

Modellering av sedimentspridning från installationsarbeten vid vindkraftparken Olof Skötkonung

Modellerad påverkan från vindkraftpark, som del av
miljökonsekvensbeskrivning (MKB)

Slutlig 1.0

2023-12-07

Framtagen för Deep Wind Offshore AS

Modellering av sedimentspridning från installationsarbeten vid vindkraftparken Olof Skötkonung

Modellerad påverkan från vindkraftpark, som del av miljökonsekvensbeskrivning (MKB)

Slutlig 1.0

Framtagen för: Deep Wind Offshore AS

Representerade av: Sara Barkevall

Godkänd av

08.12.2023

X *Henrik Fjærtøft*

Godkänd av

Signed by: Henrik Fjærtøft

Kontaktperson: Cecilia Gustafsson
Projektansvarig: Cecilia Gustafsson
Kvalitetsansvarig: Sina Saremi
Författare: Sina Saremi, Cecilia Gustafsson, Martin Johnsson, Thomas Heggem, Timothy Ley
Projekt No.: 12805833-01
Godkänd av: Henrik Fjærtøft
Datum för godkännande: 2023-12-07
Revision: Slutlig 1.0
Klassifikation: **Confidential:** This document is only accessible to the project team members and sharing it outside the project team is subject to the client's prior approval.
Filnamn: Sediment Dispersion Model at Olof Skötkonung site.docx

Sammanfattning

Den här rapporten beskriver modellering av sedimentspridning vid anläggning av fundament och kablar för den havsbaserade vindkraftparken Olof Skötkonung. Modellresultaten som beskrivs här är framtagna som underlag till miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) för installation av fundament och kablar i vindkraftparken. Även påverkan på vind, vågor och strömmar under parkens driftsfas har modellerats i studien, men dessa resultat presenteras separat i kommande tillägg till denna rapport.

Modelleringen av sedimentspridning har utgått från en lokal tredimensionell hydrodynamisk modell, som satts upp för området kring vindkraftparken. Sedimentspridningsmodellen kopplas till den lokala hydrodynamiska modellen för att beskriva hur sedimentspill sprids av de lokala strömförhållandena, vid installationsarbeten av fundament och kablar på botten i parkområdet.

Vindkraftparken planeras bestå av bottenfasta fundament för vindkraftverk (70 stycken) samt för en transformatorstation. Mellan fundamenten anläggs ett internt kabelnät som ansluter turbinerna till transformatorstationen. Anläggningsarbetet på botten planeras utföras genom pålning och borrhning (för fundamenten) och spolning (för kabeldiken). Sedimentspridning från dessa aktiviteter har simulerats baserat på konservativa antaganden. Information om sedimenten på plats har erhållits från Deep Wind Offshore AS.

Modelleringen av sedimentspridningen visar att:

- De närliggande tre Natura 2000-områdena (Finngrundet-Västra, -Norra samt -Östra banken) skyddas delvis mot påverkan eftersom de är relativt grunda jämfört med vindkraftparken. Installationsarbeten som görs på botten i det djupare parkområdet skapar grumling, som huvudsakligen sprids längs djupkonturer och djuprännor samt till djupare områden. En viss påverkan sker dock i Natura 2000-områdena, framför allt längs gränserna.
- Resultaten för netto-sedimentation visar att sedimentspill till stor del driver iväg med strömmarna, men att en mindre del ger en viss pålagring inom vindkraftparken men även precis söder om parkområdets gräns. Lokalt söder om parkområdet når pålagringens tjocklek upp mot 10 mm och tjockare pålagring sker lokalt inom vindkraftparken. I Natura 2000-områdena är pålagringen i storleksordningen upp mot 1 mm.
- Figurer som visar max (99%) har genererats genom att registrera de maximala koncentrationer av suspenderat material som förekommer vid något tillfälle och plats i modellen under hela simuleringsperioden. De resulterande kartfigurerna visar den högsta suspenderade halten som har registrerats i parkområdet vid botten. Halter på upp till 200 mg/l har registrerats utanför vindkraftparken, längs med de djupare områdena mellan Natura 2000-områdena. De högsta halterna som förekom inom Natura 2000-områdena är främst under 10 mg/l, fast inom mindre områden förekommer halter upp mot 50 mg/l. När man tolkar kartfigurerna över maximala koncentrationer är det viktigt att också se på varaktighetskartorna, för att få en mer komplett uppfattning om hur lång tid olika koncentrationer har förekommit.
- Den sammanlagda varaktigheten för olika grumlingsnivåer visar att grumlingen pågår under en väsentligt längre tid vid botten, än vid ytan respektive som djupmedel. Grumlingen som överstiger 100 mg/l vid botten i upp mot 0,5 dygn sträcker sig upp till ca 13 km utanför vindkraftparkens gräns. Varaktigheten av grumlingen är (precis som den maximala grumlingen) koncentrerad till vindkraftparken samt de djupare områdena i närheten, medan Natura 2000-områdena påverkas relativt lite. Den övervägande delen av samtliga tre Natura 2000-områden har en varaktighet på mindre än 6 timmar för grumlingsnivåer som överstiger 10 mg/l vid botten. Varaktigheten i ytan och som djupmedel är väsentligen 6 timmar eller lägre, både i och utanför vindkraftparken.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	6
2	Data	7
2.1	Batymetri	7
2.2	Vindkraftparken	7
2.3	Sedimentdata	9
2.4	Installationsarbeten	10
3	Modellbeskrivning	11
3.1	Hydrodynamisk modell	11
3.1.1	Modelleringsperiod	11
3.1.2	Beräkningsnät	11
3.1.3	Drivning av den hydrodynamiska modellen	13
3.1.4	Validering	13
3.2	Sedimentspridningsmodell	16
3.2.1	Antaganden om egenskaper hos sedimentspill	16
3.2.2	Simulerade källor för sedimentspill	17
4	Resultat från modellering av sedimentspridning	19
4.1	Netto-sedimentation	19
4.2	Maximal grumling	21
4.3	Varaktighet	24
5	Referenser	29
Appendix A	Varaktighet vid ytan och som djupmedel	I
Appendix A.1	Varaktighet vid ytan	I
Appendix A.2	Varaktighet som djupmedel	III

Figurer

Figur 1-1	Område och batymetri i modellering av hydrodynamik och sedimentspridning vid vindkraftparken Olof Skötkonung (röd streckad kontur).	6
Figur 2-1	Batymetri i modelleringen närmast vindkraftparken (överst) samt för hela modellområdet (underst).	8
Figur 2-2	Information om sediment vid vindkraftparken i respektive delområde, som tillhandahållits av DWO.	9
Figur 3-1	Beräkningsnät för den lokala modellen vid Olof Skötkonung.	12
Figur 3-2	Vertikal upplösning bestående av 20 sigmalager. Lagren är tunnast närmast ytan och botten. Tvärsnittet visar en sektion från väst till öst genom parkområdet, markerad med blå streckad linje i infälld bild (överst).	12
Figur 3-3	Stationer med observerade data: vattenstånd och temperatur (grön markör), samt profiler över salinitet (röd markör).	13
Figur 3-4	Vattenstånd relativt medelvattenstånd, observerad (svart) och modellerad (blå) vid mätstationer Bönan, Forsmark och Ljusne.	14
Figur 3-5	Temperatur, observerad (svart) och modellerad (grön) vid mätstationer Bönan, Finngrundet, Forsmark och Ljusne.	15

