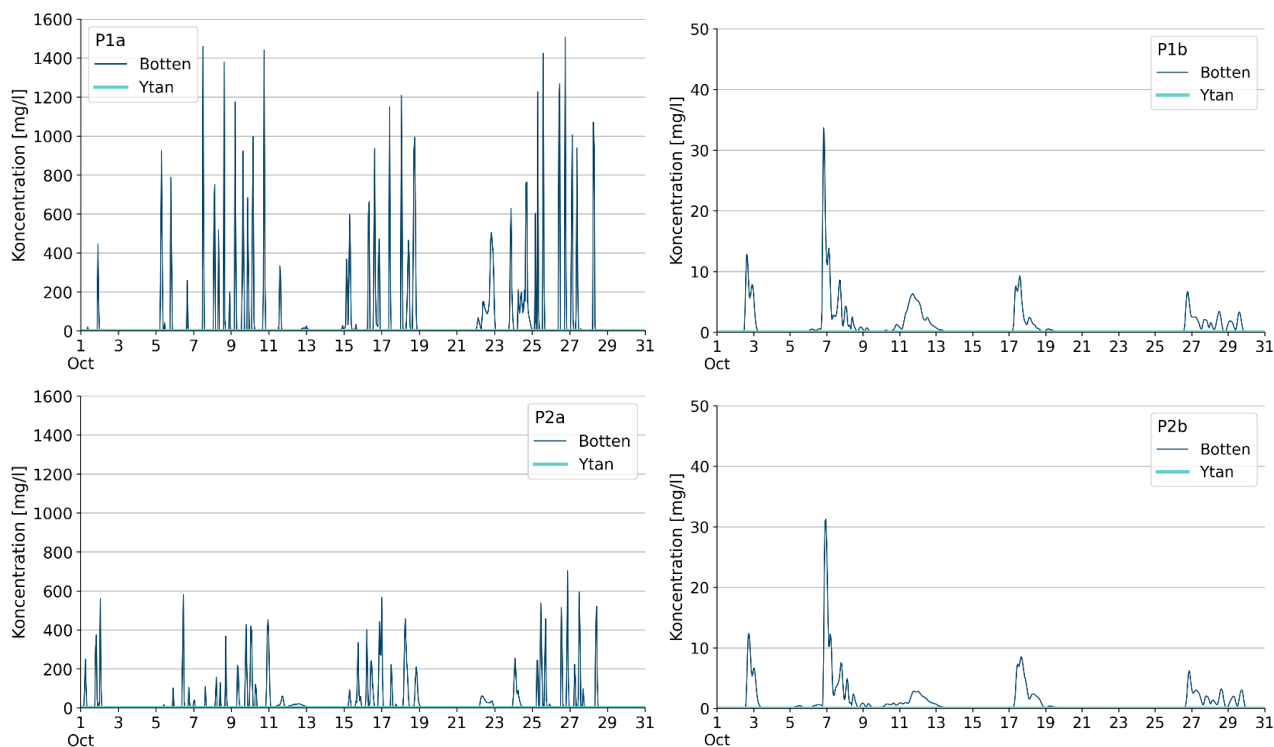
Figur 4.4 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 40 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).



Figur 4.5 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 100 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).



Figur 4.6 Andel av tid då grumlingen överskrider olika koncentrationsnivåer vid punkter markerade i översiktsskarta: P1a och P2a (till vänster) för dumpning i södra området, samt P1b och P2b (till höger) för dumpning i norra området. 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: P1a och P2a (till vänster) för dumpning i det södra området, samt P1b och P2b (till höger) för dumpning i norra området.

4.3 Maximal grumling

Figur 4.8 visar en sammanställning över maximal grumling vid botten som förekommit på respektive plats under simuleringen. Kartfiguren har genererats genom att registrera den maximala (99,97 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 händelse.

