



## Modellering av sedimentspridning från anläggningsarbetet av vindparken Ran

Påverkansbedömning av sedimentspridning som del av miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) för installation av kablar och fundament

Rapport  
Projekt No. 12805334-01

2024-06-03



Framtagen för: Ran Vindpark AB





Modellering av sedimentspridning från anläggningsarbetet av vindparken Ran

Påverkansbedömning av sedimentspridning som del av miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) för installation av kablar och fundament

Rapport

Projekt No. 12805334-01

Förberedd för: Ran Vindpark AB

Representerade av: Elina Cuellar

Projektansvarig: Sina Saremi  
Kvalitetsansvarig: Sina Saremi  
Författare: Timothy Ley, Thomas Heggem, Mathias Singsaas Frøseth  
Projekt No.: 12805334-01  
Datum för godkännande: 2024-06-03  
Revision: Final  
Klassifikation: **Restricted:** This document may be shared within DHI whereas sharing it outside the DHI Group entities is subject to the client's prior approval.

## Sammanfattning

För att söka tillstånd för anläggningen av vindpark Ran behöver OX2 visa vilka koncentrationer av suspenderat sediment som anläggningsarbetet kan medför i området, och hur mycket sedimentation (utöver den naturliga) som detta kan medför när det suspenderade sedimentet sjunker till botten. Den här rapporten redovisar resultaten av sedimentspridningsmodelleringen för anläggning av fundament, plattformar och kablar för vindpark Ran. Vindparken är belägen cirka 12 kilometer från kusten i utsjön öster om Gotland. Sedimentmodelleringarna har utgått från ett exempel på en möjlig layout för vindparken. Den slutliga utformningen av vindparken kommer att fastställas under detaljprojekteringen. Anläggningsarbetet antas innefatta borrhning för 121 bottenfasta vindkraftsverksfundament och 4 plattformar samt högtrycksspölning för 318 kilometer dike för kablar.

Följande antaganden har gjorts för att modellera ett worst case scenario:

- Fundamentsanläggningsteknik som ger mest sedimentspill (borrad monopile)
- Layout med maximalt antal vindkraftsfundament, plattformar och dikeslängd
- Borrhning sker grupperat för intilliggande fundament samtidigt
- Anläggning av fundament (borrning) och kabeldikning antas ske samtidigt. I praktiken kommer emellertid kabeldikningen ske efter att fundamenten anlagts.
- Fina kornstorlekar används för borrhaxet från berggrunden.

Sammantaget leder dessa val till konservativa resultat när det gäller beräknade sedimentkoncentrationer, sammanlagda varaktigheter för sediment i vattenkolumnen och pålagring på botten.

En tredimensionell hydrodynamisk modell över vindparken och kringliggande vatten används och ett helår (2022) modellerades som en installationstidsperiod. I praktiken kan installationen komma att ske över en annan period. Utsläppet av sediment från borrhspill och kabeldikning antas ske vid botten.

Resultaten från simuleringen visar sammanfattningsvis:

- De högsta sedimentkoncentrationerna uppstår i de centrala delarna av parken, medan den slutliga sedimentationen sker relativt jämnt fördelat i parken, med störst ackumulation lokalt vid borrhpositionerna där anläggningsarbetet sker.
- Kartfigurerna för maximal sedimentkoncentration visar att sedimentplymer som når den gotländska kusten har koncentrationer under 20 mg/l. Tillsammans med analysen av de sammanlagda varaktigheterna visar resultaten att dessa sedimentplymer är mycket kortvariga. Koncentrationer över 10 mg/l varar totalt sett aldrig över 6 timmar, utom vid den nordligaste spetsen av Gotland där koncentrationer över 10 mg/l har sammanlagd varaktighet upp till 24 timmar (summerat alla tillfällen över hela året).
- Sammanlagda varaktigheter för sedimentkoncentrationer över 10 mg/l på botten blir totalt över 20 dagar i de centrala delarna av parken. Sammanlagda varaktigheter för sedimentkoncentrationer över 100 mg/l på botten, är huvudsakligen under 10 dagar, förutom runt plattformarna där koncentrationen överstiger tröskelvärdet mer än 10 dagar.
- Mellan borrhpositionerna är tjockleken av det sedimenterade materialet maximalt några decimeter och i utkanterna av parken några centimeter. Pålagring av sediment längs den gotländska kusten är mindre än 1 millimeter.

En kumulativ analys av både vindpark Ran och energipark Pleione har gjorts gällande båda parkernas sedimentspridning vid anläggningsarbeten. Resultaten visar att sedimentplymer och sedimentationsområden ej kommer beröras.

## Ordförklaring

De centrala resultaten i sedimentspridningsmodelleringen är koncentrationerna av partiklar i vattnet och den slutliga sedimentationen av partiklarna på botten. Nedan följer en kort beskrivning av begreppen relaterade till dessa resultat. Notera att samtliga resultatparametrar exkluderar naturliga bakgrundshalter av sediment.

Ord/förkortning	Beskrivning
Netto-sedimentation	Mäktigheten av ansamlat sediment på havsbotten över tid. Även kallat pålagring, vilket innefattar processer för eventuell resuspension efter att sedimentet spills.
SSC	Förkortning för <i>suspenderad sedimentkoncentration</i> . Anger mängden partiklar suspenderade i vattnet vid ett givet tillfälle.
Maximal SSC	Den maximala <i>suspenderade sedimentkoncentrationen</i> vid något tillfälle under modellsimuleringen.
Sammanlagda varaktigheter	Summering av tiden för alla tillfällen då ett visst tröskelvärde av SSC överskrids (i denna rapport 10 mg/l samt 100 mg/l). Notera att de sammanlagda varaktigheterna inte nödvändigtvis är kontinuerligt sammanhängande, utan kumulativa för hela modelleringsperioden.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Introduktion</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Dataunderlag och installationsschema</b> .....	<b>5</b>
2.1	Drivning, randvilkor och batymetri .....	5
2.2	Sedimentdata.....	6
2.3	Tekniska specifikationer och layout.....	8
2.4	Installationsschema och antaganden.....	9
2.5	Scenariodefinition .....	10
<b>3</b>	<b>Metod</b> .....	<b>11</b>
3.1.1	Modellområde och beräkningsnät .....	11
3.2	Modelleringsperiod .....	12
3.3	Sedimentspill från anläggningsarbete .....	13
3.3.1	Dikning för kabelinstallation med högtrycksspolning .....	13
3.3.2	Borrning för fundament till vindkraftsverk och plattformar .....	13
<b>4</b>	<b>Resultat för modellering av sedimentspridning</b> .....	<b>14</b>
4.1	Ögonblicksbilder .....	15
4.2	Maximal suspenderad sedimentkoncentration.....	18
4.3	Sammanlagda varaktigheter av suspenderad sedimentkoncentration.....	20
4.4	Netto-sedimentation .....	24
4.5	Diskussion .....	25
<b>5</b>	<b>Kumulativ sedimentspridning för vindpark Ran och energipark Pleione</b> .....	<b>26</b>
5.1	Utsläpp av borrhull vid botten i vindpark Ran och vid botten i energipark Pleione .....	27
5.1.1	Maximal suspenderad sedimentkoncentration.....	27
5.1.2	Netto-sedimentation .....	28
5.2	Utsläpp av borrhull vid botten i vindpark Ran och vid ytan i energipark Pleione .....	29
5.2.1	Maximal suspenderad sedimentkoncentration.....	29
5.2.2	Netto-sedimentation .....	30
<b>6</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>31</b>
<b>Appendix A</b>	<b>Modellbeskrivning</b> .....	<b>I</b>
<b>Appendix B</b>	<b>Installationsschema</b> .....	<b>VI</b>
<b>Appendix C</b>	<b>Fördjupad diskussion</b> .....	<b>VII</b>

## Figurer

Figur 1-1	Översikt av närområdet vid vindpark Ran. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	4
Figur 2-1	Översikt av modelldomänen och batymetrin. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	5
Figur 2-2	Indelningen av de tre olika sedimentzonerna inom parkområdet. Provtagningspunkterna för sikt kurvorna är markerade med gröna prickar. Datakälla: Miljöprovtagningar utförda av NIRAS 2023.	6
Figur 2-3	Exempellayout för energipark Pleione som utgångspunkt för modelleringen, enligt teknisk specifikation (Tabell 2-3).	9
Figur 3-1	Horisontellt beräkningsnät där bild A (vänster) visar hela domänen, bild B (höger överst) visar området från Gotlands kust ut mot Gotlandsdjupet och bild C (höger nederst) visar området lokalt runt Ran. I bild C visas med streckad vit linje lokaliseringen av tvärsnittet i Figur 3-2. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	11
Figur 3-2	Det vertikala beräkningsnätet i ett snitt taget från väst till öst genom parkområdet Ran.	12
Figur 4-1	Ögonblicksbild av SSC vid <i>botten</i> (inom 0,5 meter) vid tidpunkt 2022-05-17, 15:45. Lokaliseringen av transekten för det vertikala snittet visas med streckad linje.	15
Figur 4-2	Ögonblicksbild av SSC vid <i>ytan</i> (inom 0,5 meter) vid tidpunkt 2022-05-17, 15:45. Eftersom spill sker vid botten är sedimentkoncentrationerna vid ytan låga. Det finns inga områden med koncentrationer över 2 mg/l i detta ögonblick.	16
Figur 4-3	Vertikalt tvärsnitt vid position som visas i Figur 4-1. Borrspillet från plattformen, som släpps vid botten, kan ses i mitten (området med högst koncentration). Spillet vid botten från kabeldikningen kan ses till vänster om borrhullet. Till höger visas spillet från en av plattformarna i norr (se position i Figur 2-3) där borrhullet nyligen avslutats. Linjen "IP 2" indikerar var transekten byter riktning (se Figur 4-1).	17
Figur 4-4	Maximal SSC vid <i>botten</i> (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	18
Figur 4-5	Maximal SSC vid <i>ytan</i> (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	19
Figur 4-6	Varaktighet nära <i>botten</i> (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 10 mg/l. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	20
Figur 4-7	Varaktighet nära <i>botten</i> (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 100 mg/l. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	21
Figur 4-8	Varaktighet nära <i>ytan</i> (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 10 mg/l. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	22
Figur 4-9	Varaktighet nära <i>ytan</i> (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 100 mg/l. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	23
Figur 4-10	Pålagring av sediment på botten två veckor efter anläggningsarbetet avslutats. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	24
Figur 5-1	Maximal SSC vid <i>botten</i> (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.	27

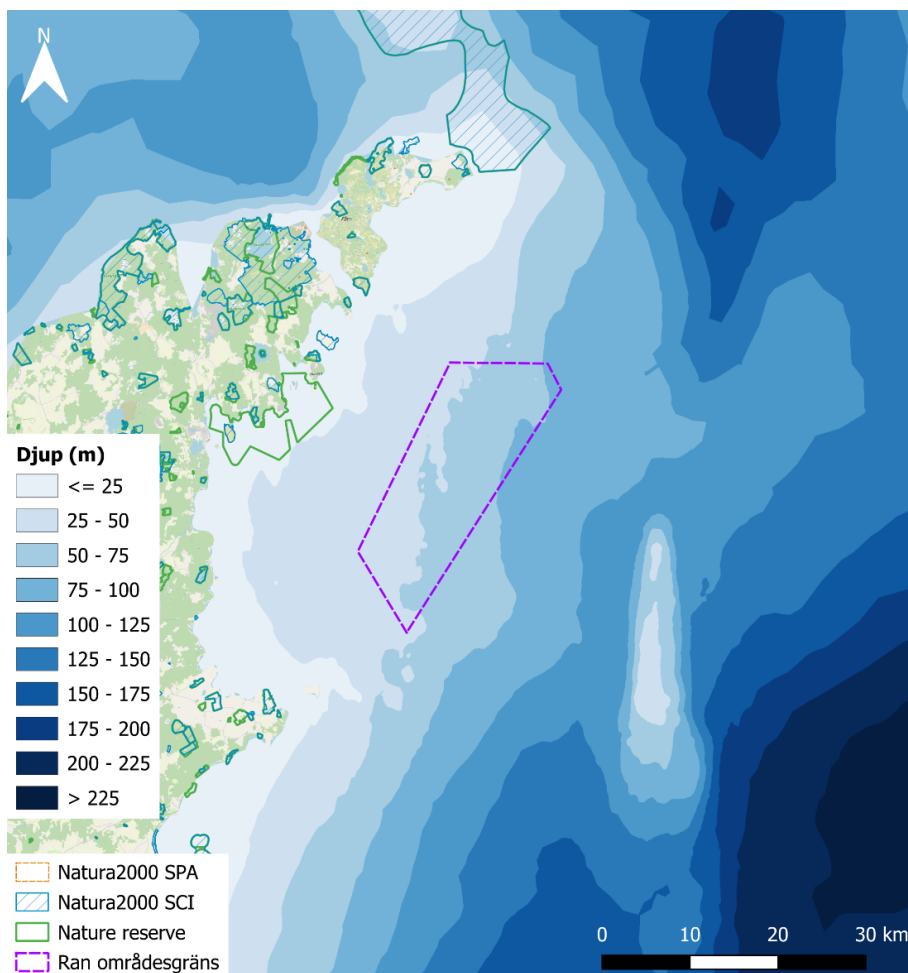
Figur 5-2	Pålagring av sediment på botten 2 veckor efter anläggningsarbetet för vindpark Ran avslutats (6 månader efter anläggningsarbetet för energipark Pleione avslutas). Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.....	28
Figur 5-3	Maximal SSC vid <i>y<sub>tan</sub></i> (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare. ....	29
Figur 5-4	Pålagring av sediment på botten 2 veckor efter anläggningsarbetet för vindpark Ran avslutats (6 månader efter anläggningsarbetet för energipark Pleione avslutas). Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.....	30
Figur 6-1	Valideringspunkter för temperatur, salt och densitet. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare. ....	II
Figur 6-2	Jämförelse mellan mätningar och modellen för mätpunkt P13 och P17 för temperatur, salt och densitet. Röd linje visar P13 medan svart linje är P17. Heldragen linje är modell och streckad linje är mätning.....	III
Figur 6-3	Jämförelse av vatenstånd vid Visby. Modellen är röd linje och mätning är svart linje. .	IV

## Tabeller

Tabell 2-1	Definition av de tre olika sedimentfraktionerna.....	6
Tabell 2-2	Lagerföljd och sedimentfraktionsfördelning av bottenmaterial. ....	7
Tabell 2-3	Övergripande tekniska specifikationer för Ran. ....	8
Tabell 6-1	Installationsschema för Ran där gul skuggad ruta indikerar att arbete som genererar sedimentspill sker.....	VI
Tabell 6-2	Installationsschema för Pleione där gul skuggad ruta indikerar att arbete som genererar sedimentspill sker. ....	VI

# 1 Introduktion

DHI Sverige AB (här nedan kallat DHI) har fått i uppdrag av Ran Vindpark AB (här nedan kallat beställaren) att göra en bedömning av sedimentspridningen, som en del av miljökonsekvensbedömningen (MKB), för installation av fundament till vindkraftsverk och plattformar samt kabeldikning för vindpark Ran. Vindparken är belägen cirka 12 km öster om den gotländska kusten i området som visas nedan i Figur 1-1.



**Figur 1-1 Översikt av närområdet vid vindpark Ran.**

Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

DHI har skapat en lokal 3-dimensionell modell (MIKE 3 FM) för att studera spridningen av sedimentplymer från anläggningsarbetet, vid nedborring av fundament för vindkraftverk och plattformar samt kabeldikning.