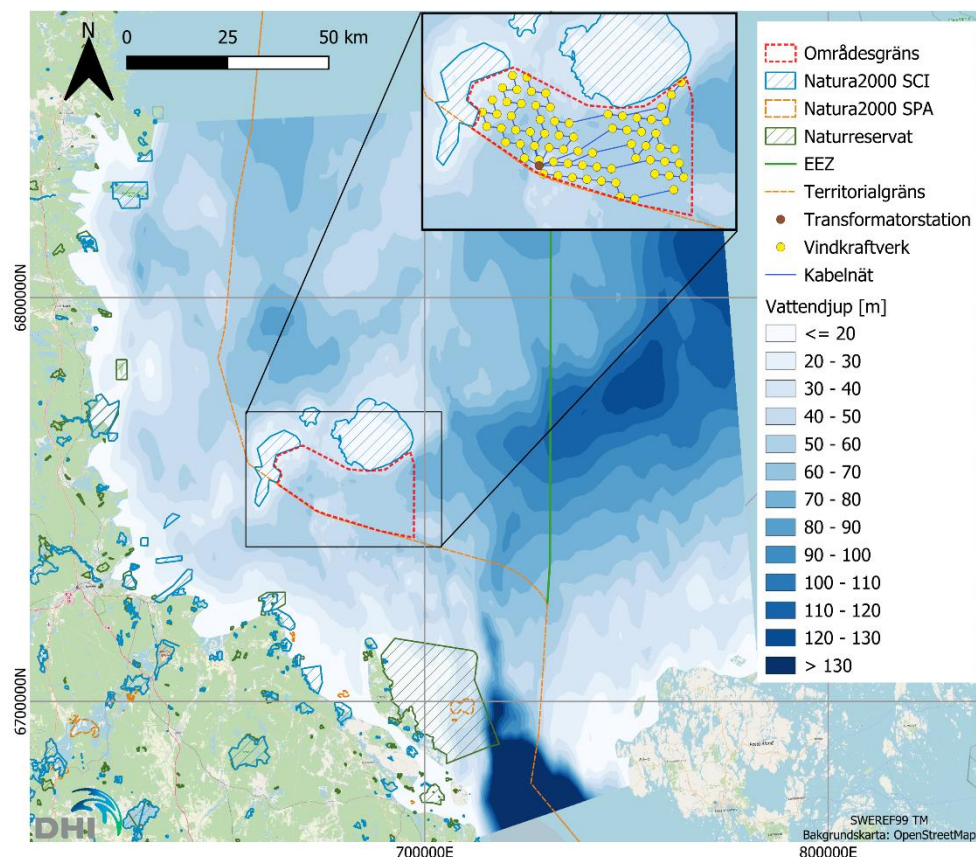
Figur 3-6	Modellerade och observerade djupprofiler av salinitet.	15
Figur 4-1	Netto-sedimentationens utbredning och mäktighet.	20
Figur 4-2	Netto-sedimentationens utbredning och mäktighet inklusive djupkonturer.	20
Figur 4-3	Maximal grumling vid ytan.....	22
Figur 4-4	Maximal grumling som djupmedel.	22
Figur 4-5	Maximal grumling vid botten.	23
Figur 4-6	Lokalisering av transekter för vertikala tvärsnitt. Bakgrundskartan visar maximal grumling vid botten.	23
Figur 4-7	Maximal grumling längs vertikala gränssnitt från söder till norr (överst) och från väst till öst (underst).	24
Figur 4-8	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material vid botten överstiger 10 mg/l.	25
Figur 4-9	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material vid botten överstiger 100 mg/l.	26
Figur 4-10	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material vid botten överstiger 1000 mg/l. Varaktigheten är 6 timmar eller lägre (vit i färgskalan).	27
Figur 4-11	Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material överstiger 10 mg/l som djupmedel. Notera att endast ett litet område finns där varaktigheten överstiger 6 timmar (0,25 dygn).	28

Tabeller

Tabell 2-1	Fördelning av fundament och dimensioner för pålar, enligt information som tillhandahållits från DWO.	7
Tabell 2-2	Tider för installationsarbeten i respektive delområde, enligt information från DWO. ...	10
Tabell 3-1	Fallhastigheter för de tre fraktioner som representerar sedimentspill i modellen.....	16
Tabell 3-2	Kornstorleksfördelning för fraktionerna som representerar sedimentspill i modellen, för respektive djuplager och delområde. Fördelningen har antagits baserat på erhållen information från DWO. Kornstorleksfördelning av spill från berggrund har dock antagits som jämnt fördelad över de tre fraktionerna, på grund av brist på information.....	17
Tabell 4-1	Sammanlagda areor för respektive intervall av pålagring.	21
Tabell 4-2	Sammanlagda areor för respektive intervall av varaktighet då grumlingen överstiger 10 mg/l vid botten.	25
Tabell 4-3	Sammanlagda areor för respektive intervall av varaktighet då grumlingen överstiger 100 mg/l vid botten.	26

1 Introduktion

DHI Sverige AB (DHI) har fått i uppdrag av Deep Wind Offshore AS (DWO) att modellera sedimentspridning och påverkan på vind, vågor och strömmar för den planerade havsbaserade vindkraftparken Olof Skötkonung. Vindkraftparken är markerad med röd kontur i Figur 1-1, där modellområde och djupförhållanden visas.



Figur 1-1 Område och batymetri i modellering av hydrodynamik och sedimentspridning vid vindkraftparken Olof Skötkonung (röd streckad kontur).

Denna rapport beskriver modellering av sedimentspridning vid anläggning av fundament och kablar för vindkraftparken. Modellresultaten som beskrivs här är framtagna som underlag till miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) för installation av fundament och kablar i vindkraftparken. Även påverkan på vind, vågor och strömmar under parkens driftsfas har modellerats i studien, men dessa resultat presenteras separat i kommande tillägg till denna rapport.

Rapporten är uppbyggd enligt följande:

- Kapitel 2 beskriver indata till modellen och erhållen information om den planerade vindkraftparken, om sediment i parkområdet samt om planerade installationsarbeten.
- Kapitel 3 beskriver uppställningen för den lokala hydrodynamiska modellen och sedimentspridningsmodellen.
- Kapitel 4 presenterar resultaten för modellering av sedimentspridning.

2 Data

I det här avsnittet beskrivs de data som har använts för att ta fram den lokala modellen för hydrodynamik och sedimentspridning vid Olof Skötkonung.

2.1 Batymetri

För att representera djupförhållanden kring vindkraftparken i modellen har djupdata från EMODnet använts, [EMODnet Product Catalogue \(europa.eu\)](https://emodnet.europa.eu/).

Djupförhållanden i modellen visas i Figur 2-1. I vindkraftparken varierar djupet mellan ungefär 20–70 m. Vindkraftparkens yttre kontur är markerad av streckad röd linje. I de grundare områdena norr och väster om vindkraftparken ligger tre Natura 2000-områden. Positioner för vindkraftverk, transformatorstation (OSS) samt internt kabelnät (IAC) visas i infällda figurer, enligt tillhandahållen information från DWO som beskrivs nedan i avsnitt 2.2.

2.2 Vindkraftparken

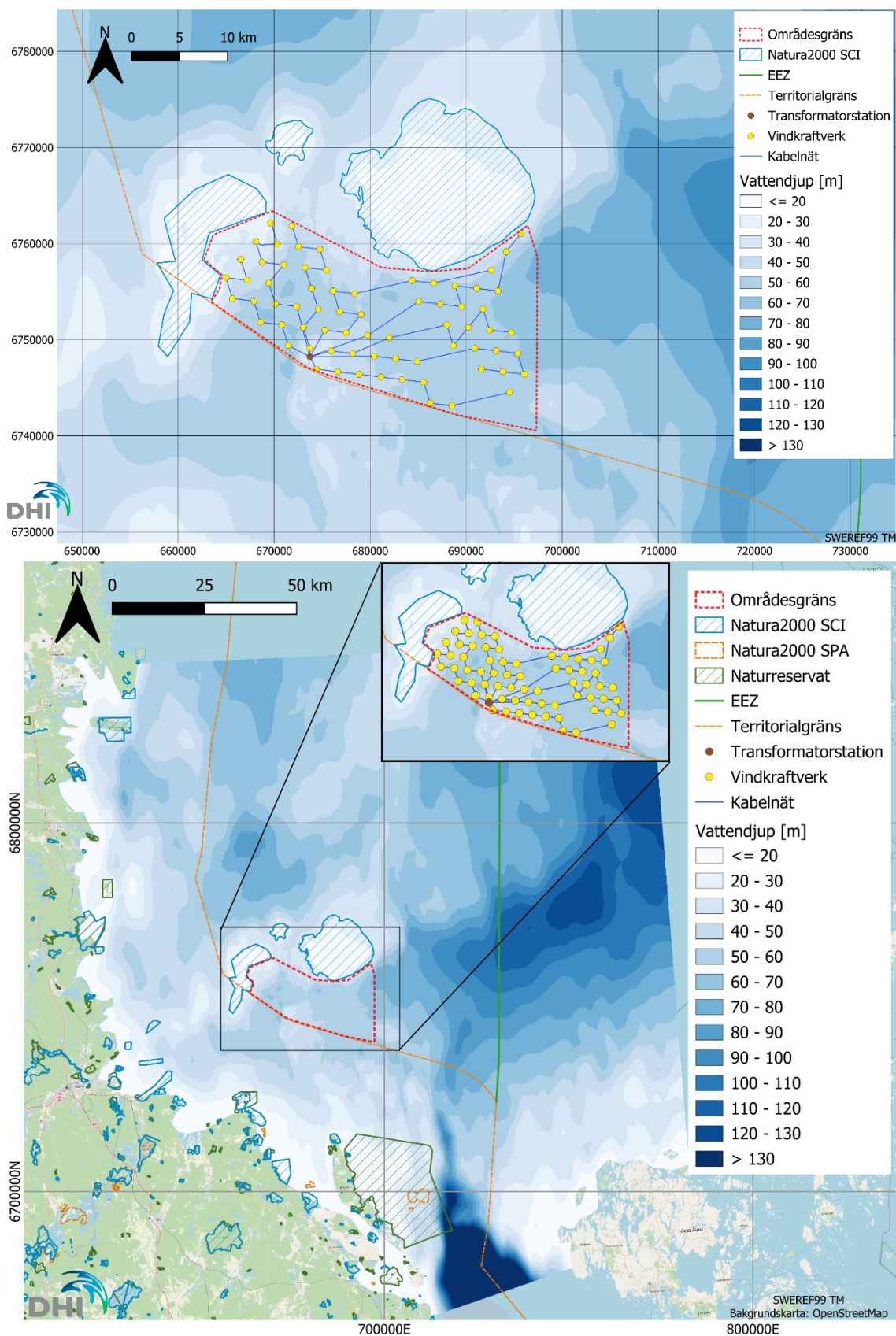
Vindkraftparken har representerats i modellen enligt den layout som visas i Figur 2-1 enligt erhållen information från DWO. Parkområdet som visas i Figur 2-1, har en total area om 485 km². Utformningen innehåller 70 vindkraftverk, 1 transformatorstation (OSS) samt internt kabelnät (IAC). Fördelningen av fundament på respektive delområde listas i Tabell 2-1.