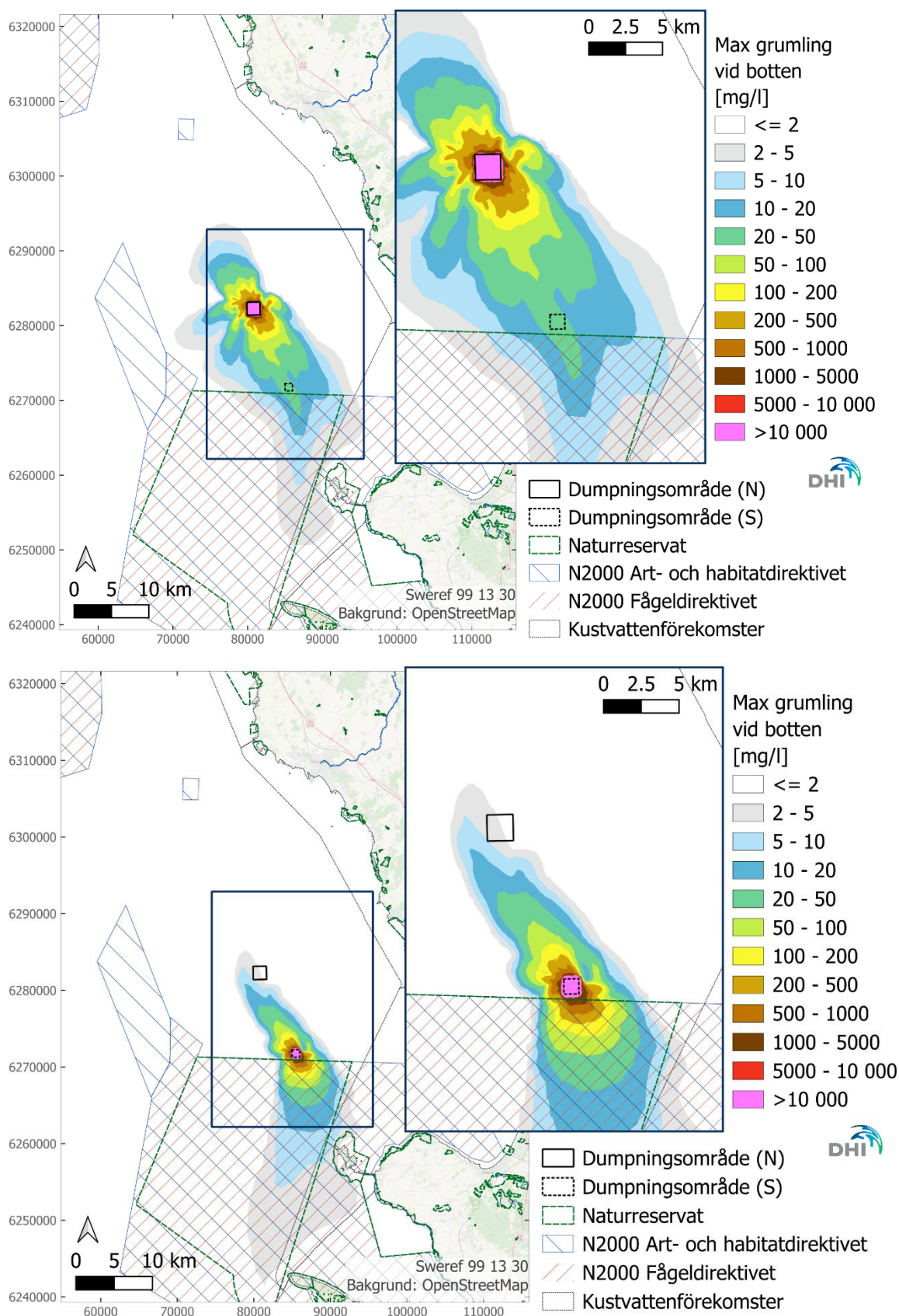
När man tolkar resultaten i Figur 4.8 är det viktigt att se på resultaten om varaktighet, se avsnitt 4.2, för att få en uppfattning om hur länge olika koncentrationer av suspenderat material förekommer.

Vid dumpning i det norra området har en maximal grumling om 10–33 mg/l förekommit vid botten någon gång i en sammanlagd area om ca 19,3 km² inom Natura 2000 Nordvästra Skånes havsområde. Ca 9 km² inom Natura 2000-området påverkas av en sammanlagd varaktighet på 0,25–1 dygn för grumling vid botten över 10 mg/l, vid dumpning i det norra området (Kapitel 4.2, Figur 4.3).