Rapporten är uppbyggd enligt följande:

- Avsnitt 2 beskriver indata till modellen, som består av batymetri, drivparametrar och sedimentdata samt de tekniska specifikationerna relaterade till anläggningsarbetet. Utsläppsscenarioet och antagandena beskrivs i slutet på detta avsnitt.
- Avsnitt 3 beskriver modelluppsättningen för studien av sedimentspridningen, inklusive modellens beräkningsnät, fysikaliska sedimentegenskaper och spillkällor.
- Avsnitt 4 redovisar resultaten från sedimentspridningsmodelleringen för vindpark Ran.
- Avsnitt 5 redovisar den kumulativa sedimentspridningsanalysen för vindpark Ran och energipark Pleione.



## 2 Dataunderlag och installationschema

I det här avsnittet beskrivs den data som har använts för att ta fram modellen för sedimentspridningssimuleringen.

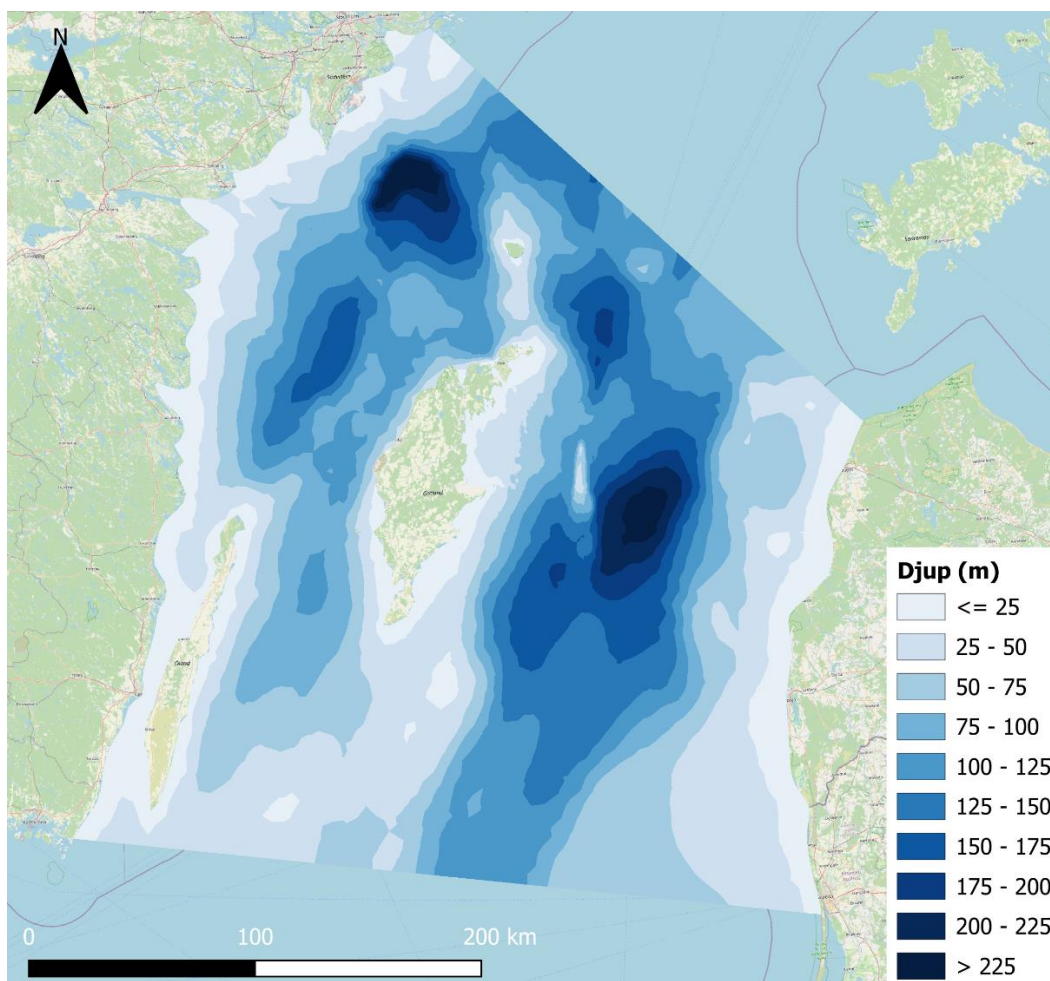
### 2.1 Drivning, randvilkor och batymetri

Området för modell täcker ett stort område av Östersjön runt Gotland, enligt Figur 2-1.

Drivning av hydrodynamik- och vågmodellen kommer från meteorologiska fält. Drivparametrar för vind (hastighet och riktning) och lufttryck har hämtats från reanalysis datasetet NORA3 (<https://doi.org/10.1175/JAMC-D-21-0029.1>). Upplösningen i datasetet är 3x3 km med 1 timmes intervall, referens /3/.

Oceanografiska randvilkor (vattenstånd, strömmar, salinitet och vattentemperatur) vid modelldomänens yttre ränder är dynamiska (varierar i tid och rum) och har hämtats från CMEMS (<https://doi.org/10.48670/moi-00010>).

Batymetrisk data har hämtats från EMODnet (<https://www.emodnet-bathymetry.eu/dataproducts>). Samtliga djupdata som presenteras i denna rapport är baserad på denna data.

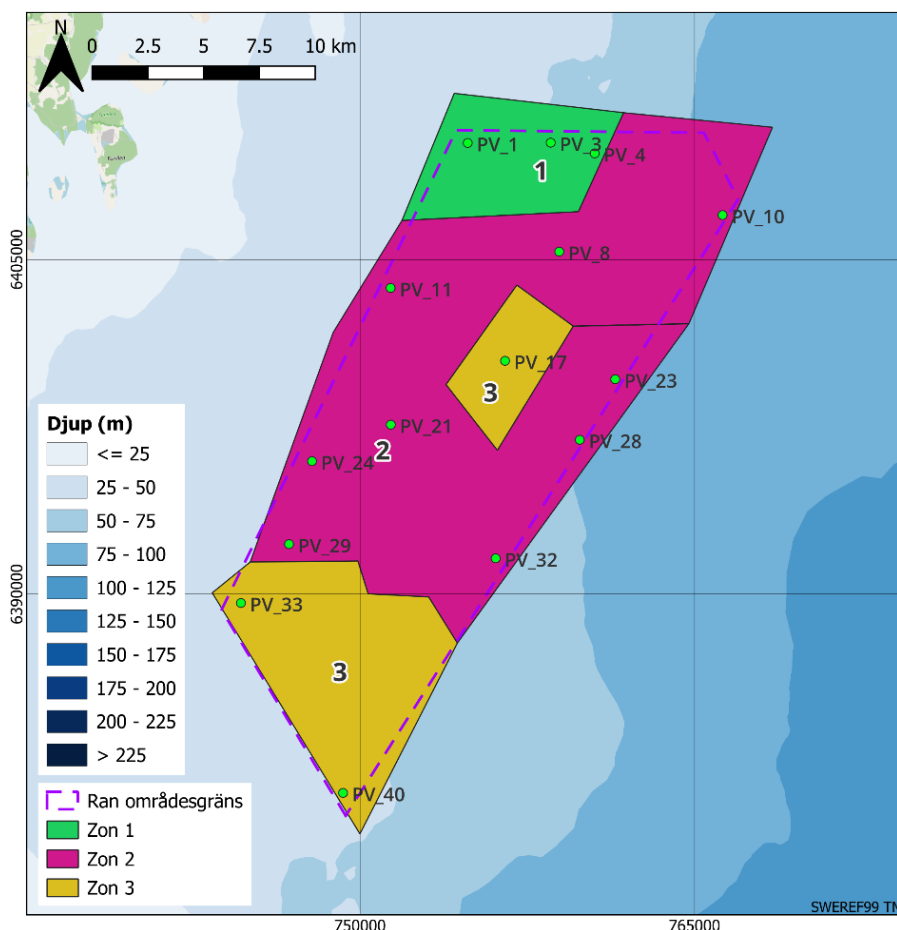


**Figur 2-1** Översikt av modelldomänen och batymetrin.

Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

## 2.2 Sedimentdata

Siktcurvor från undersökningar av bottenmaterialet inom projektområdet har tillhandahållits av beställaren, baserad på miljöprovtagning utförd av NIRAS (2023). Utifrån dessa siktcurvor har DHI tillsammans med beställaren delat in projektområdet i tre olika sedimentzoner beroende på andelen ler inom det översta jordlagret. Materialspletten från anläggningsarbetena blir på så vis beroende av vilken zon arbetet sker inom. Gränslinjerna för de olika zonerna visas i Figur 2-2.



**Figur 2-2 Indelningen av de tre olika sedimentzonerna inom parkområdet. Provtagningspunkterna för siktcurvorna är markerade med gröna prickar. Datakälla: Miljöprovtagningar utförda av NIRAS 2023.**

Kornstorleksfördelningen av bottenmaterialet inom respektive zon är uppdelat enligt Tabell 2-2 i tre olika sedimentfraktioner (ler, silt och finsand). DHI har tagit fram fysikaliska parametrar för respektive sedimentfraktion för att simulera hur materialen beter sig när det suspenderas i vattnet (Tabell 2-1). Berggrunden (>20 meter, "L2") är ett hårdare material än det övre jordlagret och antas krossas av borren till finare material enligt uppdelningen i Tabell 2-2.

**Tabell 2-1 Definition av de tre olika sedimentfraktionerna.**

Fraktion	Kornstorlek	Fallhastighet [mm/s]	Densitet deponerat sediment [kg/m <sup>3</sup> ]
F1	Ler	0,05	280
F2	Silt	0,5	280
F3	Finsand	3	1600

Det bör noteras att lerpartiklar inte stannar kvar som primära partiklar i havsvattnet utan tenderar att skapa större aggregat med olika storlekar (flockulera). Fallhastigheten för ler är baserade på typiska fallhastigheter för mycket fina flockar.

**Tabell 2-2 Lagerföljd och sedimentfraktionsfördelning av bottenmaterial.**

Zon	Lager	Djup [m]	Fraktion (F1, F2, F3) [%]	Insitu torrdensitet [kg/m <sup>3</sup> ]
1	L1	0–20	70%, 25%, 5%	1800
	L2	>20	33%, 33%, 34%	2200
2	L1	0–20	50%, 40%, 10%	1800
	L2	>20	33%, 33%, 34%	2200
3	L1	0–20	12%, 8%, 80%	1800
	L2	>20	33%, 33%, 34%	2200

Nyligen deponerade sediment på havsbotten har tillgivits en torrdensitet på 280 kg/m<sup>3</sup> för ler och silt, medan finsand bedöms få en torrdensitet på 1600 kg/m<sup>3</sup>. Med tiden kommer materialet att konsolidera och därmed bilda tunnare lager än vad som presenteras i denna rapport. Det är möjligt att deponerat sediment kan resuspenderas om bottenskjuvspänningen överstiger 0,1 N/m<sup>2</sup> (referens /2/ och /4/).

Sedimentet förs in i modellen som sedimentkällor från de olika verksamheter som orsakar sedimentspill (se Avsnitt 3.3).

## 2.3 Tekniska specifikationer och layout

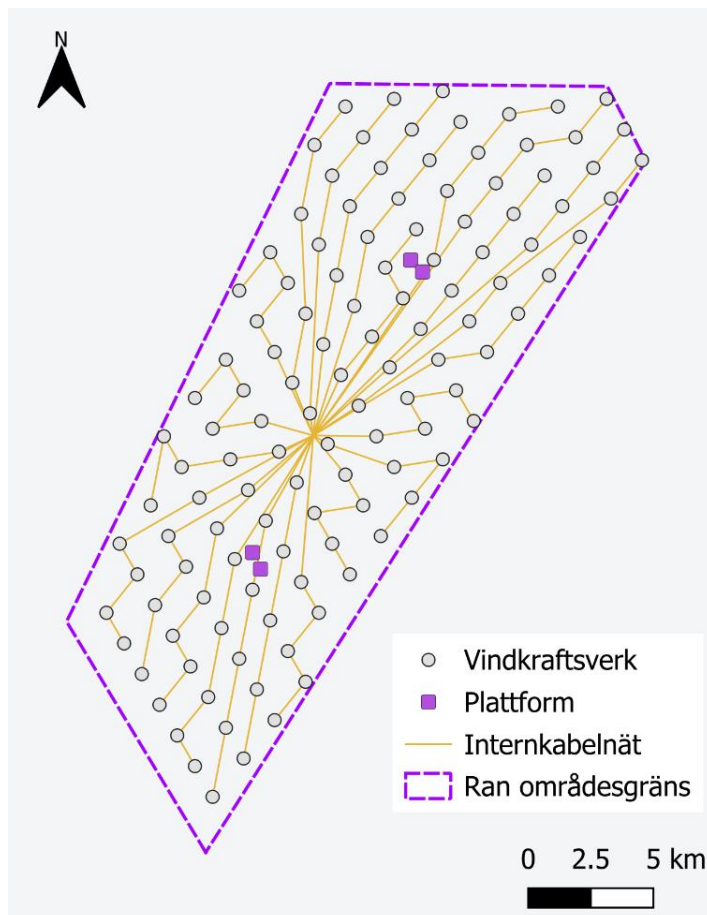
I Tabell 2-3 sammanfattas de tekniska detaljerna för fundamenten och kablarna. Antal turbiner, dimensioner på fundament samt längden och dimensionerna på dikena utgör underlag för mängden sediment som spills i modellen. Resultaten för sedimentspridningen gäller även för andra layouts av parken om mängden sediment som spills är densamma och fördelningen av fundament och kabelnät är snarlik. Detta gäller också för dimensioneringen av borrhålen, med utgångspunkt i att borrhastigheten och mängden sediment som spills inte påverkas.

**Tabell 2-3 Övergripande tekniska specifikationer för Ran.**

Vindkraftverk	Specifikation
Typ av fundament	Monopile
Antal vindkraftsverk	121
Spill per fundament (max)	D 12 m x djup 100 m = 11 300 m <sup>3</sup>
Tid per fundament	5,2 dagar (4,7 +0,5 dag förflyttning) med 100 m <sup>3</sup> /h
Borriggar	2 (parallellt/överlappande)
OSS/Plattformar	Specifikation
Antal plattformar	4
Spill per plattform (max)	16 pålar x D 6 m x djup 75 m = 33 900 m <sup>3</sup>
Tid per plattform	15,2 dagar (14,7 + 0,5 dag förflyttning) med 2 x 100 m <sup>3</sup> /h
Borriggar	2 (i par)
Internkabelnät	Specifikation
Total längd	318 km* (dikets längd på havsbotten)
Metod dikning	Högtryckspolning ("jetting" på engelska)
Storlek dike	1,5 m x 1 m triangulärt; 0,75 m <sup>2</sup>
Hastighet dikning	150 m/h

*\*Dikets totala längd är beräknad för modellerad layout. Andra utformningar av diket kan förekomma.*

I Figur 2-3 redovisas den modellerade layouten av vindparken. Den slutliga utformningen av vindparken kommer att fastställas under detaljprojekteringen. För att simulera ett "worst case" scenario för kabelnätet har antagandet gjorts att alla kablar skall ledas in till en gemensam knutpunkt i de centrala delarna av parken. Detta medför att kabelnätet blir längre jämfört med om det funnits fler anslutningspunkter utspritt i parken.