Fundamenten som ska installeras är av typ "jacket", som har 4 pålar per vardera fundament. Dimensioner för respektive delområde listas i Tabell 2-1, där den angivna längden för pålarna motsvarar den del som ska drivas ner i botten (utöver denna längd har pålarna ytterligare ett par meter som kommer sticka upp ovanför bottenytan, en "stick up"). DWO har anvisat att dimensioner för transformatorstationen ska antas vara samma som för vindkraftverkens fundament i delområde 2, i denna studie.

Erhållna dimensioner för kabeldiken är 1 m² tvärsnittsarea, samt total längd ca 197,5 km för det totala kabelnätet inom vindkraftparken.

Tabell 2-1 Fördelning av fundament och dimensioner för pålar, enligt information som tillhandahållits från DWO.

	Delområde				Total
	1	2	3a	3b	
<u>Antal</u>					
Vindkraftverk	24	14	13	19	70
Transformatorstation		1			1
Piles	96	60	52	76	284
<u>Dimensioner pålar</u>					
Pile längd (m)	36	23	26	26	
Ytterdiameter (m)	2.5	4	2.5	2.5	



Figur 2-1 Batymetri i modelleringen närmast vindkraftparken (överst) samt för hela modellområdet (underst).

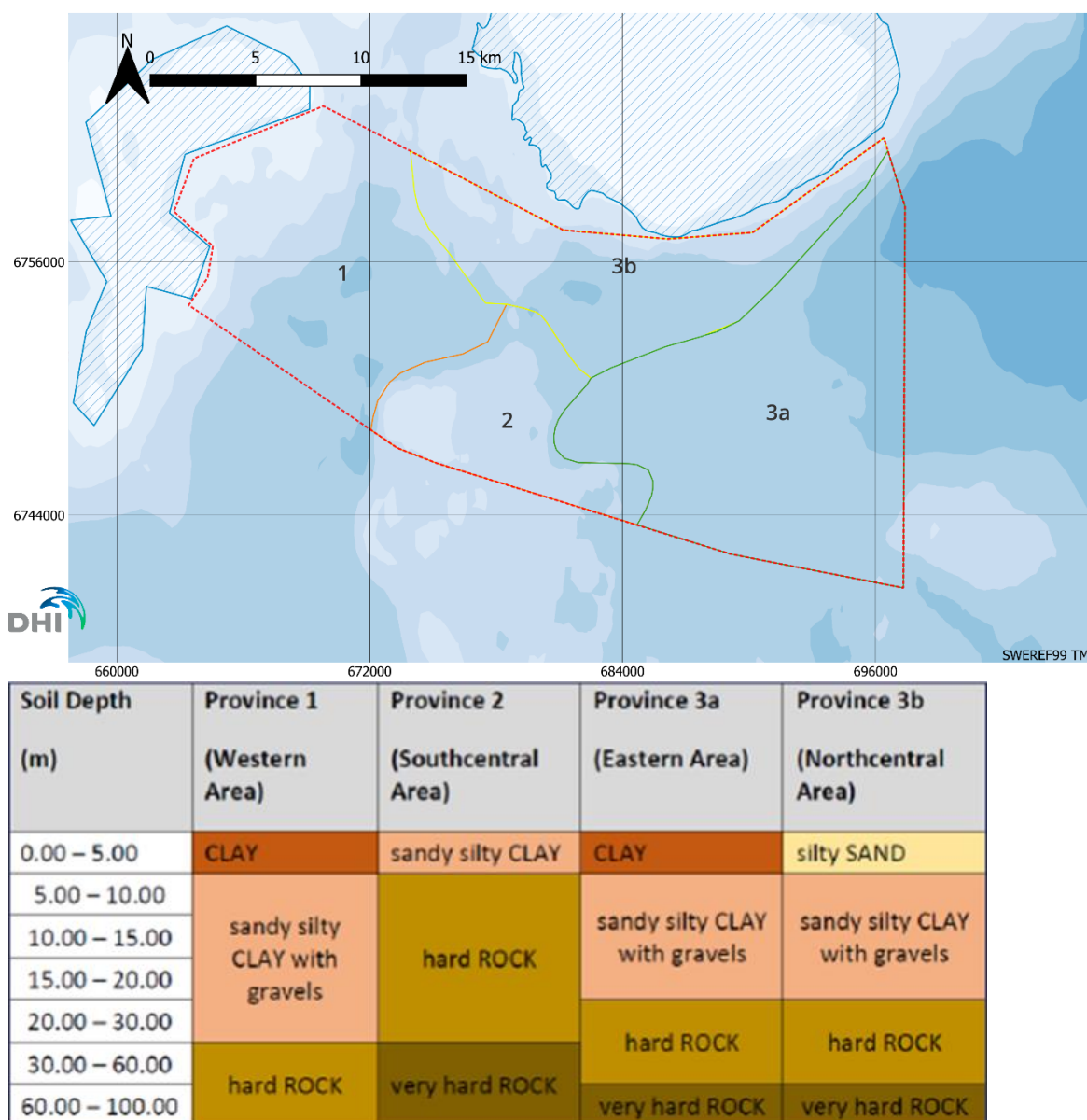
2.3 Sedimentdata

Information om sedimenten vid vindkraftparken har tillhandahållits från DWO och visas i Figur 2-2.

Det översta lagret (0–5 m) består av sediment med varierande fina kornstorlekar i de olika delområdena, med grövre sedimentklass i delområde 3b (siltig sand). Underliggande lager (5–30 respektive 5–20) består av sandig siltig lera med grus, undantaget delområde 2 där detta lager utgörs av fast berg. På 30 m djup och längre ner består botten av fast berg i samtliga delområden.

De pålar som ska installeras går genom lagren av sediment, och sticker ned till varierande del i den hårda berggrunden (jämför med pålarnas längd i Tabell 2-1).

Antaganden om sedimentens egenskaper som gjorts i modellen baserat på erhållen information beskrivs i avsnitt 3.2.1.



Figur 2-2 Information om sediment vid vindkraftparken i respektive delområde, som tillhandahållits av DWO.

2.4 Installationsarbeten

Enligt DWO ska installation av fundament ske genom påning genom sediment, samt borrar i djupare lager med hårt berg (se Figur 2-2). Installation av kabeldiken ska ske genom spolning (jetting).

Installationsarbeten planeras ske genom en rigg som pålar/borrar enligt installationstider för respektive delområde listade i Tabell 2-2. Dimensionerna för pålarna i respektive delområde listas i Tabell 2-1.

Parallellt med installationsarbetet för fundamenten utförs kabelspolning, men på ett avstånd från riggen som pålar/borrar.

Representation och antaganden om sedimentspill från installationsarbeten i modellen baserat på erhållen information beskrivs i avsnitt 3.2.2.

Tabell 2-2 Tider för installationsarbeten i respektive delområde, enligt information från DWO.

	Delområde				Total
	1	2	3a	3b	
Genomsnittlig installationstid per fundament (4 pålar) [dagar]	1.5	2.3	1.3	1.3	
Genomsnittlig installationstid per påle [dagar]	0.375	0.575	0.325	0.325	
Förberedelsetid för installation per fundament [dagar]	0.75	0.75	0.75	0.75	
Total installationstid för alla fundament (inklusive förberedelsetid) [dagar]	54	45.75	26.65	38.95	165.35

3 Modellbeskrivning

Modelleringen av hydrodynamik och sedimentspridning har utförts med hjälp av det tredimensionella numeriska modelleringsverktyget MIKE 3 FM. En detaljerad beskrivning av programvaran finns i /1/ och /2/.

Modellen används för att beskriva hur sedimentspill sprids av de lokala strömförhållandena, vid installationsarbeten av fundament och kablar.

Dessutom används den hydrodynamiska modellen för att beskriva påverkan på de lokala strömförhållandena, vid driftsfasen av vindkraftsparken. Men detta beskrivs i ett kommande tillägg till denna rapport.

I följande avsnitt beskrivs modelluppsättningen för hydrodynamiken och sedimentspridningen.