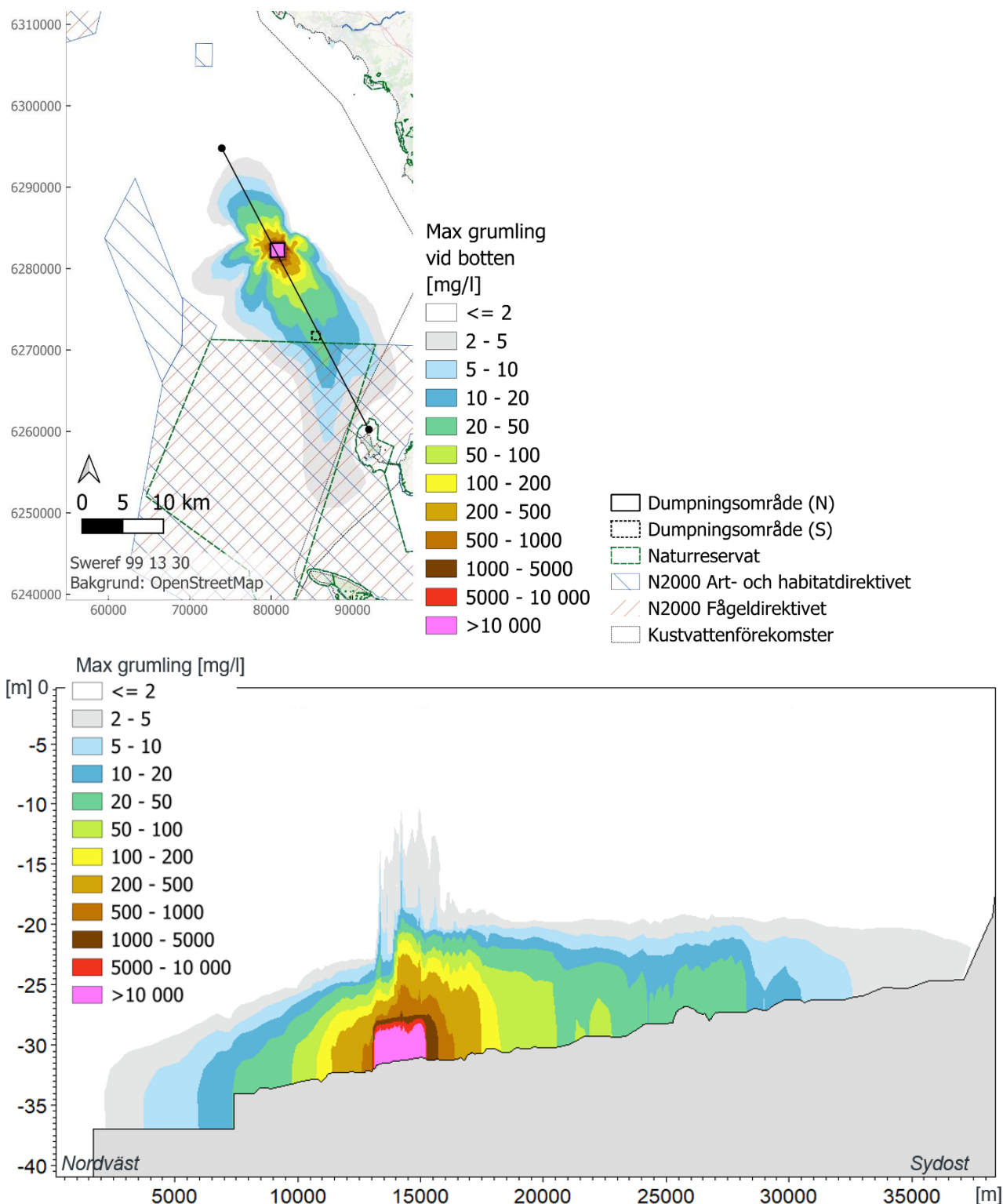
Vid dumpning i det södra området har en maximal grumling över 10 mg/l förekommit vid botten i en sammanlagd area om ca 61,8 km² inom Natura 2000 (varav ca 53,3 km² utgörs av max 10–100 mg/l). Ca 59,2 km² inom Natura 2000 påverkas av en sammanlagd varaktighet på 0,25–9 dygn då grumlingen vid botten överstiger 10 mg/l. Dumpning i det södra området ger maximal grumling om 100 – 2300 mg/l vid botten i en sammanlagd area om ca 8,5 km² inom Natura 2000. Varaktighet för koncentrationer över 100 mg/l vid botten är mellan 0,25–4 dygn i Natura 2000-området (och täcker en area om ca 6,7 km² i Natura 2000), Figur 4.5.

De maximala koncentrationer som orsakas av dumpningen är högst nära botten. Vertikala tvärsnitt genom dumpningsområdena visas i Figur 4.9 (dumpning i norra området) samt i Figur 4.10 (dumpning i södra området). Koncentrationer över 100 mg/l förekommer från botten och upp till ca 10 m över botten, i närområdet utanför respektive dumpningsområde.

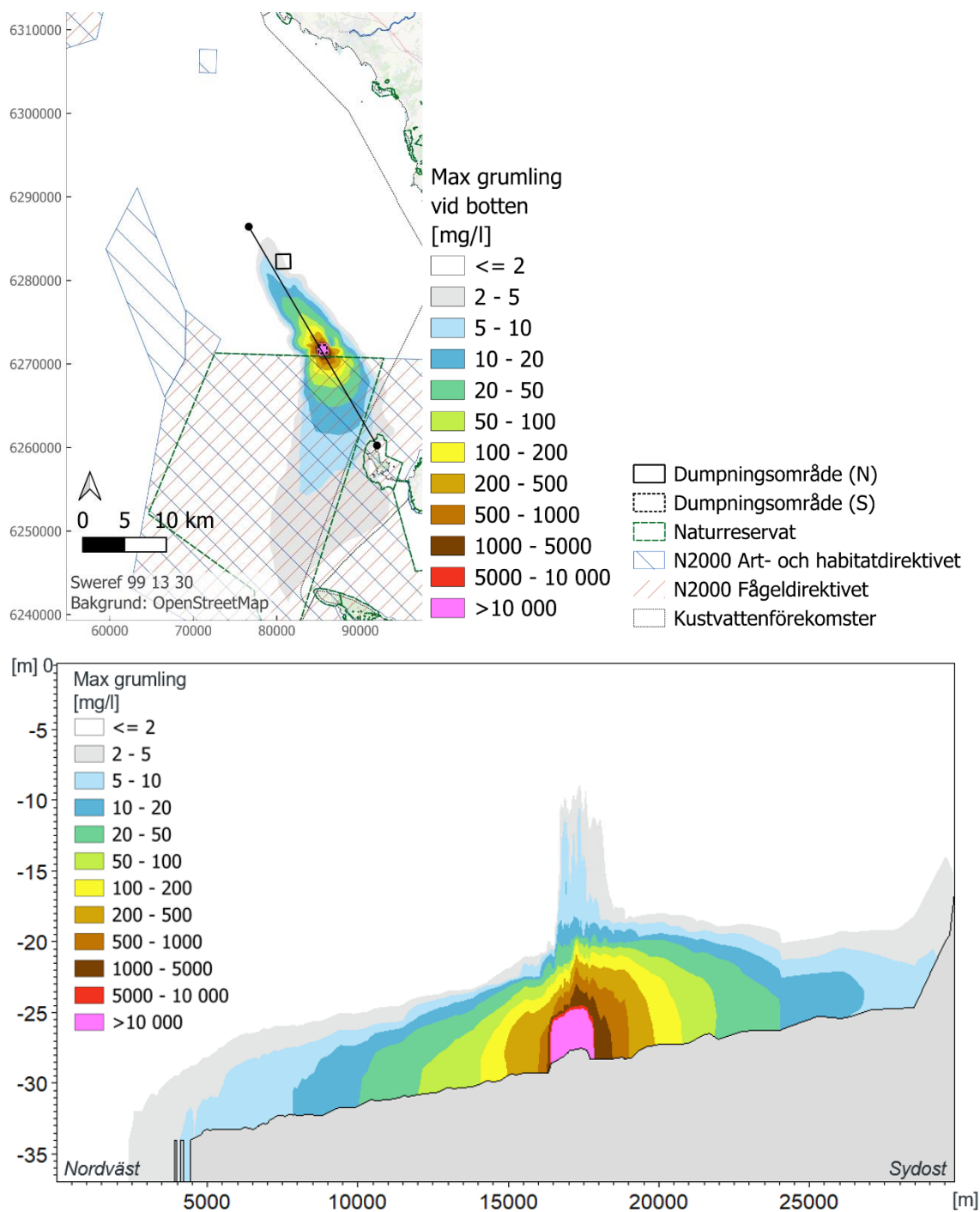
Vid ytan är de maximala koncentrationerna lägre än 2 mg/l, för både scenariot med dumpning i det norra respektive södra området. Kartfigurer för ytan visas därför ej.