**Figur 2-3 Exempellayout för energipark Pleione som utgångspunkt för modelleringen, enligt teknisk specifikation (Tabell 2-3).**

## 2.4 Installationsschema och antaganden

De sedimentspridningsberäkningar som har gjorts baseras på ett scenario som utgör worst case ur flera olika perspektiv:

- 1) Installationsmetoden: Sedimentet som sprids i modellen kommer från spill vid borrning av fundament (monopiles för vindkraftverken och fackverksfundament för plattformarna) och nedspolning av kablar. Dessa två installationsförfaranden har valts för denna modellering eftersom de förväntas orsaka den mest omfattande sedimentspridningen och de utgör därmed ett worst case avseende val av installationsmetoder. Att denna modellering fokuserar på installation av monopiles för vindkraftverken beror på att installation av denna typ av fundament bedöms ge betydligt större spillvolym och således mer sedimentspridning än installation av andra typer av fundament. Det antas att 100% sedimentet vid borrning spills. Vid nedspolning av kabel antas att andelen spill är 70 %. Detta får ses som en mycket hög andel, baserat på tillgängliga litteratordata (/5/).

- 2) Layout: I det worst case scenario som har modellerats ska 121 vindkraftverk och 4 plattformar byggas, samt cirka 318 kilometer kabel spolas ned under anläggningen. I praktiken kan det bli färre fundament och kortare kabeldragningar.
- 3) Antalet borrhigar som borrar samtidigt: I det modellerade fallet för installationen kommer två borrhigar att arbeta parallellt och intill varandra. Borrhiggarna arbetar tidsmässigt med överlapp, det vill säga att sediment konstant spills från någon av riggarna. Detta är att betraktas som ett worst case eftersom plymerna från borrhiggarna tillåts att samverka på en mindre yta än om borrhiggarna hade arbetat utspritt. Vid anläggandet av plattformarna arbetar de två riggarna tillsammans på respektive plattform.
- 4) Anläggningen av fundament (borrning) och kabeldikning: I modellen antas detta ske samtidigt. I praktiken kommer emellertid kabeldikningen ske efter att fundamenten anlagts, vilket innebär att sedimentplymerna från borrning respektive kabeldikning inte kommer samverka.
- 5) Total anläggningstid och exkluderande avbrott: Installationsarbetet antas ske kontinuerligt – utan några avbrott. Anläggningstid blir då cirka 12 månader, vilket i praktiken troligtvis blir längre. Ju kortare anläggningstiden är, desto mer sediment spills i vattenkolumnen per tidsenhet. Avsaknaden av avbrott i anläggningsförfarandet gör också sedimentplymerna får större sannolikhet att samverka. För detaljerat installationsschema, se Appendix B.
- 6) Kornfördelning av borrhax vid borrning i berggrunden: Det är svårt att på förhand bedöma materialegenskaperna på borrhaxet och det finns väldigt lite information att tillgå från utförda borrningar i liknande material. I samråd med beställaren gjordes därför antagandet att fördela en tredjedel i varje fraktion (ler, silt och finsand) när det nedersta lagret borrar (se Avsnitt 2.2), vilket antogs vara ett konservativt antagande för beräknade sedimentkoncentrationer med hänsyn till osannolikheten att en borrhax skulle finfördela berggrunden i högre grad än detta.

Sedimentmodelleringarna har utgått från ett exempel på en möjlig layout för vindparken. Den slutliga utformningen av vindparken kommer att fastställas under detaljprojekteringen.

## 2.5 Scenariodefinition

Borrspillet från anläggningsarbetet antas släppas vid botten i modelleringen. Syftet med detta är att begränsa spridningen av sediment utanför parkområdet för Ran.

I tillägg till utsläppsscenarierna för vindpark Ran har även en kumulativ analys gjorts av sedimentspillet från den intilliggande energiparken Pleione ifall båda parker skulle anläggas över samma period. För detaljerat installationsschema, se Appendix B.

Resultaten för sedimentspill enbart från energipark Pleione redovisas i Avsnitt 4 och resultaten för sedimentspill med både energipark Pleione och vindpark Ran presenteras i Avsnitt 5.

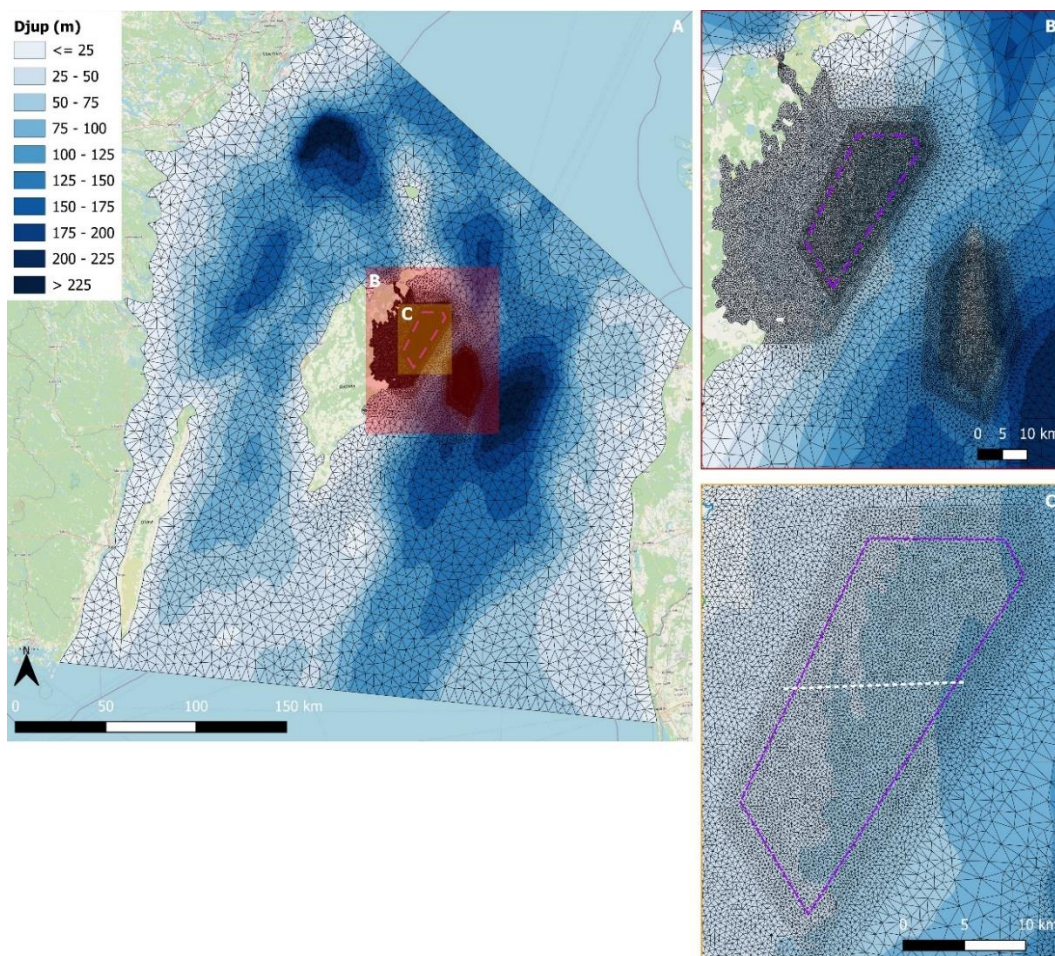
### 3 Metod

Studien för sedimentplymens spridning har utförts med hjälp av DHIs tredimensionella flödesmodelleringsmjukvaran MIKE 3 FM. Modellen har genomförts genom en så kallad "frikopplad" metod, där flödesförhållandena först simuleras med MIKE 3 FM Hydrodynamic and Transport Module (HD). Baserat på resultaten från flödesmodelleringen simuleras därefter sedimenttransporten med MIKE 3 FM Mud Transport Module (MT). En detaljerad beskrivning av programvaran finns i Appendix A.1, Appendix A.2 och Appendix A.3.

Modelleringen används för att studera hur den suspenderade sedimentkoncentrationen varierar och sprids under installationsarbetena av fundamenten och kablarna.

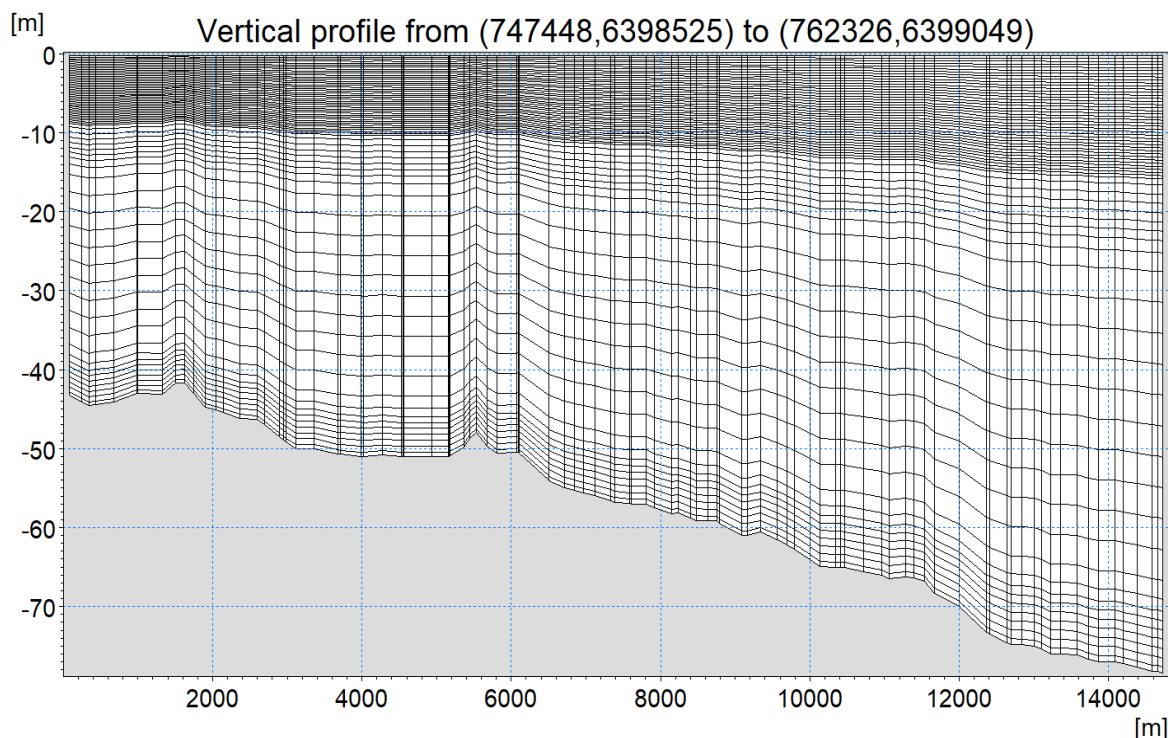
#### 3.1.1 Modelldomän och beräkningsnät

Modellens horisontella beräkningsnät visas i Figur 3-1. Modellen är byggd med ett flexibelt beräkningsnät där storleken på beräkningscellerna varierar inom domänen för att effektivt kunna simulera flödet med hög upplösning där det behövs. Storleken på beräkningscellerna varierar från 4,5 kilometer i ytterkanterna på domänen och ned till cirka 300 meter inom vindparken. Upplösningen bedöms vara tillräcklig för att simulera strömmarnas horisontella gradient i områden med sedimentspill och följaktligen sedimentplymens spridning.



**Figur 3-1** Horisontellt beräkningsnät där bild A (vänster) visar hela domänen, bild B (höger överst) visar området från Gotlands kust ut mot Gotlandsdjupet och bild C (höger nederst) visar området lokalt runt Ran. I bild C visas med streckad vit linje lokaliseringen av tvärsnittet i Figur 3-2. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

Det vertikala beräkningsnätet i modellen är uppdelat i 80 lager (68 sigma-lager (flexibel tjocklek) ner till 100 meters djup och 12 z-lager (konstant tjocklek) på större djup än 100 meter (för teknisk beskrivning, se referens /1/)), med högre upplösning (tätare fördelning av lager) närmast ytan och botten. Detta för att säkerställa en tillräcklig upplösning på de djup där sedimenten sprids och för att modellera den skiktning som uppstår i de övre vattennivåerna på grund av densitetsvariationer. Figur 3-8 visar en delsektion av beräkningsnätet, som sträcker sig från väst till öst, och illustrerar den vertikala upplösningen av beräkningsnätet. Elementen nära botten varierar i tjocklek, och vid 30 meters djup är cellhöjden cirka 2,5 meter, medan cellhöjden vid 50 meters djup är cirka 0,7 meter.



**Figur 3-2** Det vertikala beräkningsnätet i ett snitt taget från väst till öst genom parkområdet Ran.

### 3.2 Modelleringsperiod

Anläggningen av vindparken antas pågå strax under ett års tid (från maj till april året därpå) med kontinuerligt installationsarbete. Detta antas vara ett konservativt scenario eftersom installationsarbetet i praktiken förväntas ta längre tid, vilket skulle resultera i lägre sedimentkoncentrationer.

Mätningar av salinitet och temperatur gjordes inom parkområdet under 2022. För att kalibrera modellen utifrån dessa mätningar beslutades därför 2022 vara ett lämpligt modelleringsår.



### 3.3 Sedimentspill från anläggningsarbete

I följande avsnitt beskriv hur sedimentspillen från de olika anläggningsarbetena implementeras i modellen.

#### 3.3.1 Dikning för kabelinstallation med högtrycksspolning

Internkabelnätet kommer spolas ner i diken med ett fartyg utrustat med en spolarm. När spolarmen förflyttas mobiliseras sedimentet i dikets tvärsnitt. I denna studie simuleras spolning med hastigheten 150 m/h. Notera att en förändring av dikningshastigheten inte förändrar den totala mängden suspenderat material, utan enbart spridningshastigheten. 70% av materialet suspenderas i vattnet precis ovanför diket. Siffran baseras på litteratordata (/5/). Detta antas vara källan för spill i modellen, vilket sätts in i den första beräkningscellen ovanför havsbotten vid spolarmens. Resterande 30% av spillet landar direkt på kanten av diket, utan att bidra till mängden suspenderat sediment.

Spillet (sedimentflödet) i modellen ( $\dot{M}_S$ ) blir en funktion av dikningsmaskinens hastighet ( $V_D$ ), dikets tvärsnittsarea ( $A$ ) och havsbottens torrdensitet ( $\rho_d$ ), beräknad med följande ekvation:

$$\dot{M}_S = 0,7 \times V_D \times A \times \rho_d$$

Det totala sedimentflödet fördelas sedan beroende på kornstorleksfördelningen, som beskrivits i Avsnitt 2.2.

#### 3.3.2 Borring för fundament till vindkraftsverk och plattformar

När borring görs extraheras bottenmaterialet. Det mest konservativa antagandet är att allt (100%) av detta material spills i punkten för anläggningsarbetet. När materialet släpps ut vid botten, direkt via en pipeline från borrhjulet, kommer det densitetsdrivna utsläppet spridas i vattnet inom de närmaste 6 meterna över havsbotten. Den höga sedimentkoncentrationen i den utsläppta blandningen av borrhax och vatten innebär att vätskan får en betydligt högre densitet än recipienten. Utsläppet av den tunga blandningen av sediment och vatten från borrhjulet kommer att bilda ett densitetsdrivet nedåtgående flöde i form av en plym som sjunker till botten, kollapsar och sprider sig längs med botten.

Spillet (sedimentflödet) i modellen ( $\dot{M}_S$ ) blir en funktion av borrhastigheten ( $V_B$ ), fundamentets horisontella tvärsnittsarea ( $A$ ) och havsbottens torrdensitet ( $\rho_d$ ), beräknad med följande ekvation:

$$\dot{M}_S = 1,0 \times V_B \times A \times \rho_d$$

Det totala sedimentflödet fördelas sedan beroende på kornstorleksfördelningen, som beskrivits i Avsnitt 2.2.