3.1 Hydrodynamisk modell

3.1.1 Modelleringsperiod

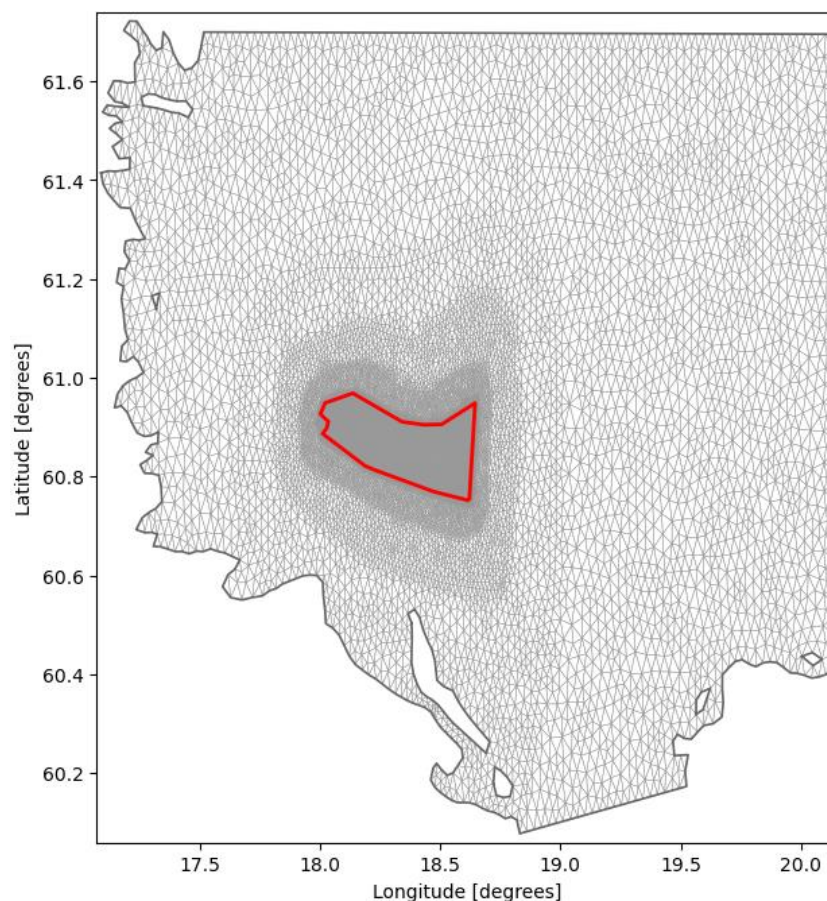
Modellen simulerar väderåret 2020. Detta år har valts som ett representativt år för normala förhållanden, utan historiska stormar.

3.1.2 Beräkningsnät

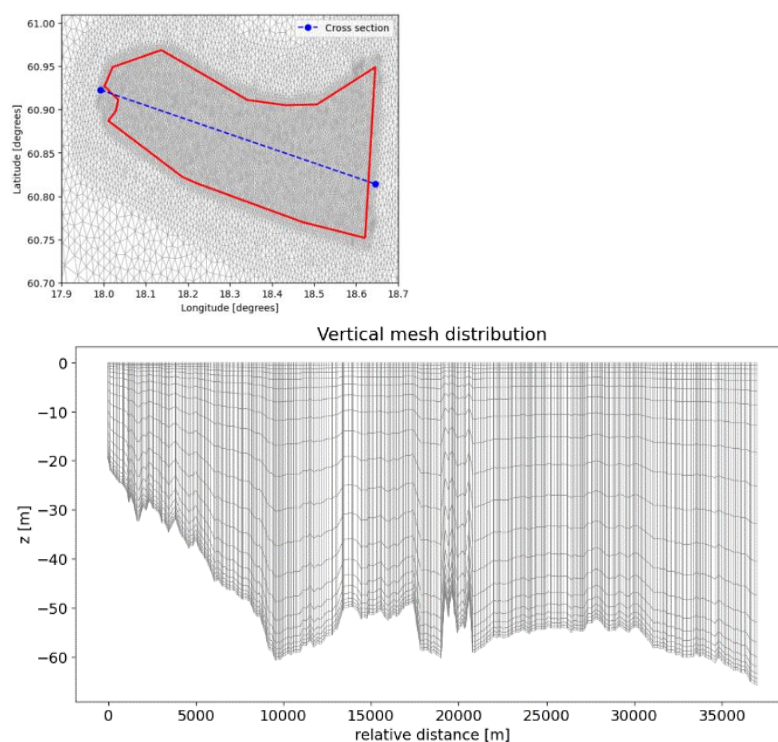
Den lokala modellens beräkningsnät visas i Figur 3-1.

Beräkningscellerna inom parkområdet har tilldelats en sidlängd om ca 200–400 meter, vilket bedöms vara tillräcklig upplösning för att simulera strömmarnas horisontella gradient i området och sedimentspridning. De mest högupplösta cellerna finns i området för vindkraftsparken, för att gradvis bli grövre i riktning mot modellens yttre ränder. Sidlängden på beräkningscellerna vid de yttre ränderna har storleksordningen 3 km.

Modellens vertikala upplösning består av 20 så kallade sigma-lager. Lagren närmast ytan och botten är tunnare, för att säkerställa en tillräcklig upplösning i de nivåer där sedimenten sprids och för att fånga skiktning i temperatur och salinitet. Sigma-lagren följer batymetrin så att tjockleken ökar för samtliga lager på djupare områden. Figur 3-2 visar ett tvärsnitt över beräkningsnätet, genom parkområdet. Elementen nära botten i parkområdet är ca 0,5 m tjocka vid 55 m djup. På djupare områden är elementen vid botten tjockare. Vid de största djupen i domänen (ca 348 m, se den södra randen i Figur 2-1) är elementen vid botten ca 2 m tjocka (men detta är på ett längre avstånd från intresseområdet).



Figur 3-1 Beräkningsnät för den lokala modellen vid Olof Skötkonung.



Figur 3-2 Vertikal upplösning bestående av 20 sigmalager. Lagren är tunnast närmast ytan och botten. Tvärsnittet visar en sektion från väst till öst genom parkområdet, markerad med blå streckad linje i infälld bild (överst).

3.1.3 Drivning av den hydrodynamiska modellen

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

Meteorologiska fält med vindhastighet och riktning, lufttryck och lufttemperatur, har hämtats från NORA3, /3/.

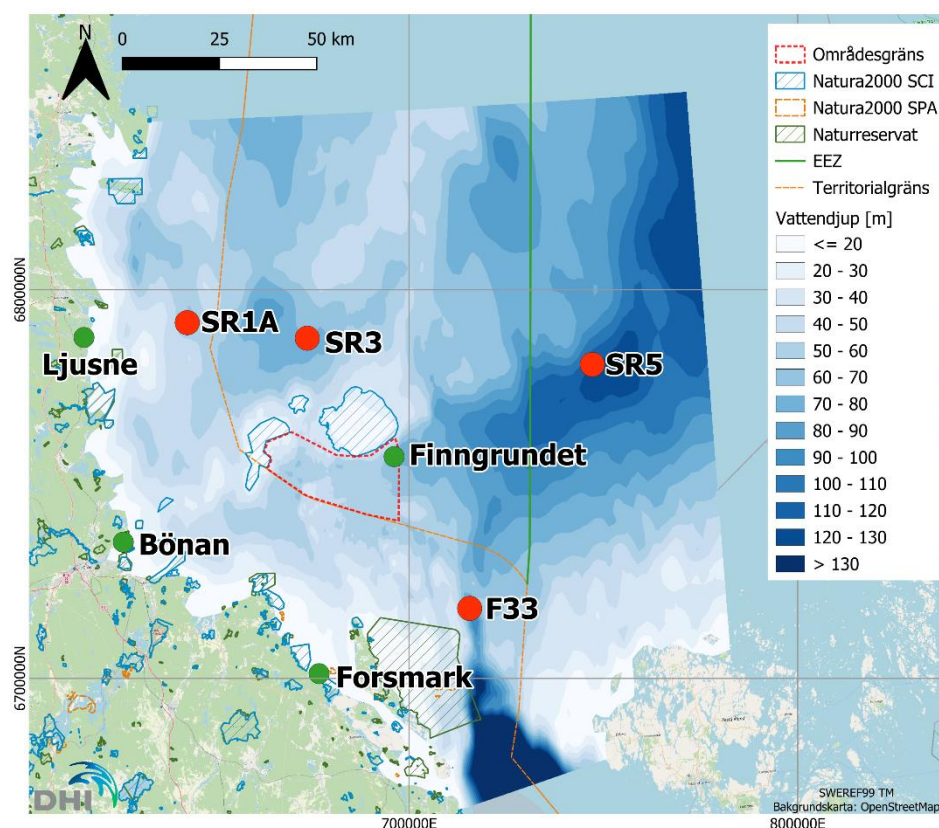
Oceanografiska randvillkor (vattenstånd, strömmar, salinitet och vattentemperatur) vid den lokala modellens yttre ränder har hämtats från CMEMS (<https://doi.org/10.48670/moi-00010>).

Flöde från vattendragen Delångersån, Dalälven, Nianån, Norralaan, Ljusnan, Skärjån, Hamrångeån, Testeboån, Gavleån, Forsmarksån, Tamnårån, Olandsån och Skeboån har hämtats från SMHI's S_HYPE (<https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenwebb>).