Figur 4.8 Sammanställning av maximala koncentrationer suspenderat sediment som förekommit under simuleringen, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).



Figur 4.9 Maximala koncentrationer suspenderat sediment i ett vertikalt tvärsnitt, från dumpning vid det norra området. Tvärsnittet är markerat i översiktskarta (överst).



Figur 4.10 Maximala koncentrationer suspenderat sediment i ett vertikalt tvärsnitt, från dumpning vid det södra området. Tvärsnittet är markerat i översiktskarta (överst).

5 Bottenskjuvspänning

När man förändrar djupförhållanden i vattenmiljön kan en lokal påverkan på vågor och strömhastighet ske. Den lokala förändringen av vågor och strömmar kan ge en följeffekt på sedimentdynamiken i närområdet. Transporten av sediment beror på vilken bottenskjuvspänning som inträffar samt sedimentens egenskaper och kornstorlekar.

Bottenskjuvspänning från strömmar dominerar vid dumpningsområdena jämfört med vågor, eftersom dumpningsplatserna ligger ute på djupt vatten.

Strömhastigheten varierar vertikalt och avtar generellt med djupet. Dumpning ger generellt en ökning i bottenskjuvspänning lokalt vid dumpningsområdet, eftersom de dumpade massorna innebär en minskning av botten djupet lokalt vilket i teorin innebär att strömmen accelereras för att komma förbi. Dock kan de dumpade massorna innehålla material som är mindre erosionskänsliga, varvid en liten hastighetsökning får mindre betydelse för erosionsförhållandena på platsen. De mest lättroderade kornstorlekarna kan erodera vid en bottenskjuvspänning om ungefär $0,1 \text{ N/m}^2$.

Beräkning av förändrad bottenskjuvspänning har gjorts genom att köra modellen före (befintlig batymetri) och efter dumpningar under vintern december 2022 - mars 2023, som innehåller tillfällen med höga bottenskjuvspänningar (bland annat stormen Otto 17–18 februari 2023). Den tjockaste uppskattade pålagringen ($0,6 \text{ m}$ i det norra respektive $1,2 \text{ m}$ i det södra dumpningsområdet) har använts i scenariot efter dumpningar, för att inte underskatta förändringen efter dumpning. Vid det norra dumpningsområdet har Halmstads hamnar beviljats dispens för dumpning. Vid en tidigare modellering som gjorts (7/1) uppskattades pålagring en månad efter dumpning till en tjocklek om upp mot $0,5 \text{ m}$ (i det norra området). Scenariot efter dumpningar har tagit hänsyn till den tjockaste beräknade pålagring både från Helsingborgs och Halmstads hamnområde i det norra dumpningsområdet.