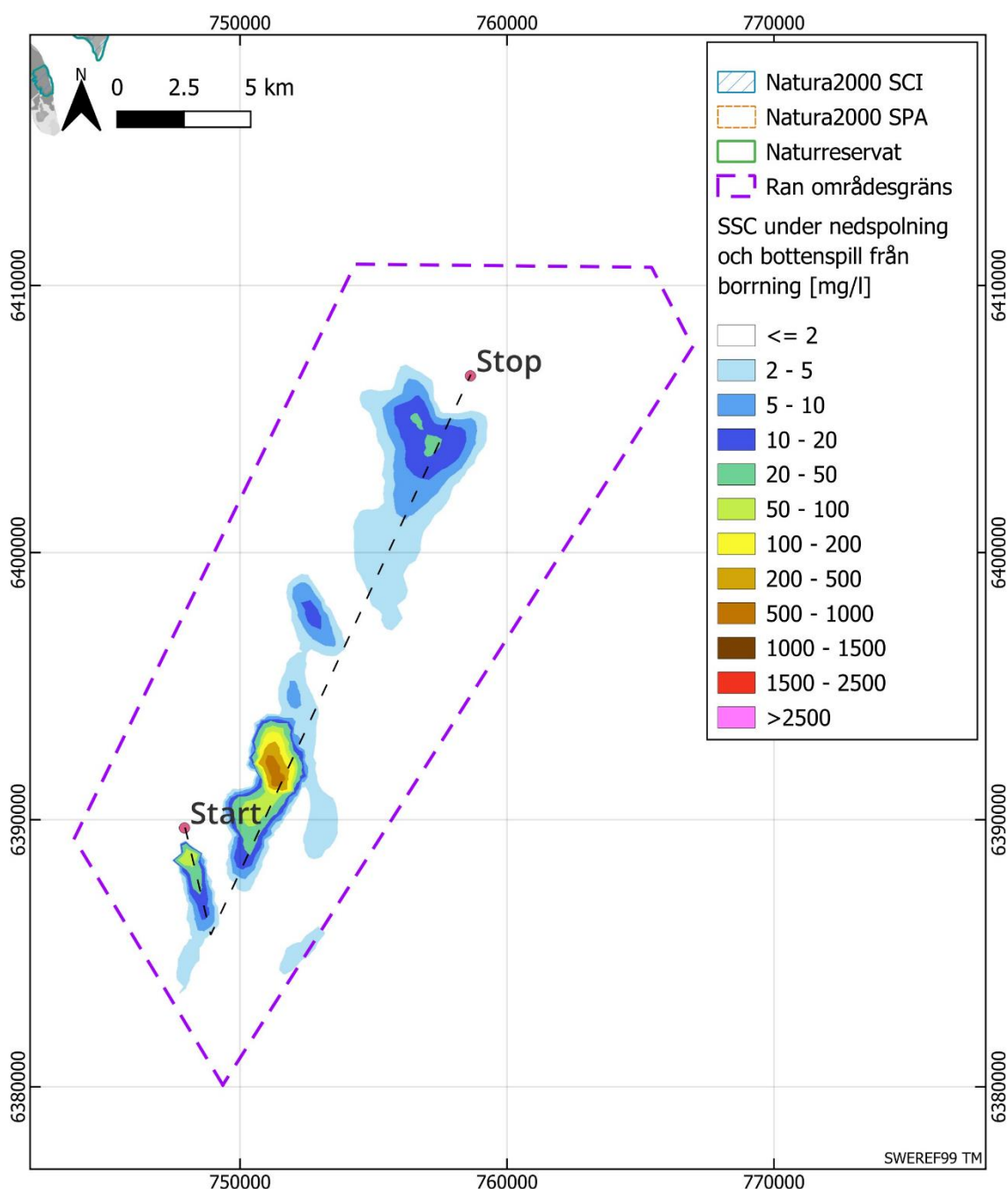
## 4 Resultat för modellering av sedimentspredning

I detta avsnitt presenteras resultaten för simuleringen av sedimentspredningen vid anläggningsarbetet för Ran. Både borrhull och spill från högtrycksspölning sker på botten. Följande kartresultat presenteras:

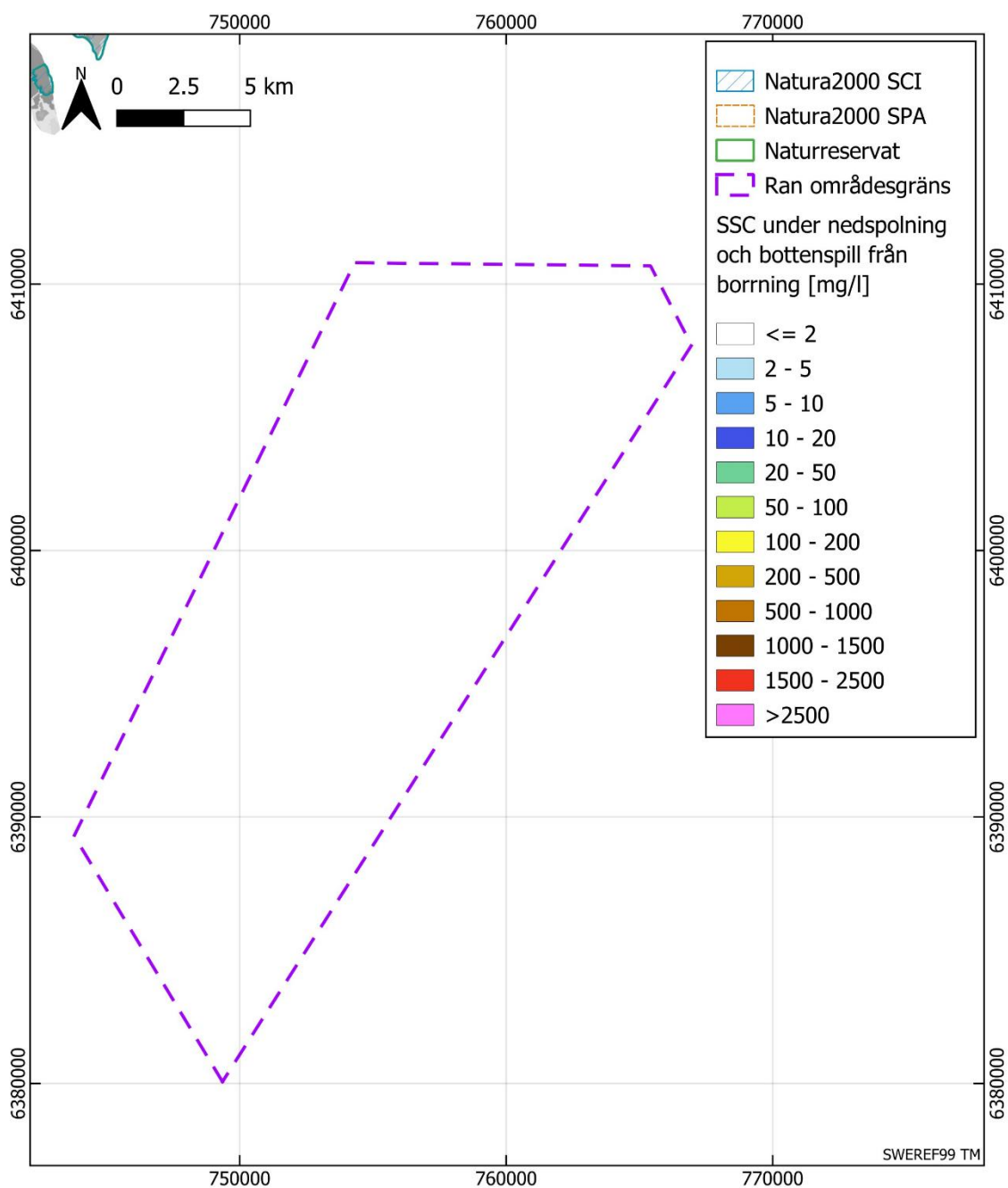
- Ögonblicksbilder av sedimentplumer under installationsarbetet.
- Maximal koncentration av suspenderat sediment (99:e percentilen) vid botten och vid vattenytan (cirka 0,5 meter över botten respektive under ytan).
- Varaktigheten för koncentrationer av suspenderat sediment överskridande 10 eller 100 mg/l vid botten och vid vattenytan (cirka 0,5 meter över botten respektive under ytan).
- Netto-sedimentationen (pålagringens utbredning och tjocklek) två veckor efter anläggningsarbetet avslutats.

## 4.1 Ögonblicksbilder

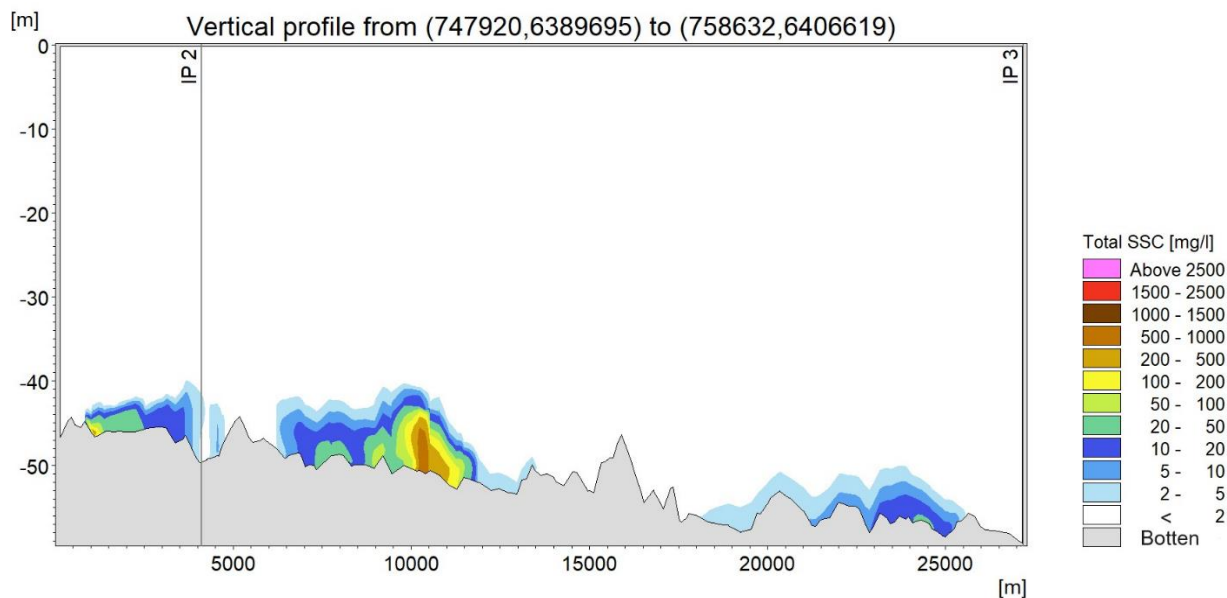
För att få en överblick av hur sedimentplymerna ser ut momentant redovisas i detta avsnitt ögonblicksbilder av SSC. Tidpunkten för ögonblicksbilderna har valts för att visa hur sedimentspridningen ser ut när borrhull sker vid en av plattformarna (i söder), vilket genererar de högsta sedimentkoncentrationerna. Transekterna är dragna i riktning för att visa de största sedimentplymerna. För en fördjupad diskussion om passiva organismers horisontella rörelser i förhållande till utspädningen av sedimentplymerna, se Appendix C.



**Figur 4-1** Ögonblicksbild av SSC vid *botten* (inom 0,5 meter) vid tidpunkt 2022-05-17, 15:45. Lokaliseringen av transekten för det vertikala snittet visas med streckad linje.



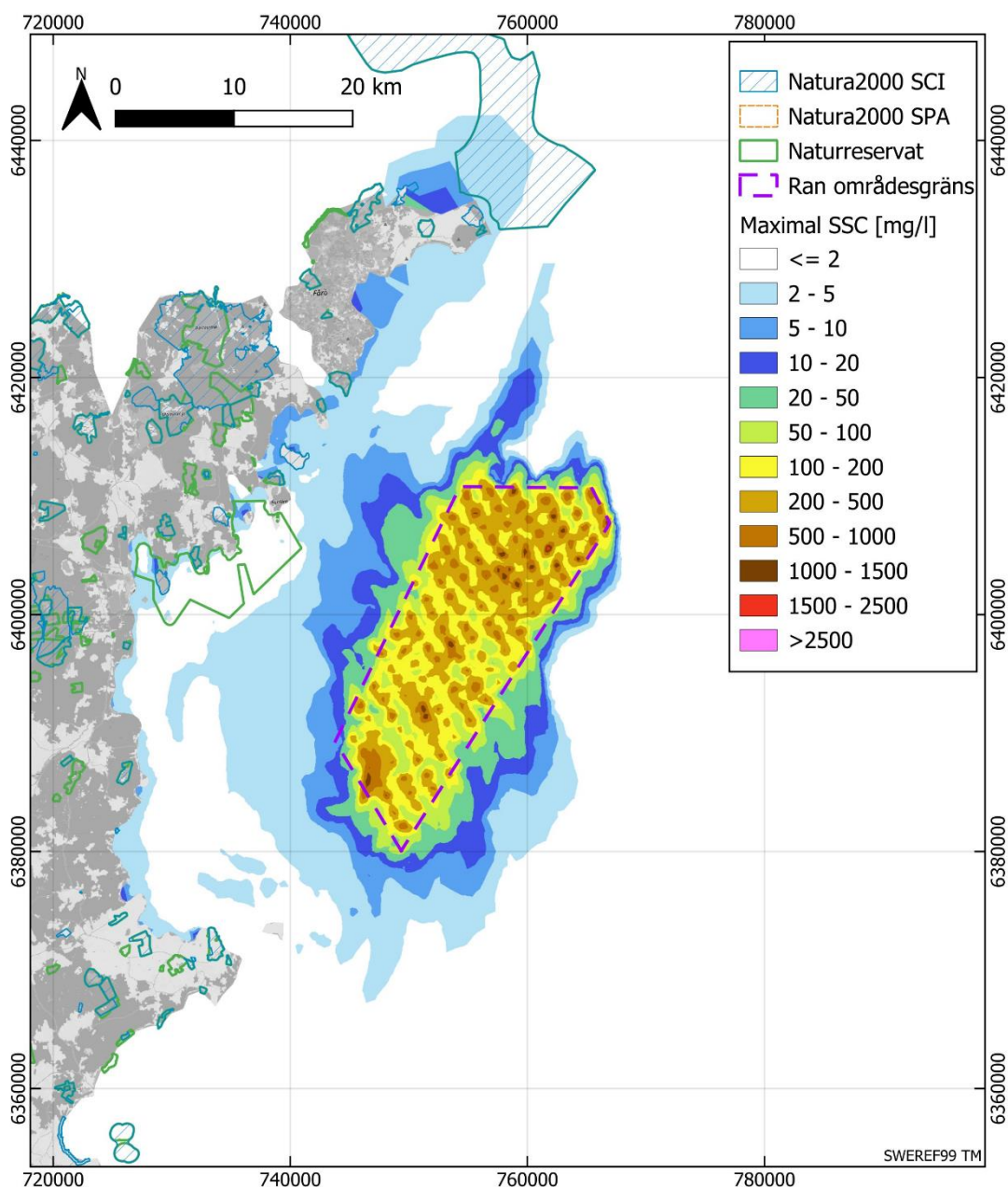
**Figur 4-2** Ögonblicksbild av SSC vid *ytan* (inom 0,5 meter) vid tidpunkt 2022-05-17, 15:45. Eftersom spill sker vid botten är sedimentkoncentrationerna vid *ytan* låga. Det finns inga områden med koncentrationer över 2 mg/l i detta ögonblick.