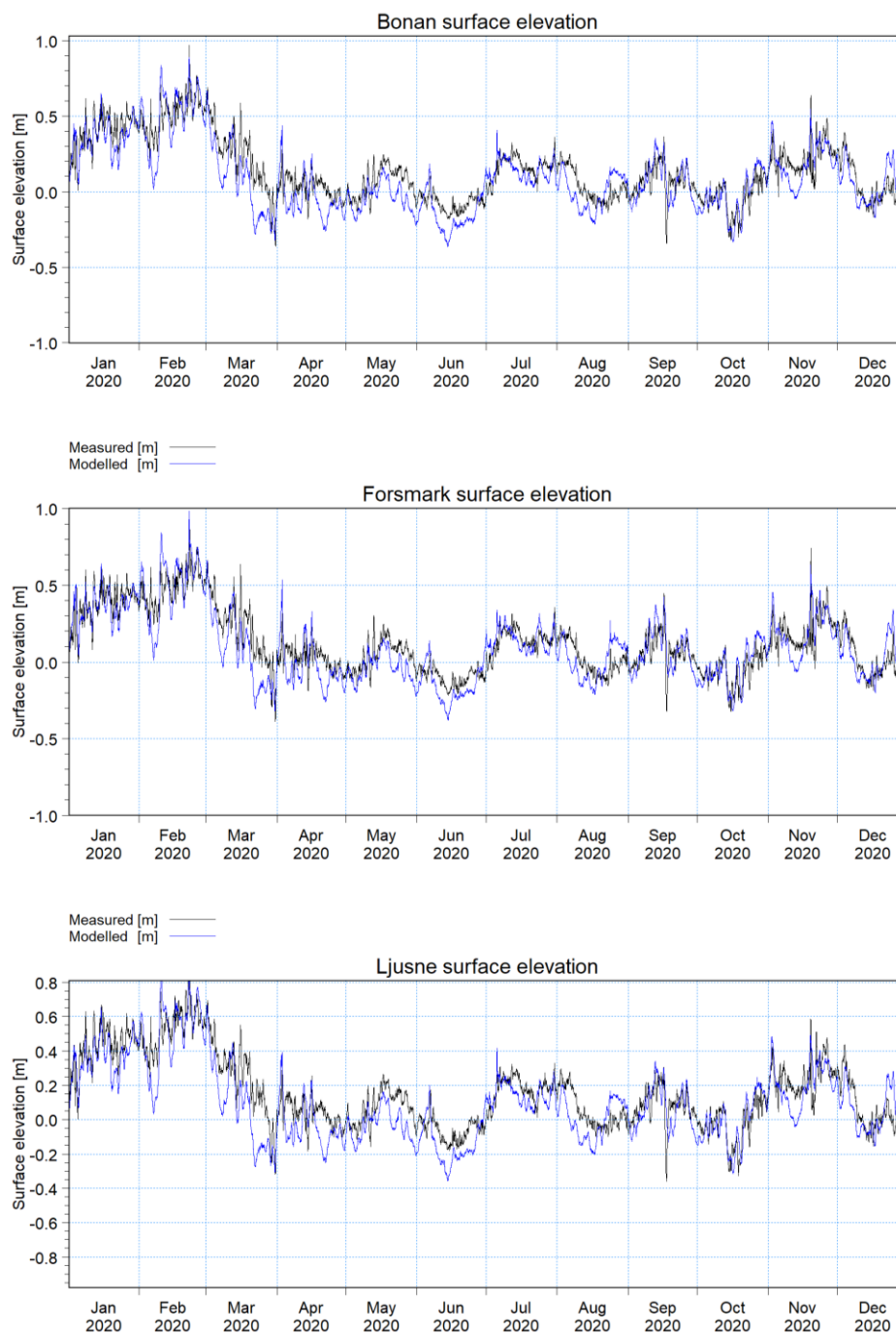
3.1.4 Validering

Validering av den lokala hydrodynamiska modellen har gjorts genom att jämföra modellresultaten med observationer från området. Stationer med observerade data visas i Figur 3-3., där gröna markörer visar stationer med observerat vattenstånd samt temperatur och röda markörer visar stationer med observerade profiler av salinitet.

Vattenståndsvariationer validerades mot tidsserier över observerade värden hämtade från SMHI vid mätstationer Bönan SJÖV, Forsmark och Ljusne. Modellerade och observerade tidsserier visas i Figur 3-4. Modellen fångar vattenståndsvariationerna väl.



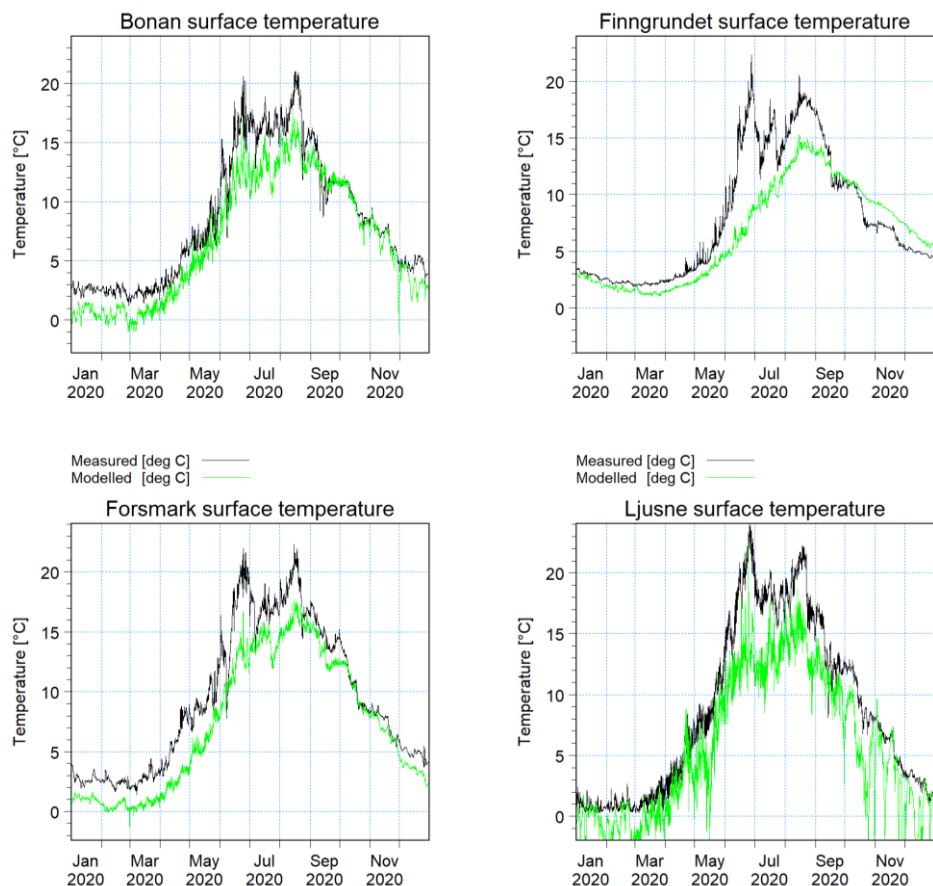
Figur 3-3 Stationer med observerade data: vattenstånd och temperatur (grön markör), samt profiler över salinitet (röd markör).



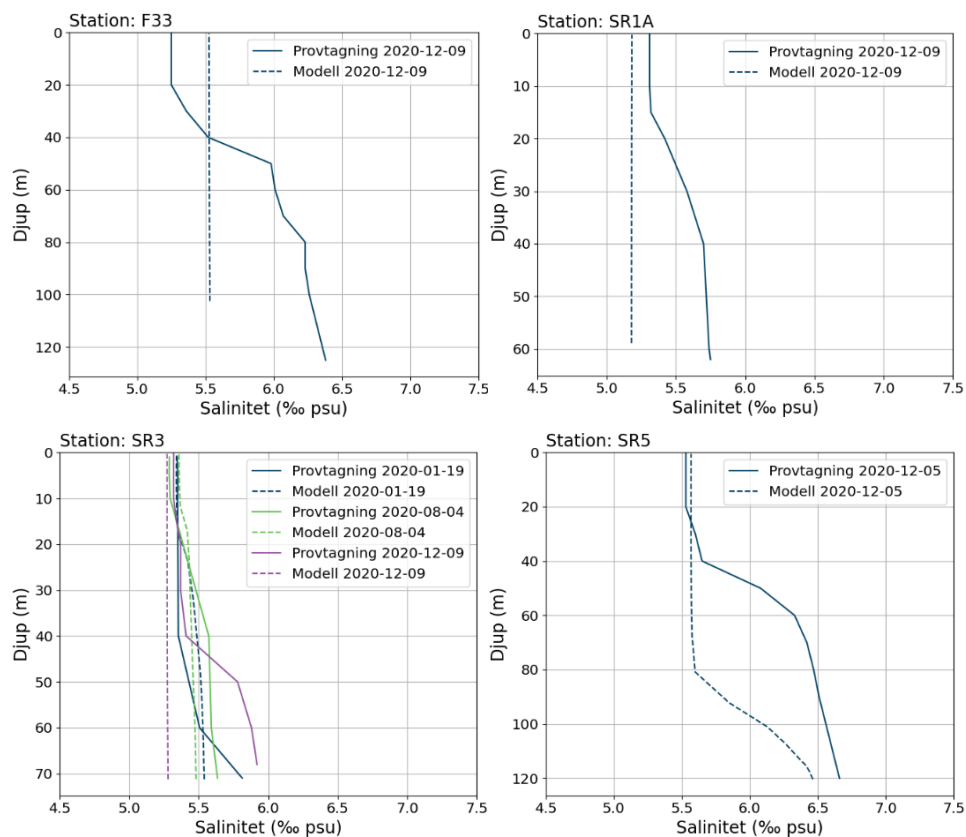
Figur 3-4 Vattenstånd relativt medelvattenstånd, observerad (svart) och modellerad (blå) vid mätstationer Bönan, Forsmark och Ljusne.