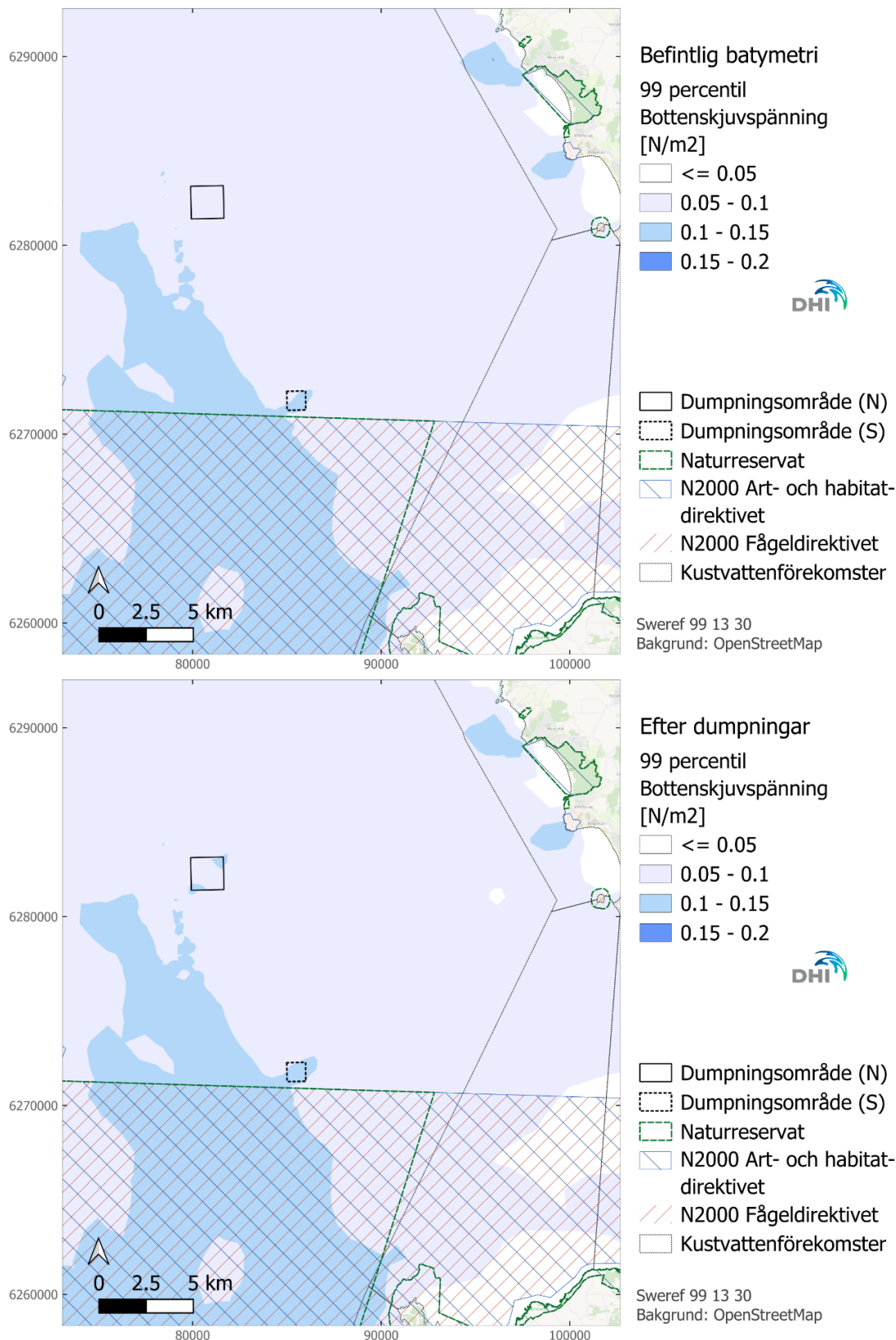
Figur 5.1 visar 99e percentilen av modellerad bottenskjuvspänning under vintern (december 2022 - mars 2023) för scenariona innan respektive efter dumpningar. Kartorna visar alltså en nivå av bottenskjuvspänning vars värde underskrids 99% av tiden under den modellerade vinterperioden (och överskrids 1% av tiden). Det vill säga att kartorna representerar de tillfällen med högst bottenskjuvspänning, som inträffat under simuleringen. Kartorna är en sammanställning av 99 percentil på varje plats, och visar inte ett enskilt tillfälle.

Höga bottenskjuvspänningar om $0,1\text{--}0,15 \text{ N/m}^2$ (ljusblå färg i Figur 5.1) förekommer naturligt i delar av närområdet under tillfällen med stark bottenström. Dels i större delen av det södra dumpningsområdet (som har använts som dumpningsplats tidigare). Dels i nordväst-sydöstlig riktning i djuprännan väster om dumpningsområdena, och där djuprännan snörs av söderut vid uppgrundningen mot Kullahalvön och Själland. Högre strömhastigheter förekommer i djuprännan samt mellan Kullahalvön och Själland, än i de mer lågade områdena längs kusten österut. Dock accelereras strömmen förbi de utskjutande uddarna väster om Halmstad, vilket syns i de ljusblå områdena vid Haverdals och Villshärads kust i Figur 5.1.

Kartorna före och efter dumpningar är mycket lika (Figur 5.1). De höga bottenskjuvspänningarna (99 percentil) når dock $0,1\text{--}0,15 \text{ N/m}^2$ (ljusblå färg) i

en något större andel lokalt i dumpningsområdena samt vid gränsen till dumpningsområdena, i scenariot efter dumpningar.

Kartorna visar att risken för erosion är något större i det södra dumpningsområdet (både innan och efter dumpning), än i det norra.



Figur 5.1 Modellerad 99 percentil av bottensskjuvspänning före (överst) och efter dumpningar (underst), under vintern (december 2022 – mars 2023).