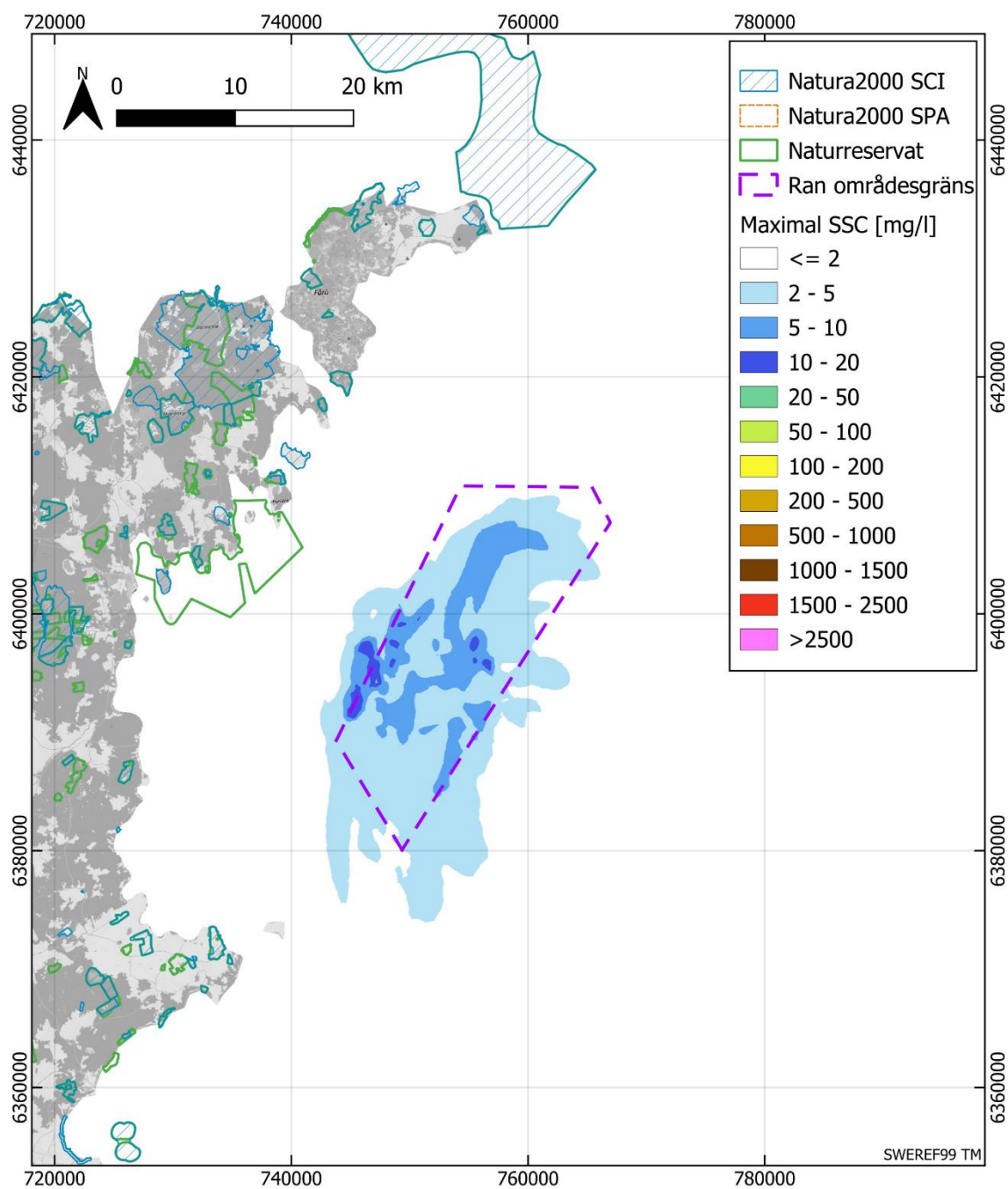
**Figur 4-3** Vertikalt tvärsnitt vid position som visas i Figur 4-1. Borrspillet från plattformen, som släpps vid botten, kan ses i mitten (området med högst koncentration). Spillet vid botten från kabeldikningen kan ses till vänster om borrspillet. Till höger visas spillet från en av plattformarna i norr (se position i Figur 2-3) där borrarbetet nyligen avslutats. Linjen "IP 2" indikerar var transekten byter riktning (se Figur 4-1).

## 4.2 Maximal suspenderad sedimentkoncentration

Kartfigurerna visar den maximala sedimentkoncentrationen (99 percentil). De är en sammanställning av den högsta koncentrationen som inträffat under simuleringen i respektive gridcell i modellen, det vill säga kartan representerar inte en enskild tidpunkt. De maximala sedimentkoncentrationerna är starkt beroende av var anläggningsarbetet sker. På botten ger högttrycksspolningen från kabeldikningen lokalt höga koncentrationer. På botten kan också sedimentet som suspenderas vid högttrycksspolningen samverka med plymerna från borrarbetet på botten. Eftersom både sedimentspillet från högttrycksspolningen och borrarbetet sker på botten blir koncentrationerna vid ytan lägre. Värdena som presenteras i detta avsnitt är konservativa ur bemärkelsen att flera antaganden gjorts för att öka sannolikheten att sedimentplymerna interagerar, vilket resulterar i högre koncentrationer (se antagande i Avsnitt 2.4).



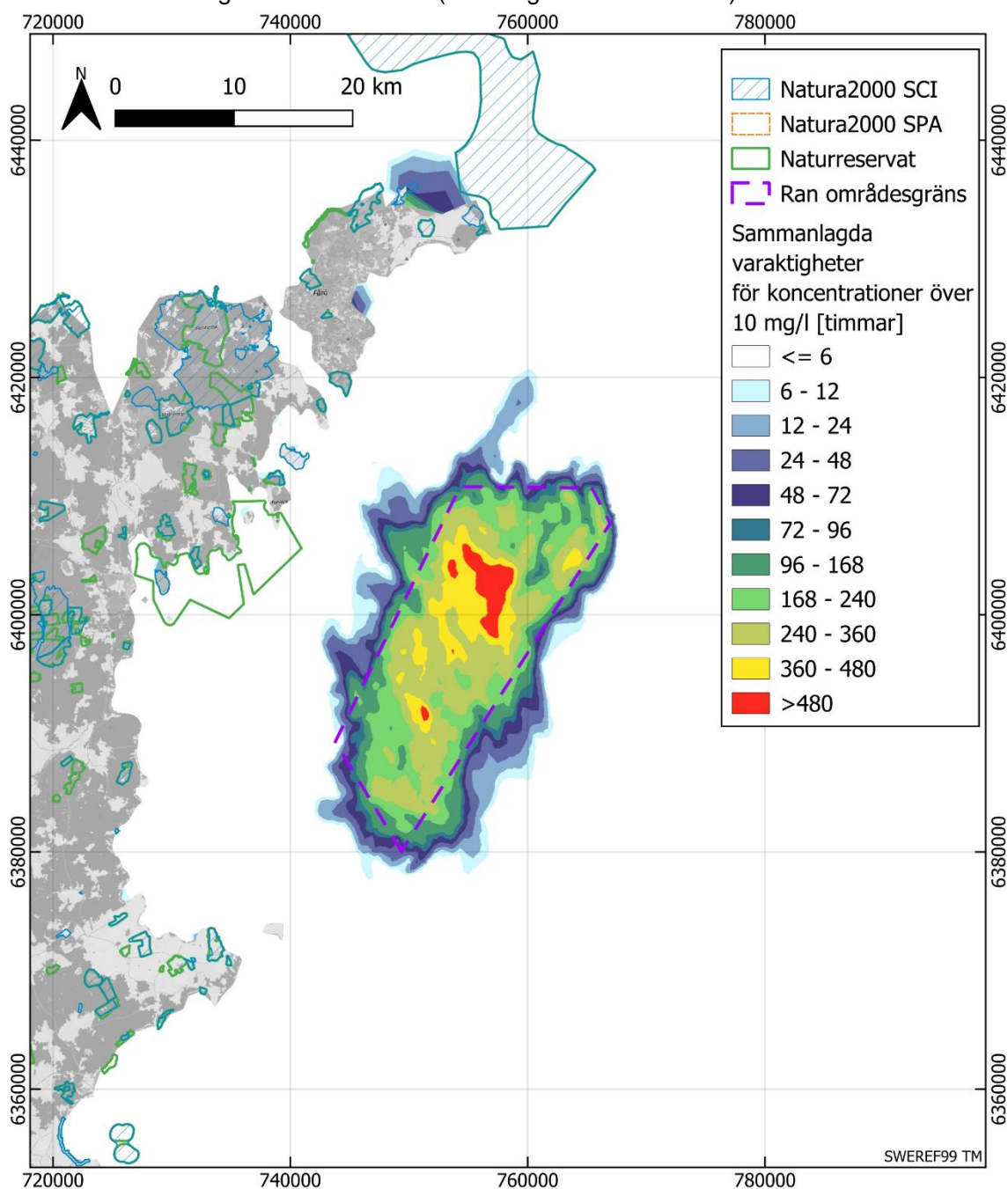
**Figur 4-4** Maximal SSC vid *botten* (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidraggivare.



**Figur 4-5** Maximal SSC vid *yta* (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

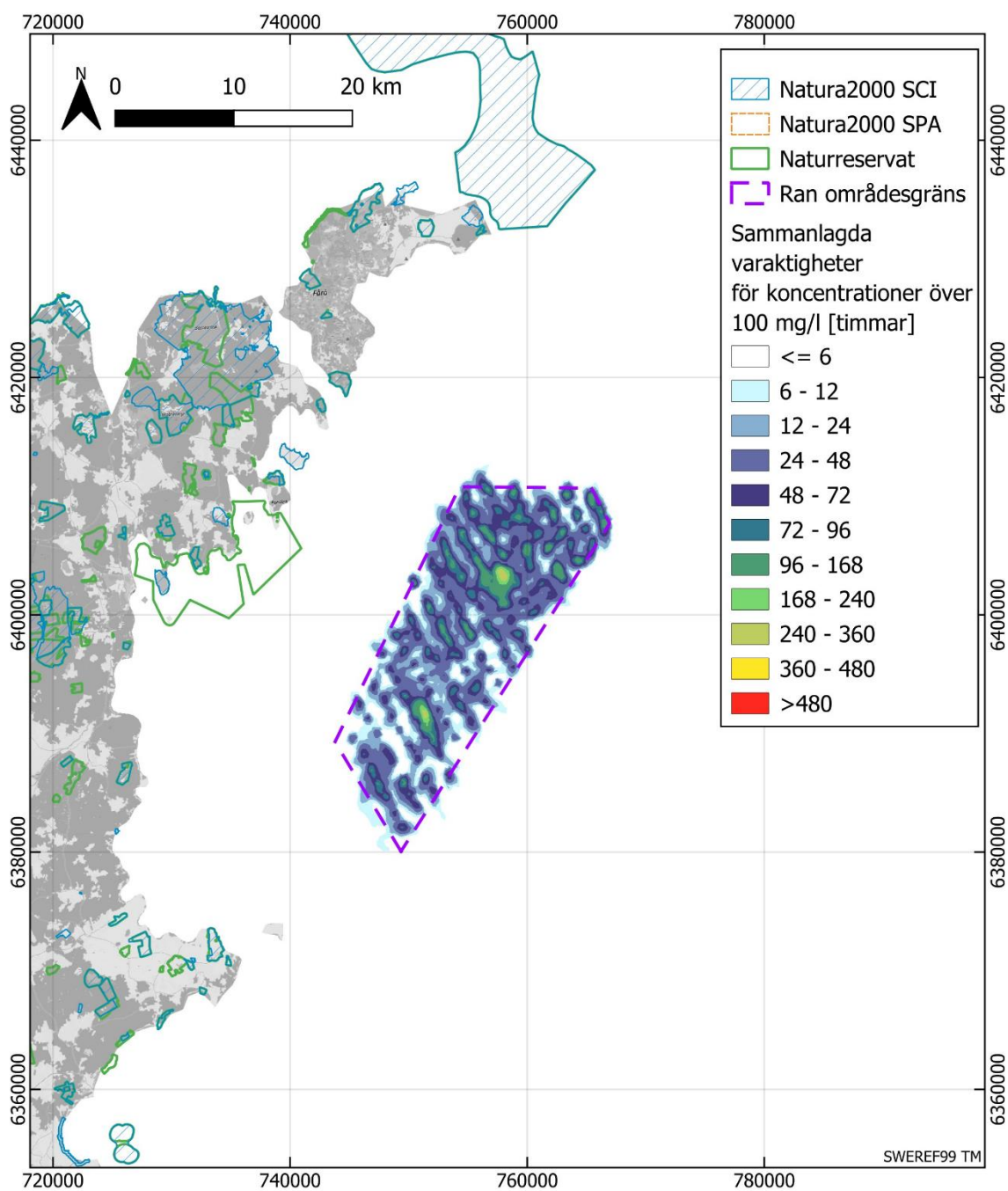
### 4.3 Sammanlagda varaktigheter av suspenderad sedimentkoncentration

De sammanlagda varaktigheterna av sedimentkoncentrationerna för 10 mg/l och 100 mg/l, vid botten och ytan, visas i Figur 4-6 – Figur 4-9. Borrspillet sker vid botten, vilket gör att varaktigheterna vid ytan är korta. De längsta varaktigheterna återfinns i de centralare delarna av parkområdet. Detta är en konsekvens av att kablarna är placerade tätare mot mitten av parken, vilket gör att sedimentplymerna från dikningen oftare samverkar i detta område. Områdena på botten med längst sammanlagda varaktigheter återfinns i närheten av plattformarna. Värdena som presenteras i detta avsnitt är konservativa ur bemärkelsen att flera antaganden gjorts för att öka sannolikheten att sedimentplymerna interagerar, vilket resulterar i högre koncentrationer (se antagande i Avsnitt 2.4).