Temperatur i havsytan validerades mot observerade tidsserier hämtade från SMHI vid mätstationer nämnda ovan, samt vid Finngrundet SJÖV. Modellerade och observerade tidsserier visas i Figur 3-5. Modellen ligger något lägre i temperatur vid havsytan än observerade värden, men fångar dynamiken över tid väl.

Salinitet validerades mot observerade profiler hämtade från SMHI ([SharkWeb \(smhi.se\)](https://sharkweb.smhi.se)). Modellerade och observerade profiler visas i Figur 3-6. Modellerad salinitet ligger nära observerade värden runt 5,5 psu.



Figur 3-5 Temperatur, observerad (svart) och modellerad (grön) vid mätstationer Bönan, Finngrundet, Forsmark och Ljusne.



Figur 3-6 Modellerade och observerade djupprofiler av salinitet.

3.2 Sedimentspridningsmodell

3.2.1 Antaganden om egenskaper hos sedimentspill

Information om sedimenten i parkområdet har tillhandahållits av DWO, se 2.3.

Baserat på erhållen information har sedimentet som spills i modellen representerats av tre olika kornfraktioner. Respektive kornfraktion är associerad med en fallhastighet, som presenteras i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Fallhastigheter för de tre fraktioner som representerar sedimentspill i modellen.

	Flockulerade lerpartiklar	Silt	Fin sand och grövre fraktioner
Fallhastighet [mm/s]	0,05	0,5	5

Kornstorleksfördelning för fraktionerna som representerar sedimentspill listas i Tabell 3-2, för respektive lager (sediment samt berggrund) och delområde.

Torrdensiteten in situ för sedimenten har antagits vara 1700 kg/m³ och 2100 kg/m³ för berggrunden. Dessa densiteter har använts för att beräkna massan av volymen sediment som störs vid pålning, respektive massan för den borrade volymen i berget. Nydeponerat sedimentspill som fallit ner på botten, har en lägre densitet på grund av ett högre vatteninnehåll. I den här studien har vi antagit att nydeponerade fina sediment (ler och silt) som spillts och sedimenterat ner till botten, har en torrdensitet på 280 kg/m³ och nydeponerade sandpartiklar har en torrdensitet på 1600 kg/m³.

Tabell 3-2 Kornstorleksfördelning för fraktionerna som representerar sedimentspill i modellen, för respektive djuplager och delområde. Fördelningen har antagits baserat på erhållen information från DWO. Kornstorleksfördelning av spill från berggrund har dock antagits som jämnt fördelad över de tre fraktionerna, på grund av brist på information.

	Kornstorleks- fördelning (%)	Delområde			
		1	2	3a	3b
<i>Lager 1</i>		<u>0–5 m</u>	<u>0–5 m</u>	<u>0–5 m</u>	<u>0–5 m</u>
Ler (flockulerad)		100	60	100	0
Silt		0	20	0	20
Fin sand och grövre fraktioner		0	20	0	80
<i>Lager 2</i>		<u>5–30 m</u>	<u>5–30 m</u>	<u>5–20 m</u>	<u>5–20 m</u>
Ler (flockulerad)		60	33	60	60
Silt		20	33	20	20
Fin sand och grövre fraktioner		20	33	20	20
<i>Lager 3</i>		<u>30–100 m</u>		<u>20–60 m</u>	<u>20–60 m</u>
Ler (flockulerad)		33		33	33
Silt		33		33	33
Fin sand och grövre fraktioner		33		33	33

3.2.2 Simulerade källor för sedimentspill

Installationen av de fyra pålarna för respektive fundament innebär borring genom berglager samt pålning genom sedimentlagren. Erhållen information om

planerade installationsarbeten har beskrivits i avsnitt 2.4. Representation av sedimentspill från installationsarbeten i modellen beskrivs i detta stycke.

Sedimentspill från arbetet med pålning har representerats genom antagandet att sedimentvolymen runt pålningen (den översta metern av sedimentlagret, med horisontell radie 4 gånger påldiametern) agiteras och ger suspenderat spill om 10% av materialet från denna volym. Spill från pålning simuleras nära havsbotten under tiden riggen befinner sig vid respektive fundament (Figur 2-1). Tiden för pålning har simulerats som erhållen installationstid för respektive delområde (Tabell 2-2) minus den tid som antagits för borrhningen.

En borrhningskapacitet om 100 m³/h har antagits baserat på DHI's erfarenhet från tidigare projekt. Med denna kapacitet utgörs tiden för borrhning av volymen berg som ska borrh i respektive delområde. Borrhvolymen utgörs av den andel av pålens längd som sticker ned i berglagret samt pålens yttre diameter (Tabell 2-1 och Figur 2-2). Spill som orsakas av borrhning antas vara 100% av borrhad volym. Ett beslut togs av DWO om att simulera att borrhad material släpps 15 m ovanför botten, baserat på rekommendation från DHI. När borrhad material släpps tillräckligt långt ner i vattenmassan kan man undvika att spillet sprids av starkare strömmar som kan förekomma längre upp i vattenkolumnen (i ytan och ner till språngskiktet).

Borrhningen och pålningen modelleras i kontinuerlig följd vid varje enskilt fundament. En paus om 18 timmar mellan varje fundament har simulerats för att motsvara förberedelsetiden som förflyttning/upsättning av rigg innebär (enligt Tabell 2-2).

Spolning för kabeldiken utförs under samma period som installationsarbeten för fundament görs, men på ett avstånd från riggen som gör pålning och borrhning. Spolningen sker längs dragning av kabelnätet (Figur 2-2) och avlägsnar sediment i det översta sedimentlagret på botten. Kabeldiket som ska spolas har 1 m² tvärsnittsarea, samt total längd ca 197,5 km inom vindkraftparken. Kapaciteten för spolningsmaskinen har antagits vara 200 m/h, vilket är en typisk hastighet för denna typ av installationsarbete. Mängden spill som orsakas har antagits vara 70% av massan som spolas bort vid kabeldikningen. Spillet suspenderas nära botten.

Antagen kornstorleksfördelning för spill från de installationsarbeten som beskrivits listas ovan i Tabell 3-2, för respektive sediment/berglager och delområde varifrån spillet härstammar.

Installationsarbeten simuleras med start den 1 mars och avslut inom loppet av augusti, enligt antaget tidsschema, under modellåret. Simuleringsperioden har valts för att undvika stormhändelser under hösten, då installationsarbeten inte förväntas ske.

4 Resultat från modellering av sedimentspridning

I detta avsnitt presenteras resultaten för simuleringen av sedimentspridningen vid anläggningsarbetet. Kartresultat som presenteras visar följande:

- Netto-sedimentationen (pålagringens tjocklek) en månad efter installationsarbeten.
- Maximal grumling av suspenderat sediment (99:e percentilen) vid vattenytan (ca 0,5 m under ytan), vid botten, som djupmedelvärde över hela vattenpelaren och som vertikala tvärsnitt längs två transekter.
- Varaktigheten för koncentrationer av suspenderat sediment överskridande 10, 100 och 1000 mg/l vid havsbotten (ca 0,5 m över havsbotten i parkområdet) och som djupmedelvärde (för nivån 10 mg/l). Ytterligare kartresultat över varaktighet i ytan och som djupmedel visas i Appendix A.

4.1 Netto-sedimentation

Pålagringens utbredning och tjocklek 1 månad efter installationsarbetena visas i Figur 4-1. Den beräknade pålagringen är baserad på antagandet att torrdensiteten för så pass nydeponerat sediment är 280 respektive 1600 kg/m³, för de finare respektive grövre fraktionerna.

Resultaten visar att materialet som spills och suspenderas till stor del driver iväg med strömmarna, men att en mindre del ger en viss pålagring framförallt inom och strax söder om vindkraftparken.

Pålagring i de närliggande Natura 2000-områdena är mindre än 1 mm. Dessa områden är relativt grunda (mindre än 20 respektive 30 m, se djupkonturer som inkluderats i kartan i Figur 4-2). Till följd av det begränsade djupet i Natura 2000-områdena påverkas de inte av pålagring i samma utsträckning. Det suspenderade materialet tenderar i stället att sedimentera ner och skapa pålagring i djupare områden, där strömförhållanden är lugnare.