Tidsserier över modellerad bottenskjuvspänning har tagits ut i respektive dumpningsområde, och visas i Figur 5.2 (norra) och i Figur 5.3 (södra dumpningsområdet). Tidsserierna har tagits i en nordostlig punkt i respektive dumpningsområde, där skillnaden före och efter dumpningar syns tydligt. Skillnaden före och efter dumpningarna varierar över tid, vilket kan bero på rådande strömriktning. Skillnaderna är lite mindre i det norra dumpningsområdet än i det södra. Detta beror sannolikt på att det norra området har en större area än det södra, med en något mindre beräknad pålagring. Bottenförändringen som skapas av dumpningarna är alltså lite lägre i det norra området och över en större area, vilket ger en mindre lutning (gradient) på bottenförändringen i strömmens riktning jämfört med i det södra området (där den beräknade pålagringen är större, på en mindre area). Det södra dumpningsområdet har använts för dumpningar tidigare. Det norra dumpningsområdet ligger dessutom på ett större djup än det södra.

De högst förekommande bottenskjuvspänningarna i tidsserierna (Figur 5.2 och Figur 5.3) beskrivs i Tabell 3-1 av 90, 95 och 99 percentil (det vill säga nivåer av bottenskjuvspänning som endast överstigs 10%, 5% respektive 1% av tiden under den simulerade vintern). Skillnaden i dessa nivåer, mellan scenariona före och efter dumpningar, anges i kolumnen längst till höger i tabellen. Skillnaderna visar att bottenskjuvspänningen efter dumpningar ökar med ungefär 0,01–0,02 N/m², vid tillfällen med höga bottenskjuvspänningar, i det norra dumpningsområdet. I det södra dumpningsområdet ökar bottenskjuvspänningen med ungefär 0,02–0,04 N/m², under sådana tillfällen. Ökningen förväntas dock vara mindre än så i stora delar av dumpningsområdena (jämför kartan före och efter dumpningar i Figur 5.1).

Sammantaget visar jämförelserna att bottenskjuvspänningen ökar något lokalt vid dumpningsområdena efter dumpning, men att förändringen är relativt liten. Den naturliga variationen av bottenskjuvspänning vid dumpningsplatserna innebär att lätteroderade fina fraktioner kan erodera i dumpningsområdena oavsett om man dumpar där eller ej. Risken för erosion är något större i det södra området, i både scenariot före och efter dumpning.

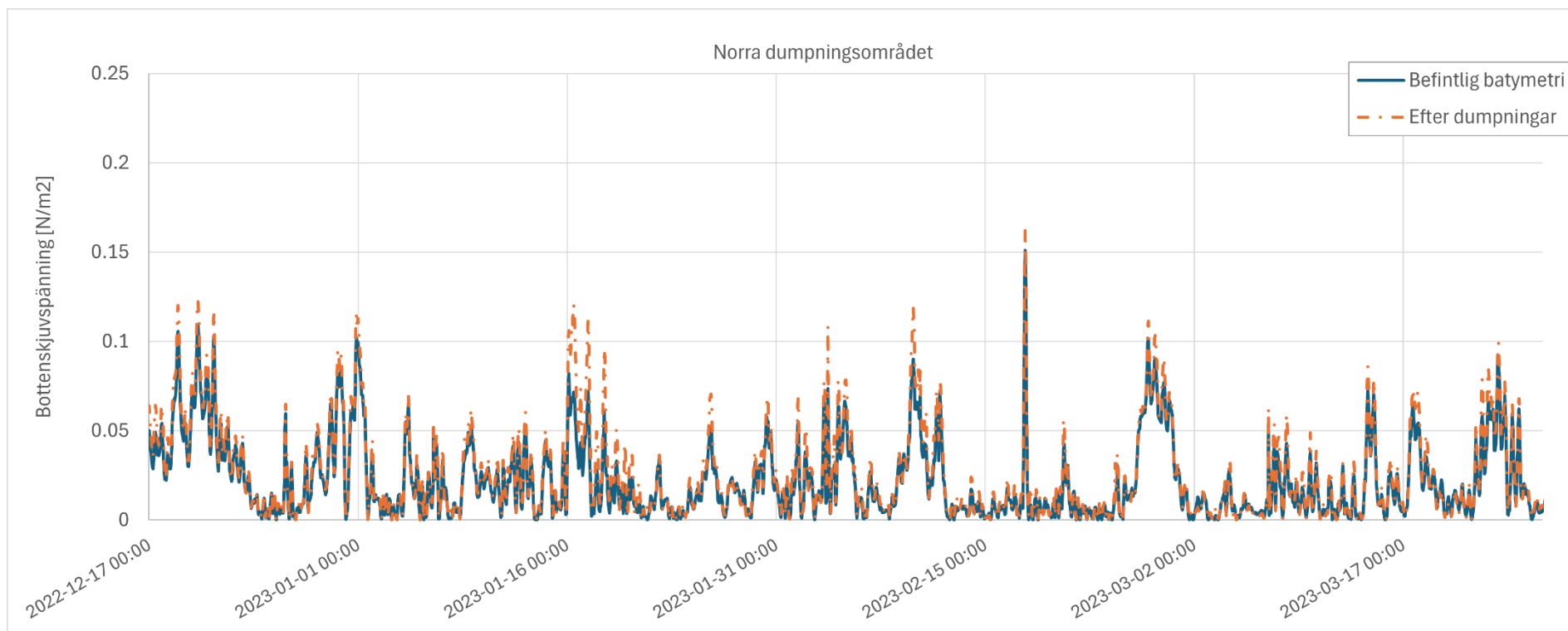
Ökningen av bottenskjuvspänning efter dumpning innebär att erosionsrisken ökar något lokalt i dumpningsområdena under stormförhållanden, på grund att områdena blir grundare.