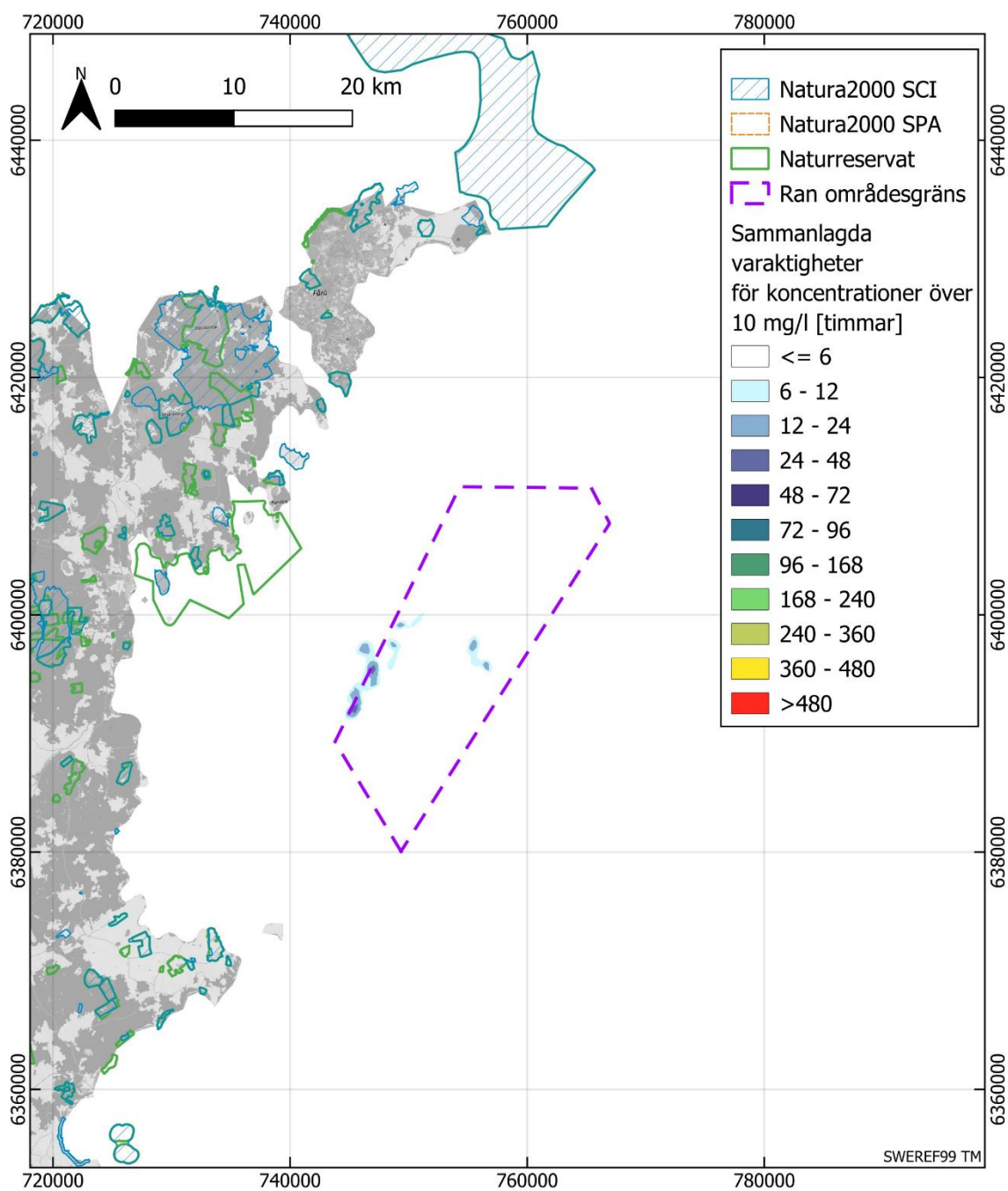


**Figur 4-6** Varaktighet nära botten (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 10 mg/l. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

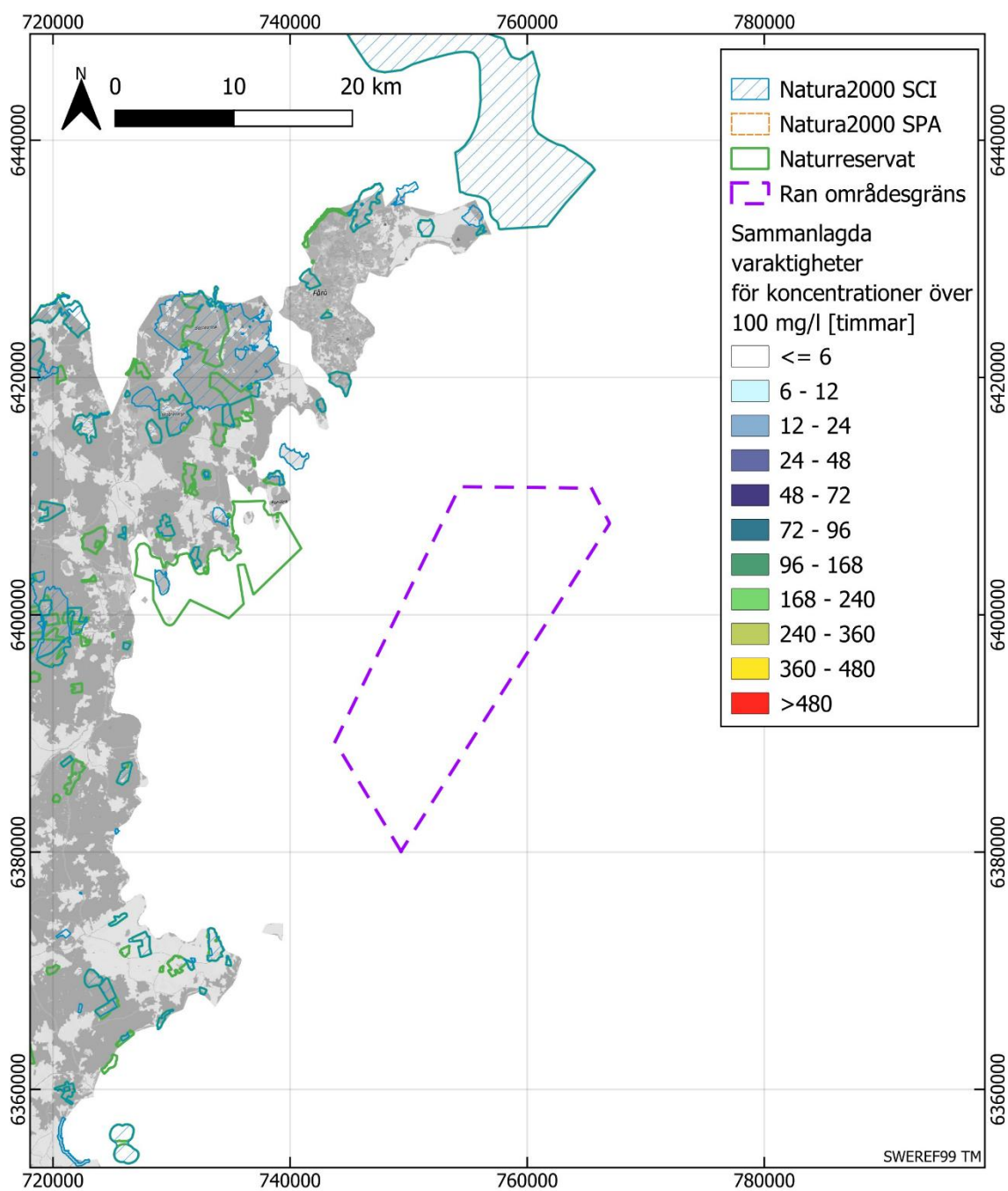




**Figur 4-7** Varaktighet nära *botten* (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 100 mg/l. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.



**Figur 4-8** Varaktighet nära *yta* (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 10 mg/l.  
 Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.



**Figur 4-9** Varaktighet nära *ytan* (inom 0,5 meter) för koncentrationer över 100 mg/l.  
Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.



## 4.5 Diskussion

Resultaten visar att spridningen och pålagringen av sediment huvudsakligen sker inom parkområdet. Emellertid kan sedimentplymer med låga koncentrationer (under 20 mg/l) nå den nordöstra kusten av Gotland under korta perioder. Koncentrationerna av sediment inom parkområdet är beroende av närheten till utsläppskällorna, i både tid och rum. Sedimentplymen som sprids från utsläppspunkten påverkas av de lokala strömmarna i området vid det givna tillfället, men på grund av utspädning i djupare vatten, som alltid sker både vertikalt och horisontellt, kommer påverkansområdet alltid bli begränsat öster om parkområdet. Plymerna som rör sig mot grundare vatten västerut späds inte ut lika fort och kan nå kusten. Den slutliga sedimentationen sker sedan i huvudsak inom parkområdet, där mest sediment ansamlas i direkt anslutning till borrpositionerna.

Antaganden i modelleringen har utgått från den fundamentanläggningstekniken som ger mest sedimentspill (borrad monopile), anläggning av fundament (borring) och kabeldikning antas ske samtidigt, fina kornstorlekar används för borrhaxen i det nedersta jordlagret/berggrunden. Utöver dessa konservativa antaganden gäller som tidigare nämnts att två borrhaxar arbetar nära varandra när de rör sig genom parken. Skulle riggarna vara färre eller arbeta längre ifrån varandra skulle den momentana maximala sedimentkoncentrationen mellan riggarna minska. Följaktligen blir resultaten mer konservativa. I själva verket utgör worst case inte ett optimalt scenario (det blir ineffektivt och olönsamt att bygga på ett sådant sätt) men innebär att sedimentspredningsmodelleringen bygger på konservativa antaganden. Detta gör att miljöpåverkan kan vara mindre omfattande men inte mer omfattande.

Storleken på påverkansområdet kan avgöras baserat på kartorna för maximal sedimentkoncentration och kartorna för sammanlagd varaktighet. Dessa redovisas för ytan respektive botten (inom 0,5 meter). Tillsammans ger kartorna en samlad bild av hur hög koncentrationen kan bli och hur länge koncentrationen vid specifika nivåer varar. De ligger med andra ord till grund för att avgöra var den *största* påverkan över *tid* kan förväntas. Modelleringarna av suspenderat sediment och sedimentpålagring bygger på att alla fundament och anläggningskablar anläggs sekventiellt men sammanfattats i en och samma karta(-or). Angivna sedimenthalter och varaktigheter som visas i kartorna i den här bilagan kommer aldrig att inträffa över hela området vid ett och samma tillfälle men förväntas uppkomma vid olika tidpunkter beroende på var arbete utförs inom området. Perioder med förhöjda sedimentkoncentrationer är generellt sett inte kontinuerligt sammanhängande (på grund av att positionerna för anläggningsarbetet varierar). Det är därför viktigt att belysa att påverkan är icke-kontinuerlig och uppdelad i flera tillfällen av kortare varaktighet än vad dessa kartor kan ge intryck av.

## 5 Kumulativ sedimentspridning för vindpark Ran och energipark Pleione

I detta avsnitt presenteras resultaten för simuleringen av den kumulativa sedimentspridningen om anläggningsarbetet antas ske samtidigt för både vindpark Ran och intilliggande energipark Pleione.

För vindpark Ran antas utsläppet av borrhull ske vid botten (både Avsnitt 5.1 och Avsnitt 5.2), på samma vis som i resultaten presenterade i föregående Avsnitt 4. För energipark Pleione sker utsläpp vid botten (Avsnitt 5.1) respektive utsläpp vid ytan (Avsnitt 5.2). Högtrycksspolning för kabeldikning (eller rörledningar) sker alltid på botten i båda parker.

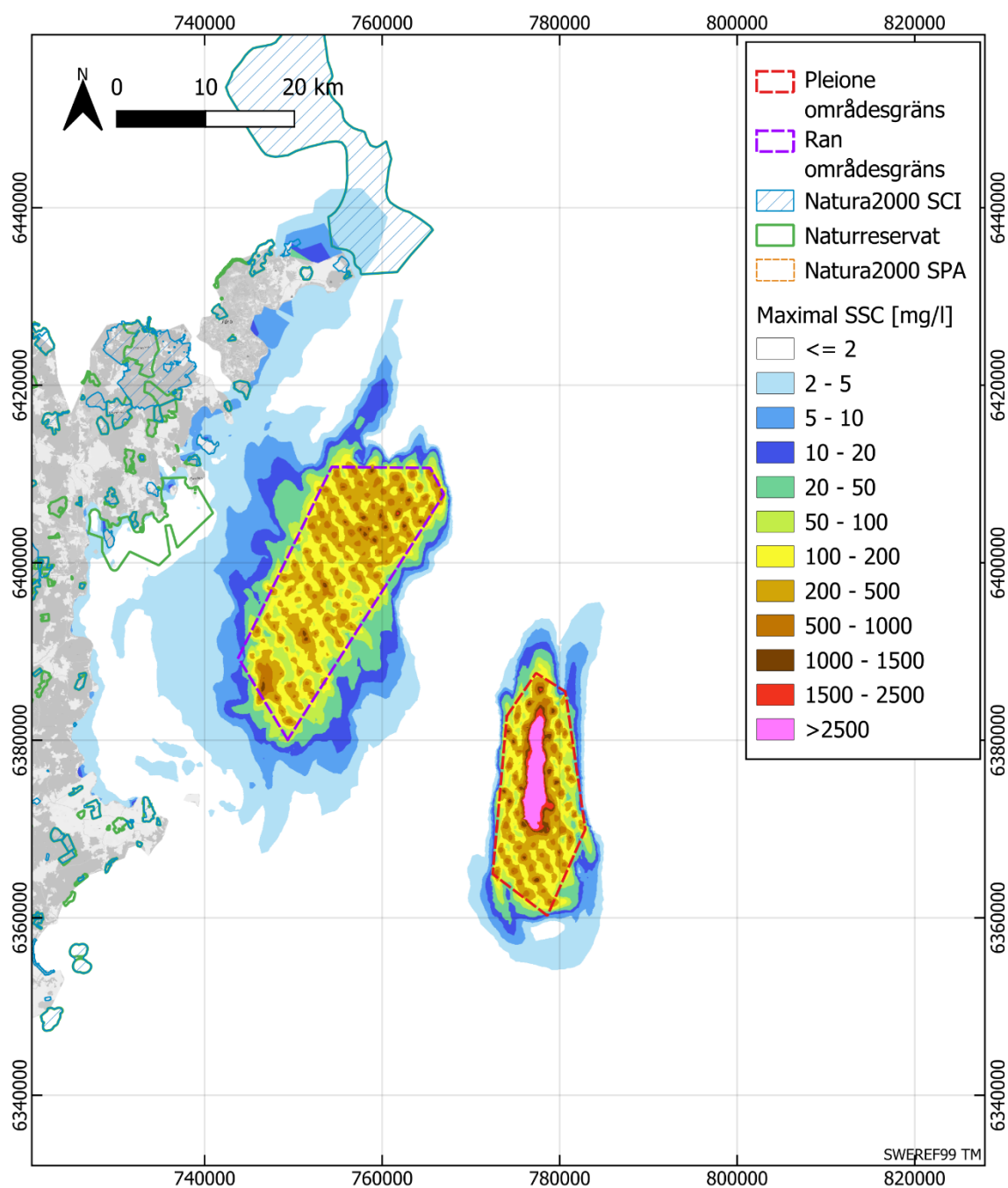
Resultaten visar att sedimentplymerna från energipark Pleione inte samverkar med de från vindpark Ran. Detta gäller oavsett om borrhullet från energipark Pleione sker på botten eller vid ytan. Netto-sedimentationen sker också i olika områden för respektive park. Med andra ord uppstår inga kumulativa effekter och sedimentspridningen från de två parkerna kan betraktas som oberoende av varandra.

För att visa på detta redovisas följande kartresultat:

- Maximal koncentration av suspenderat sediment (99:e percentilen) för den djupnivån (botten eller ytan (inom 0,5 meter)) med störst spridning av sediment. För utsläpp vid botten är sedimentspridningen störst vid botten och vice versa för utsläpp vid ytan. Resultaten visar alla områden som påverkas av suspenderat sediment för båda parkerna tillsammans.
- Netto-sedimentationen (pålagringens utbredning och tjocklek) två veckor efter anläggningsarbetet för vindpark Ran avslutats (6 månader efter anläggningsarbetet för energipark Pleione avslutas). Resultatet visar sedimentationens utbredning för båda parkerna tillsammans.