Områden med tjockast pålagring, från 10 mm och upp till 200 mm, finns huvudsakligen i delområde 2 runt transformatorstationen och runt enskilda fundament för vindkraftverk. Anledning till att pålagringen blir tjockare just runt transformatorstationen är dels att spolningsmaskinen tillbringar en längre tid kring denna position, där alla kabeldiken möts. I delområde två borras också mer för respektive fundament än i övriga delområden. Spillet från borringen släpps 15 m ovanför botten och innehåller en andel grova kornstorlekar som faller direkt ner till botten, precis runt positionerna för vindkraftverkens och transformatorstationens fundament.

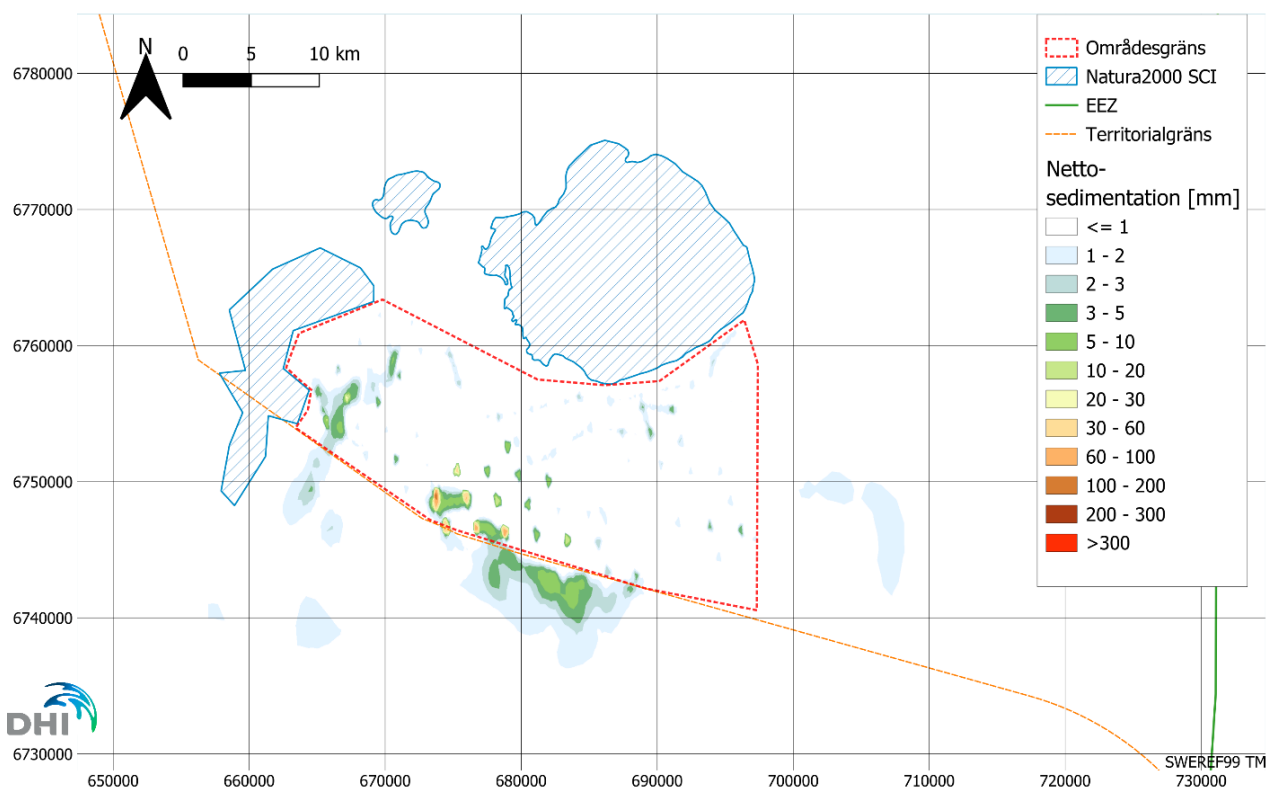
En tunnare pålagring om 5–10 mm återfinns dels vid enskilda fundament i delområde 1 och 2, samt dels ett område söder om anläggningens gräns med ett avstånd på upp till ca 3 km från parkområdet.

Pålagringstjocklekar mellan 1–5 mm har större spridning, och återfinns i begränsade områden upp till ca 15 km utanför anläggningens gränser. Denna pålagring orsakas primärt av de mindre kornstorlekarna i sedimentspillet, som lätt suspenderas av strömmarna.

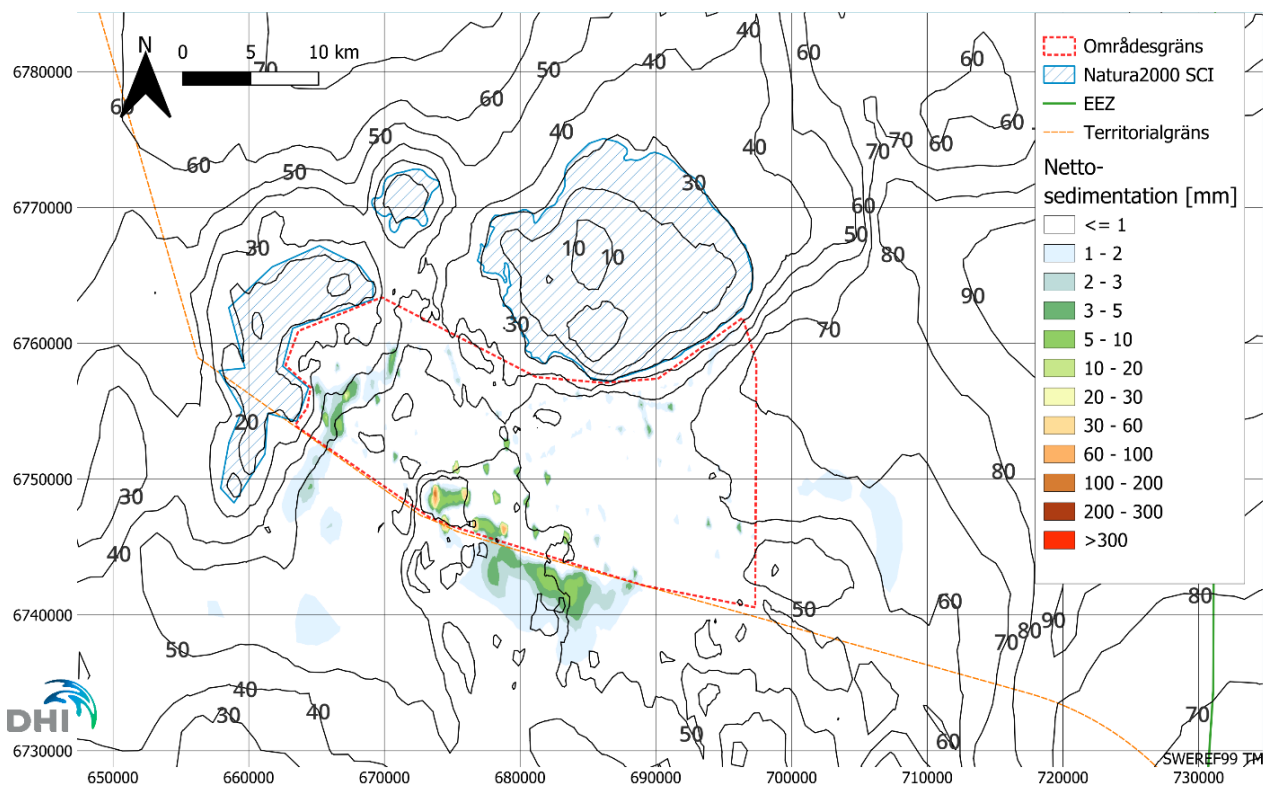
Inom parkområdet orsakas pålagringen till största del av installationen av fundament. Den pålagring som sker på större avstånd från källorna är dock en

kombinerad påverkan orsakad av spill av finare fraktioner från både spolning, pålning och borring.

Sammanlagda areor för respektive intervall av pålagring listas i Tabell 4-1.



Figur 4-1 Netto-sedimentationens utbredning och mäktighet.



Figur 4-2 Netto-sedimentationens utbredning och mäktighet inklusive djupkonturer.

Tabell 4-1 Sammanlagda areor för respektive intervall av pålagring.

Netto-sedimentation [mm]	1	2	3	5	10	20	30	60	100	200
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3	5	10	20	30	60	100	200	300
Area [km ²]	99,0	25,8	18,4	8,2	1,5	0,3	0,4	0,2	0,1	0,0

4.2 Maximal grumling

Figur 4-3 till Figur 4-5 visar den maximala (99:e percentilen) koncentrationen av suspenderat sediment som uppstår under hela simuleringsperioden. Kartfigurerna är en sammanställning av den högsta koncentrationen som inträffat under simuleringen i respektive gridcell i modellen, d.v.s. kartan representerar inte en enskild tidpunkt. Figurerna visar denna maximala grumling (99 percentil) vid ytan, vid havsbotten och som djupmedelvärde.