I det norra området riskerar lätteroderade fina fraktioner i ytsedimenten att eroderas under vanliga stormförhållanden, efter dumpning. Bottenskjuvspänningen överstiger 0,1 N/m² 1% av tiden i modellscenariot efter dumpning, se 99 percentil i Tabell 5-1.

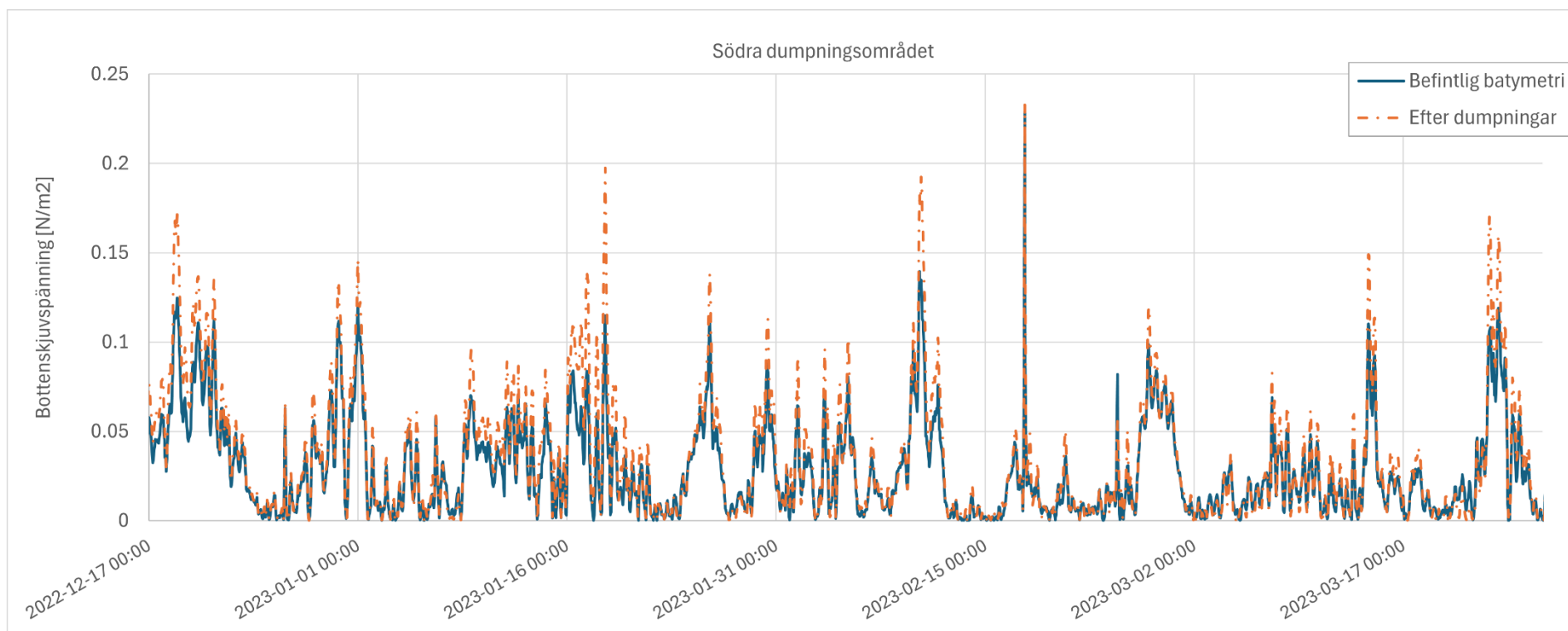
I det södra området riskerar lätteroderade fina fraktioner i ytsedimenten att eroderas under vanliga stormförhållanden redan innan man dumpar (bottenskjuvspänningen överstiger 0,1 N/m² 1% av tiden i modellscenariot med befintlig batymetri, se 99 percentil i Tabell 5-1). Efter dumpning ökar erosionsrisken. Bottenskjuvspänningen överstiger 0,1 N/m² 5% av tiden i modellscenariot efter dumpning i södra området, se 95 percentil i Tabell 5-1.

Tabell 5-1 Statistik (90, 95 och 99e percentil) över modellerad bottenskjuvspänning före (befintlig batymetri) och efter dumpningar under vintern december 2022 - mars 2023.