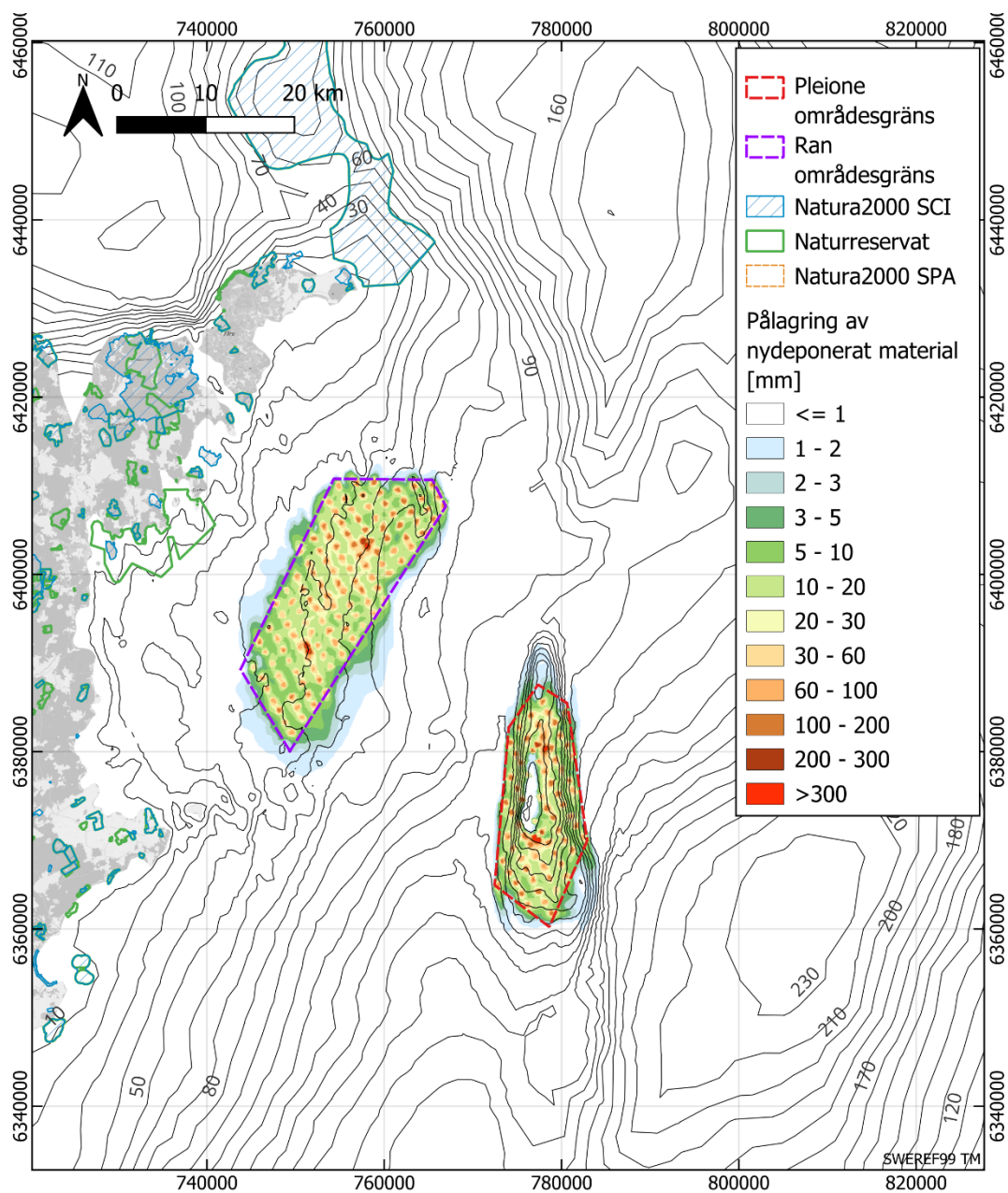
## 5.1 Utsläpp av borrhspill vid botten i vindpark Ran och vid botten i energipark Pleione

### 5.1.1 Maximal suspenderad sedimentkoncentration



**Figur 5-1** Maximal SSC vid *botten* (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

## 5.1.2 Netto-sedimentation

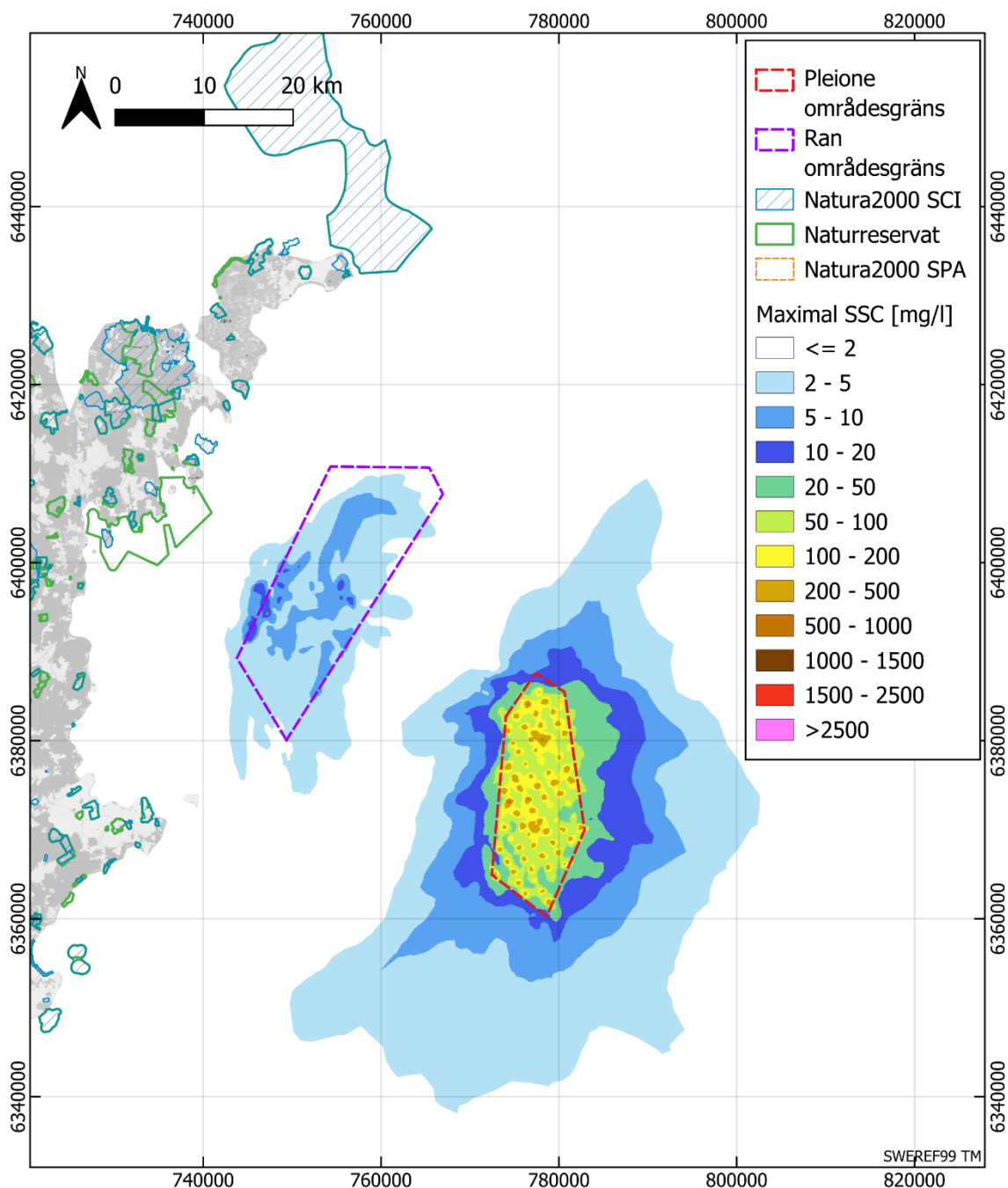


**Figur 5-2** Pålagring av sediment på botten 2 veckor efter anläggningsarbetet för vindpark Ran avslutats (6 månader efter anläggningsarbetet för energipark Pleione avslutats). Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.



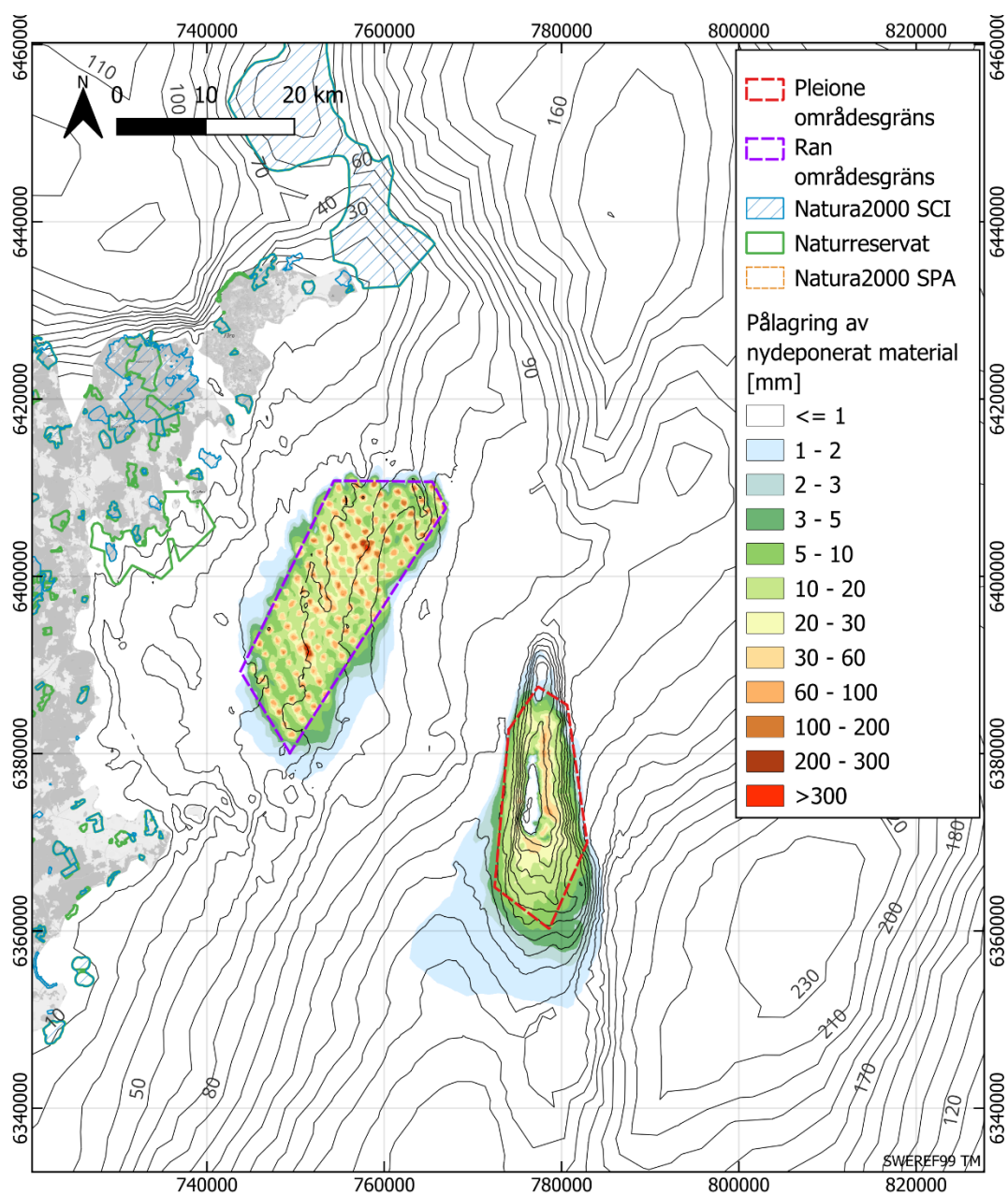
## 5.2 Utsläpp av borrhspill vid botten i vindpark Ran och vid ytan i energipark Pleione

### 5.2.1 Maximal suspenderad sedimentkoncentration



**Figur 5-3** Maximal SSC vid *ytan* (inom 0,5 meter). Visar de maximala sedimentkoncentrationerna som förekommer minst en gång under simuleringsperioden. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

## 5.2.2 Netto-sedimentation



**Figur 5-4** Pålagring av sediment på botten 2 veckor efter anläggningsarbetet för vindpark Ran avslutats (6 månader efter anläggningsarbetet för energipark Pleione avslutas). Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.

## 6 Referenser

- /1/ DHI, *MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module*, Scientific Documentation, 2023.
- /2/ DHI, *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Mud Transport Module*, Scientific Documentation, 2023.
- /3/ 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>
- /4/ R. Whitehouse, R. Soulsby, W. Roberts and H. Mitchener, “*Dynamics of estuarine muds: A manual for practical applications*”, Thomas Telford Publishing, 2000.
- /5/ S. Gooding, K. Black, P. Boyde and S. Boyes, *Environmental impact of subsea trenching operations*. *Offshore Site Investigation and Geotechnics: Integrated Technologies-Present and Future.*, 2012.

Bakgrundskartorna är ©OpenStreetMap-bidragsgivare, under Open Database License (ODbL). Gränser för naturreservat och Natura 2000-områden är hämtade från Naturvårdsverkets geodatakatalog; <https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se>.

This study has been conducted using E.U. Copernicus Marine Service Information [2023]; <https://doi.org/10.48670/moi-00010>.

## Appendix A Modellbeskrivning

### Appendix A.1 Flödesmodellen (HD)

För att kunna beräkna spridningen av suspenderat material behövs en beskrivning av hydrodynamiken i området. Den hydrodynamiska strömningsmodellen (kallat flödesmodellen) har satts upp i MIKE 3 FM - ett tredimensionellt numeriskt modellsystem för beräkning av strömning och transport i vatten. FM står för *Flexible Mesh*. Detta innebär att området beskrivs med ett beräkningsnät av trianglar vars storlek kan variera mellan olika delar av modellområdet. På så sätt kan modellens upplösning vara detaljerad i de områden som är av störst intresse och grövre där detaljer inte är lika viktiga. I varje element i beräkningsnätet beräknas strömmarna till riktning och styrka, densiteten (som funktion av temperatur och salthalt), den turbulenta blandningen, lösta ämnens koncentrationer och andra parametrar som efterfrågas.