Dumpnings- område	Percentil	Modellerad bottenskjuvspänning [N/m ²]		Skillnad
		Befintlig batymetri	Efter dumpningar	
Norra	90	0,055	0,064	0,008
	95	0,066	0,077	0,011
	99	0,087	0,108	0,020
Södra	90	0,064	0,080	0,016
	95	0,081	0,102	0,022
	99	0,110	0,151	0,041



Figur 5.2 Modellerad bottenskjuvspänning i det norra dumpningsområdet, före (blå linje) och efter dumpningar (orange punkt-streckad linje).



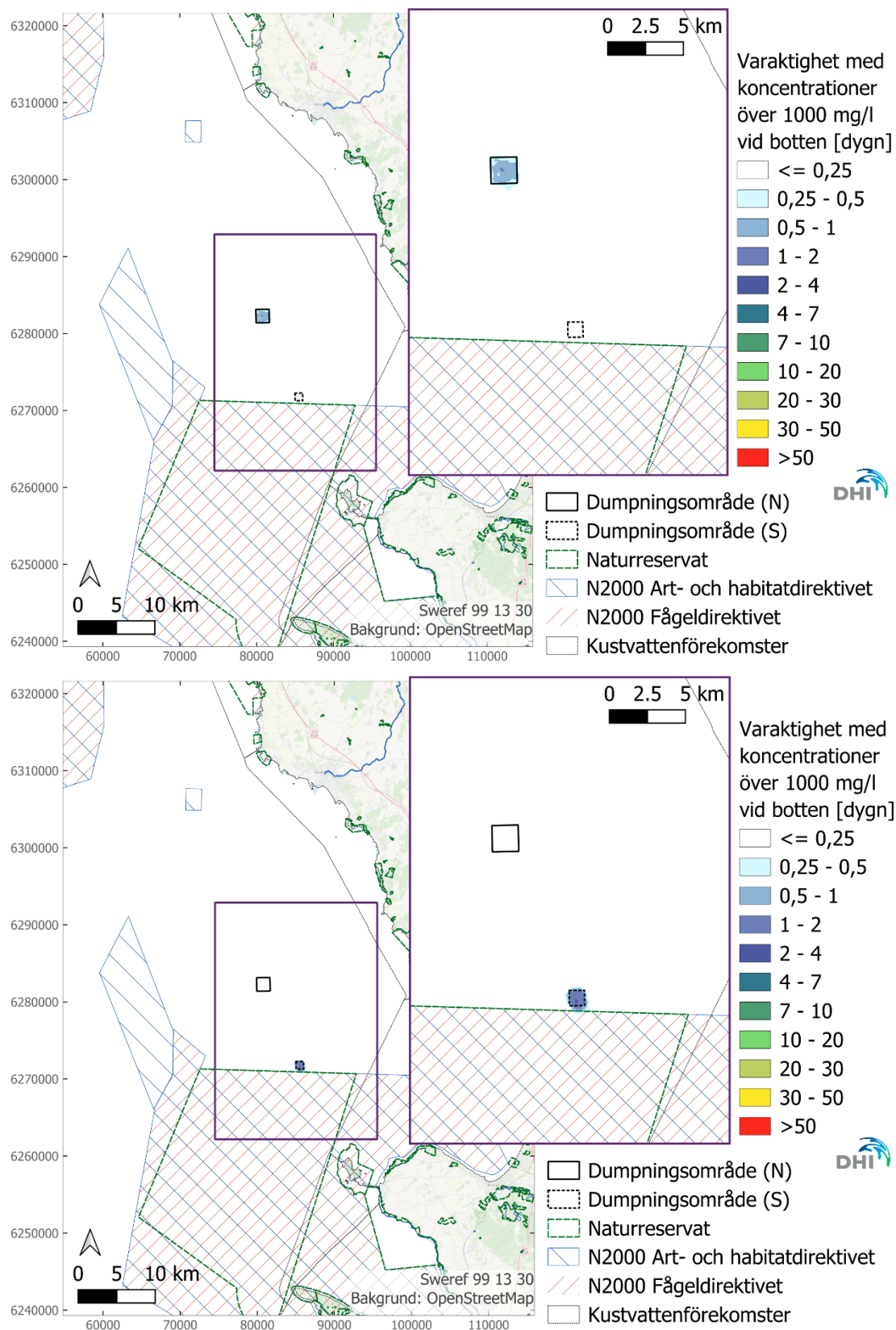
Figur 5.3 Modellerad bottenskjuvspänning i det södra dumpningsområdet, före (blå linje) och efter dumpningar (orange punkt-streckad linje).

6 Referenser

- /1/ Haakenstad, H. et al. "NORA3: A non-hydrostatic high-resolution hindcast for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea", 2021. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **60**, 1443-1464, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-21-0029.1>
- /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/ 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.
- /7/ DHI, "Modellering av sedimentspridning från dumpning av muddrade massor", 2023. Framtagen för Medins Havs och Vattenkonsulter AB – part of Sweco.
- /8/ Whitehouse, R., Soulsby, R., Roberts, W., Mitchener, H., "Dynamics of Estuarine Muds – A manual for practical applications", 2000. Thomas Telford Publishing.

Appendix A

Den sammanlagda tiden då grumlingen överstiger 1000 mg/l vid botten visas i Figur A 1.



Figur A 1 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen suspenderat material vid botten överstiger 1000 mg/l, vid dumpning i norra (överst) och i södra området (underst).