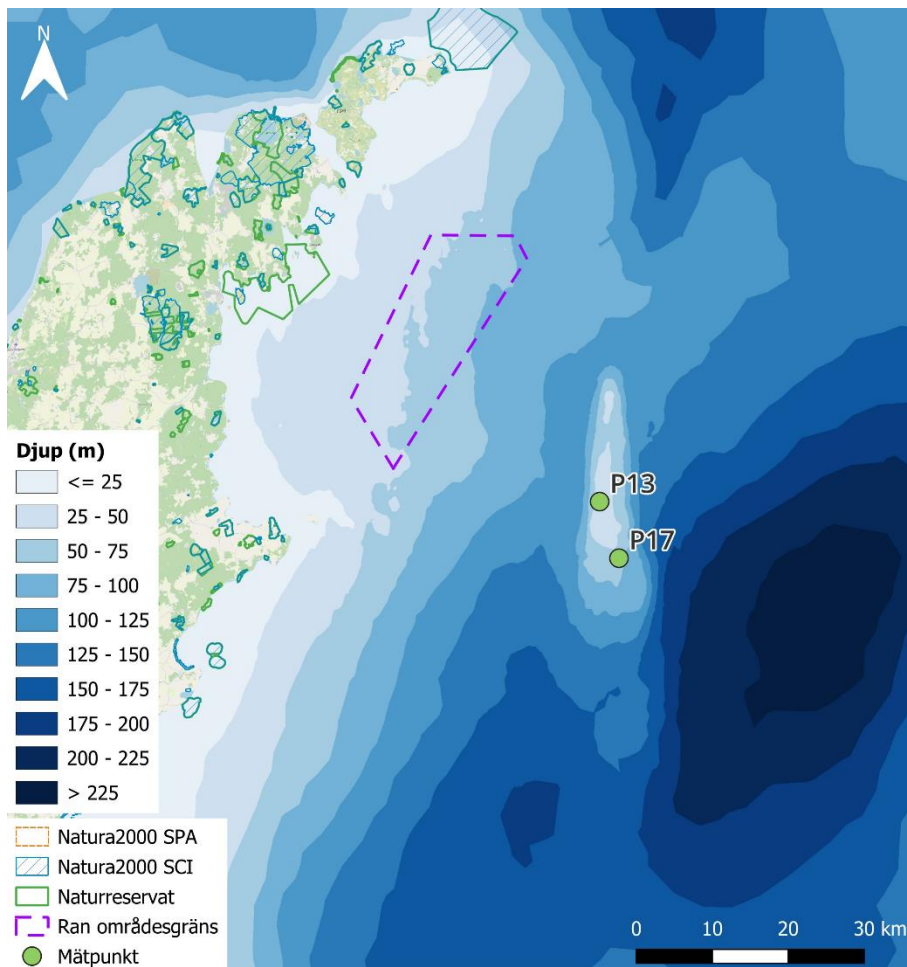
MIKE 3 består av flera delmoduler. Den grundläggande modulen är den som beräknar de hydrodynamiska processerna (HD), det vill säga hur vattnet rör sig utifrån de drivande krafterna. Denna modul bygger på välkända hydrodynamiska ekvationer som löses så exakt som beräkningsnätets upplösning, noggrannheten i de drivande krafterna och andra indata tillåter. MIKE 3 HD tar hänsyn till alla de viktigaste processerna;

- Transport av salt och värme
- Drivning på grund av variationer i densitet
- Bottenfriktion
- Vindens drivning på ytan
- Drivning på grund av vattenståndsvariationer
- Tillflöden och utsläpp från land
- Värmeutbyte med atmosfären
- Turbulens
- Corioliseffekten

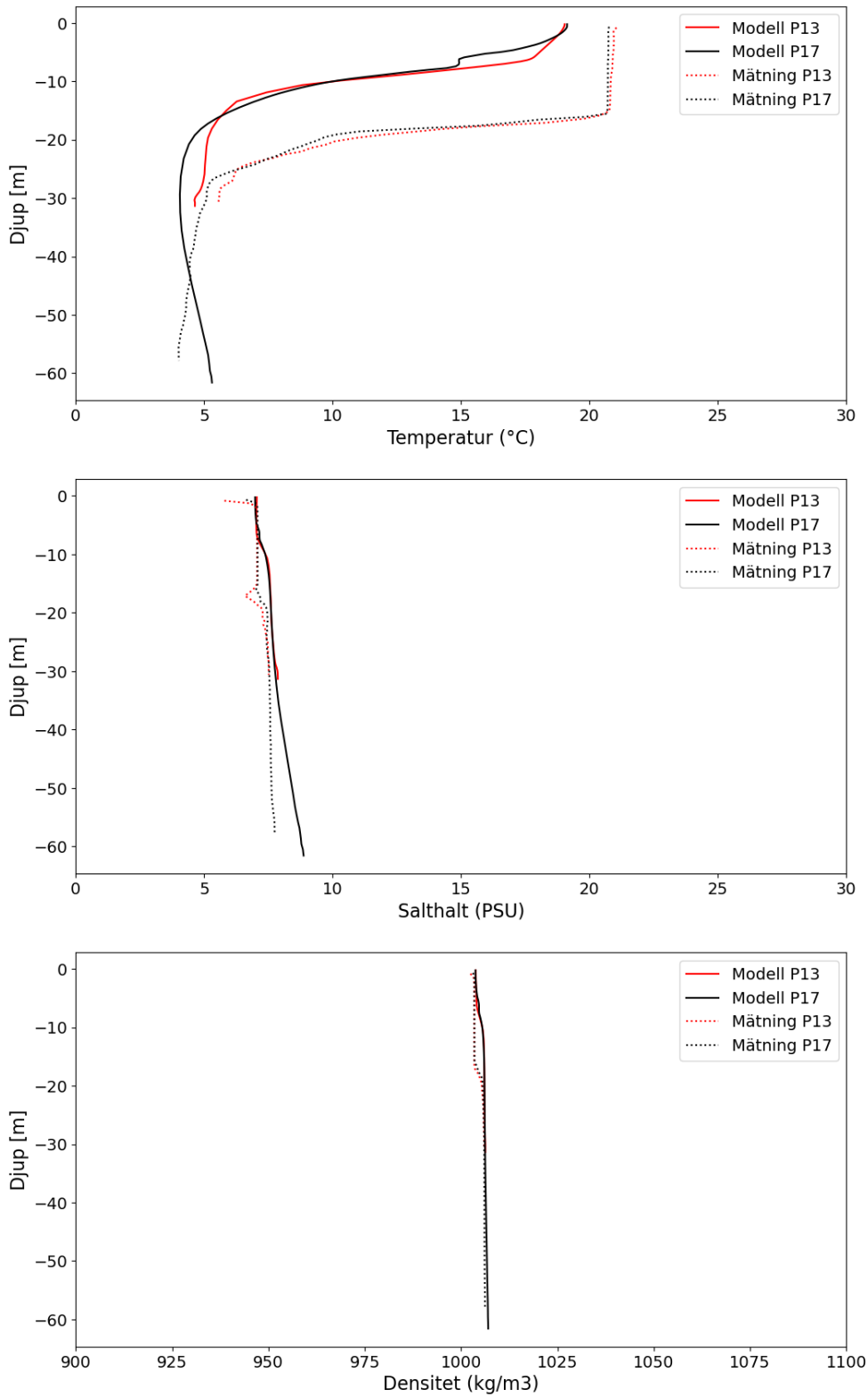
MIKE 3 HD utgör grundbulten i DHI:s svit av programvaror för marina och kustnära områden och används vid projekt världen över.

## Appendix A.1.1 Validering

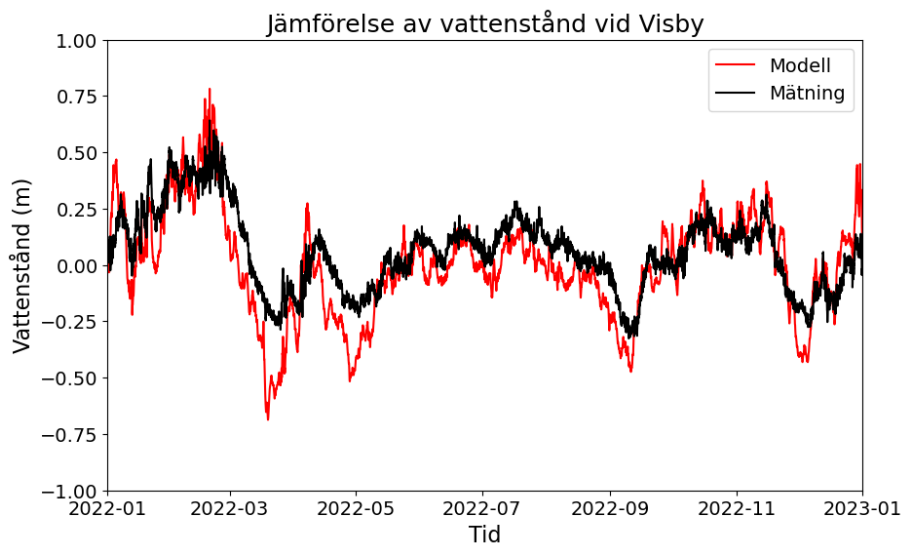
Validering av modellen har gjorts mot två profilmätningar för temperatur, salt och densitet (som har tillhandahållits av beställaren) samt mot vattenståndsmätningar från Visby (från SMHIs öppna data). Lokaliseringen av mätpunkterna (P13 och P17) visas Figur 6-1 nedan.



**Figur 6-1** Valideringspunkter för temperatur, salt och densitet. Baskarta: ©OpenStreetMap-bidragsgivare.



**Figur 6-2** Jämförelse mellan mätningar och modellen för mätpunkt P13 och P17 för temperatur, salt och densitet. Röd linje visar P13 medan svart linje är P17. Heldragen linje är modell och streckad linje är mätning.



**Figur 6-3** Jämförelse av vattenstånd vid Visby. Modellen är röd linje och mätning är svart linje.

## Appendix A.2 Vågmodellen (SW)

DHIs våg och flödesmodell MIKE 21 SW har använts i denna studie. MIKE 21 är en state-of-the-art tredje generationens spektrala vindvågmodell. Modellen simulerar tillväxt, avklingning och transformation av vindgenererade vågor och dyning i offshore såväl som i kustområden.

I denna studie har en full spektral formulering använts vilken är baserad på konservering av vågverkan som bland annat beskrivs av Komen et. al (1994) och Young (1999). Denna formulering inkluderar följande fysiska viktiga fenomen som påverkar vågbildningen i denna studie:

- Vågtillväxt på grund av vindens påverkan
- Ickelinjär våg-våg-interaktion
- Energidissipation på grund av white-capping ("vita gäss" fenomenet)
- Energidissipation på grund av bottenfriktion
- Energidissipation på grund av kustnära vegetation
- Energidissipation på grund av vågbrytning som beror på det aktuella vattendjupet
- Refraktion och "shoaling" (våghöjdstillväxt) på grund av varierande djup i rummet
- Effekter av tidsvarierande vattendjup

Diskretiseringen av de gällande ekvationerna, i det geografiska och spektrala rummet, görs med en cellcentrerad finitavolymmetod. I den geografiska domänen används en s.k. ostrukturerad nät-metod (vilket enkelt uttryckt resulterar i ett beräkningsnät som består av trianglar).

Resultaten från denna modell användes sedan i sedimenttransportmodellen för att beräkna den kombinerade skjuvspänningen från både vågor och strömmar.

## Appendix A.3 Sedimenttransportmodellen (MT)

Grumlingen från utsläppt botten sediment i samband med borring och spolning har i den här studien modellerats med modulen MIKE 3 FM MT kopplad till den hydrodynamiska modellen.

Sedimentspill som tillförs vattenmassan kommer att spridas med strömmarna. Silt- och lerfraktioner har mycket låga fallhastigheter och kommer därför att förbli i suspension under en lång tid och kan transporteras över långa sträckor. Finkorniga sediment kan sedimentera om strömhastigheterna

minskar, men kommer att resuspenderas när den bottennära strömmen eller våginducerade strömmen gör att bottenskjuvspänningen överskrider ett kritiskt gränsvärde. Sandfraktioner sedimenterar fort och kommer därmed att förbli i området kring utsläppspunkterna.

För sedimenttransport är de viktigaste parametrarna för spridning av finkornigt bottenmaterial som silt och ler:

- Fallhastighet
- Kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation (under vilken sediment deponeras)
- Kritisk bottenskjuvspänning för erosion (över vilken sediment resuspenderas)

Spridningen av fina sediment beräknas med sedimentspridningsmodulen MIKE 3 FM MT (*Mud Transport*). Modellen är integrerad med hydrodynamik- och vågmodellen och tar hänsyn till:

- Det beräknade spillet av sediment som en funktion av tid, position och typ av material.
- Advektion<sup>1</sup> och dispersion<sup>2</sup> av suspenderat sediment i vattenpelaren som en funktion av de tredimensionella strömmarna beräknade med MIKE 3 HD.
- Sedimentation av spill.
- Resuspension av spill till följd av bottenskjuvspänningar orsakade av kombinationen av vågor och strömmar.

Den kritiska bottenskjuvspänningen för deposition är i modellen satt till  $0,7 \text{ N/m}^2$  och bottenskjuvspänningen för erosion (för resuspensionen) sattes till  $0,2 \text{ N/m}^2$ . Bägge dessa är standardvärden. Vid  $0,2 \text{ N/m}^2$  kan löst och nyligen deponerat material erodera, men modellen eroderar inte konsoliderat bottenmaterial, det vill säga det är bara det tillförda materialet från borrningen och spolningen som kan eroderas och resuspendera i modellen. Den befintliga botten eroderas inte i modellen och inget material från den ingår i resultaten för pålagring.

---

<sup>1</sup> Transport

<sup>2</sup> Spridning (utspädning)



## Appendix B Installationsschema

**Tabell 6-1** Installationsschema för Ran där gul skuggad ruta indikerar att arbete som genererar sedimentspill sker.

Månad	Maj	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr
Aktivitet												
Plattformar												
Vindkraftverk												
Internkabel												

**Tabell 6-2** Installationsschema för Pleione där gul skuggad ruta indikerar att arbete som genererar sedimentspill sker.

Månad	Maj	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov
Aktivitet							
Plattformar							
Vindkraftverk							
Internkabel							

## Appendix C Fördjupad diskussion

### Appendix C.1 Varaktighet av suspenderad sedimentkoncentration för passivt flytande organismer

Om ett passivt objekt (organism) befinner sig i samma strömlinje som en sedimentplym följer, kommer plymen som organismen/objektet är i kontinuerligt spädas ut runt omkring objektet. Detta till skillnad från ett objekt som befinner sig i en fast punkt.

Ögonblicksbilderna av sedimentplymerna (horisontellt och vertikalt) är tagna när en av plattformarna borras, vilket är den mest sedimentspridningsintensiva aktiviteten. På NIRAS förfrågan utreds specifikt 100 mg/l och 500 mg/l då dessa koncentrationer anses biologiskt relevanta för exempelvis fisk. Resultaten visar att de högre koncentrationerna (100 och 500 mg/l) spädas ut relativt snabbt från utsläppskällan. Detta på grund av transport horisontellt (spridning) och vertikalt (spridning och sjunkande). Spridning orsakad av strömmar sänker koncentrationerna betydligt snabbare än vad fallhastigheten gör att plymen sjunker (vilket är i princip samma fallhastighet som partiklarna har). Exempelvis visar resultaten att zonen för 100 mg/l försvinner (får lägre koncentrationer) betydligt snabbare än vad de vertikala tvärsnitten visar att partiklarna faller.

Typiska avstånd och tjocklekar för olika koncentrationsnivåer (exempelvis 100 mg/l) kan estimeras utifrån ögonblicksbilderna. Med kännedom om strömhastigheten kan en förenklad beräkning göras av hur lång tid det tar för ett flytande objekt att nå slutet på zonen med koncentrationsnivå 100 mg/l (det vill säga koncentrationerna runt det flytande objektet är under 100 mg/l). För att exemplifiera detta kan beräkningen göras för plymen som visas i Figur 4-1. Längden på plymen (från utsläppspunkten) med en koncentration över 100 mg/l är ungefär 1 kilometer. Om strömhastigheten nära botten antas vara i medel 0,05 m/s (typisk strömhastighet nära botten i området) innebär detta att ett passivt flytande objekt, som flyter på en konstant höjd, kommer vara utanför zonen för koncentrationer över 100 mg/l efter cirka 5 timmar. Inom samma tidsram kommer plymen endast ha sjunkit cirka 100 cm (baserat på en fallhastighet på 0,05 mm/s).

Sammanfattningsvis betyder detta att passivt flytande objekt, som befinner sig i en sedimentplym, oftast utsätts för höga koncentrationer under kortare tid än vad ett objekt med fast position gör. Kartorna för sammanlagda varaktigheter är följaktligen mindre relevanta för passivt flytande organismer eftersom exponeringstiden gäller för en fast position. Passivt flytande organismer är därför mindre exponerade för sediment, både avseende koncentrationsnivå och sammanlagd varaktighet.