De maximala koncentrationerna är högst vid botten eftersom sedimentet spills vid botten (pålning och spolning) samt 15 m över botten (borrning). Koncentrationerna är följaktligen lägre vid ytan, eftersom sedimentspillet blir mer utspädd och förflyttas med horisontella strömmar när det suspenderas upp till ytan.

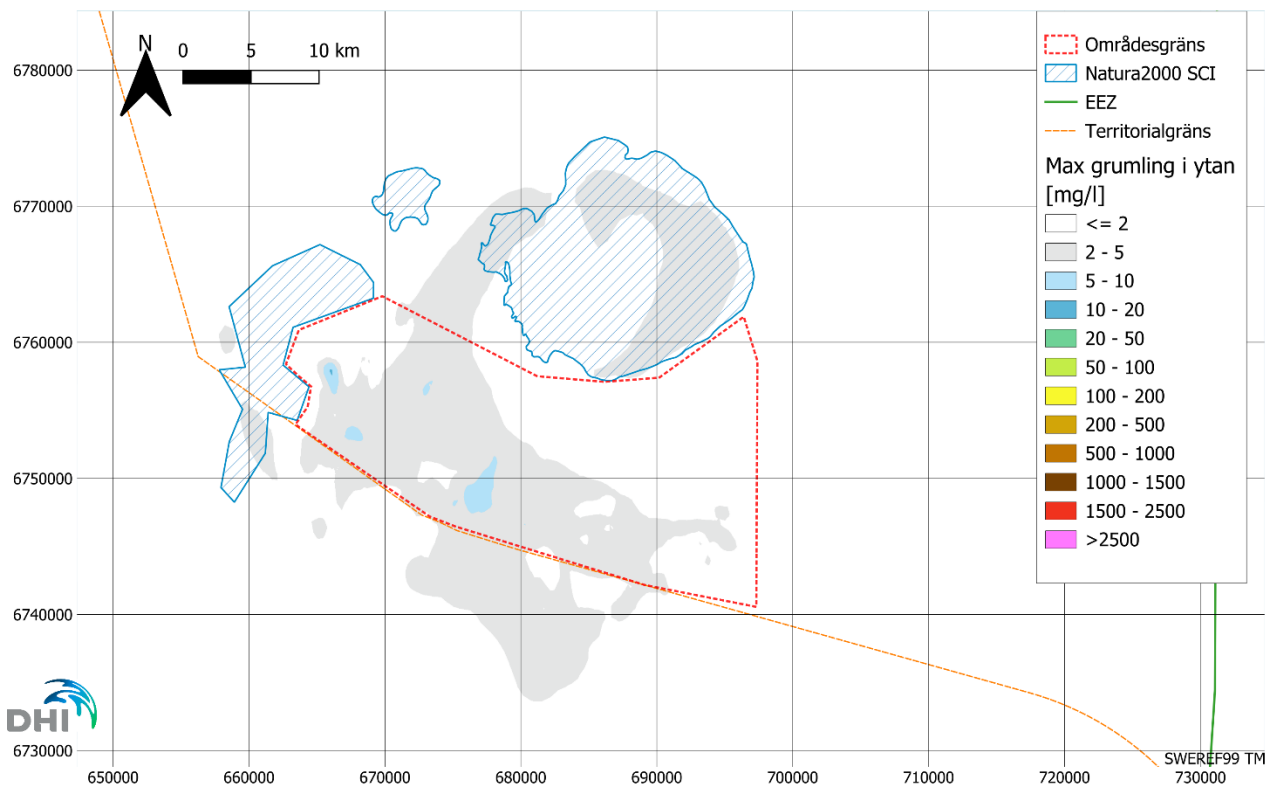
De högsta koncentrationerna uppstår på botten i närområdet kring vindkraftsfundamentens positioner. I dessa områden är de maximala koncentrationerna på botten över 200 mg/l, men lokalt också högre än 500 mg/l. Området precis norr om transformatorstationen har en maximal koncentration vid botten som överstiger 1500 mg/l, vilket till stor del beror på att kabeldikena ligger tätt där så att spolningsmaskinen passerar flera gånger i närområdet.

För stora områden i vindkraftparken är koncentrationen vid något tillfälle 50 mg/l eller mer vid botten. Området med maximal koncentration om 50–100 mg/l (ljusgrön färgkategori i Figur 4-5) och 100–200 mg/l (gul färg) vid botten sträcker sig dessutom utanför parkområdet. Konturen för 100 mg/l (gränsen mellan ljusgrön och gul) når ca 15 km utanför parkområdet, längs de djupare områdena.

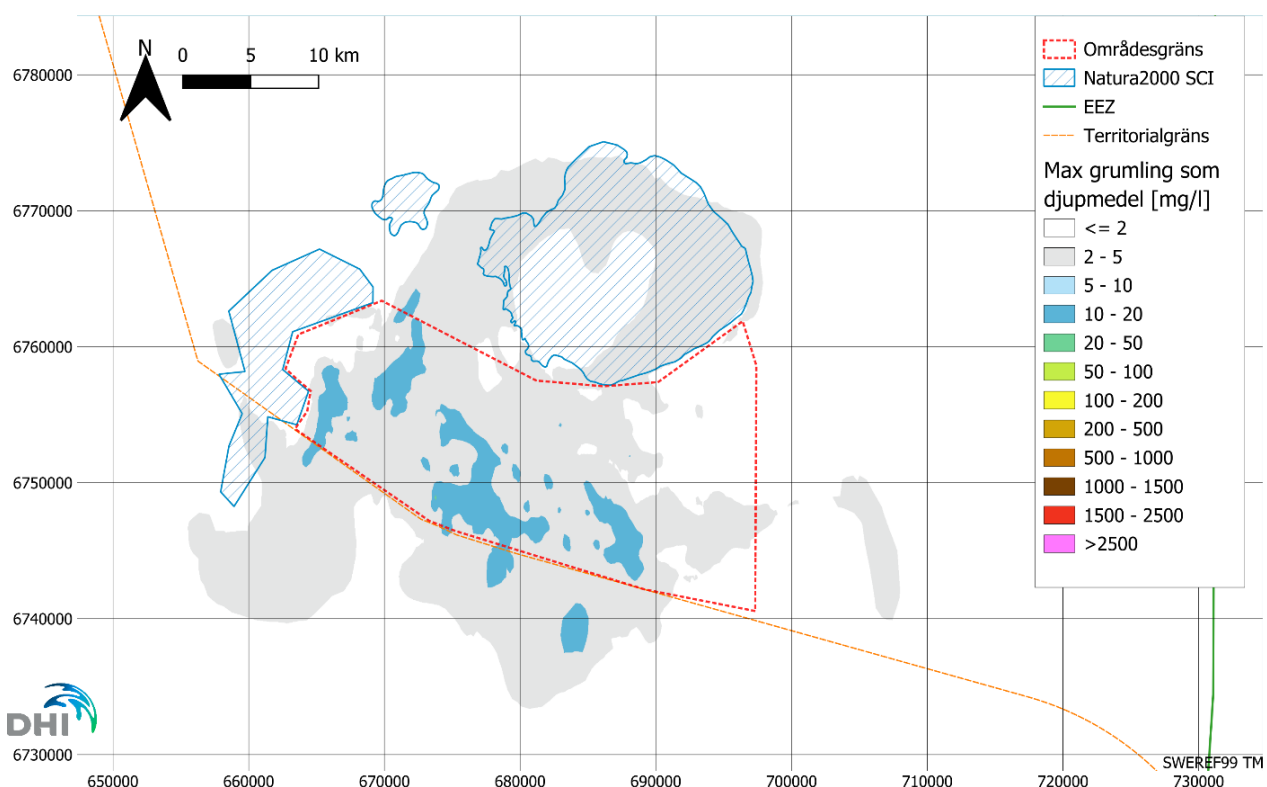
De tre Natura 2000-områdena är relativt grunda och påverkas därför endast av lägre nivåer av maximal grumling, eftersom sedimentspillet späds då det suspenderas uppåt i vattenkolumnen. I det västra Natura-2000 området (Finngrundet–Västra banken) förekommer maximal grumling om upp mot 5 mg/l i en mindre del av området (i hela vattenkolumnen). Även högre maximal grumling, upp mot ca 10 mg/l, förekommer vid botten precis vid gränsen till Finngrundet–Västra banken. I det östra Natura 2000-området (Finngrundet–Östra banken) förekommer maximal grumling om 5 mg/l i hela vattenkolumnen över en väsentlig del av området. Vid botten har stora delar av området högre maximal grumling, huvudsakligen upp mot ca 10 mg/l, men närmast gränsen förekommer grumling upp mot ca 50 mg/l. Det mellersta Natura 2000-området (Finngrundet–Norra banken) är mindre utsatt för höga maximala koncentrationer, men grumling upp mot ca 5 mg/l kan förekomma längs gränsen som vetter mot vindkraftparken.

För att visa hur den maximala koncentrationen varierar över vattendjupet presenteras resultaten också längs två transekter genom parkområdet i Figur 4-7. Positionerna för transekterna visas i Figur 4-6. Tvärsnitten visar att den

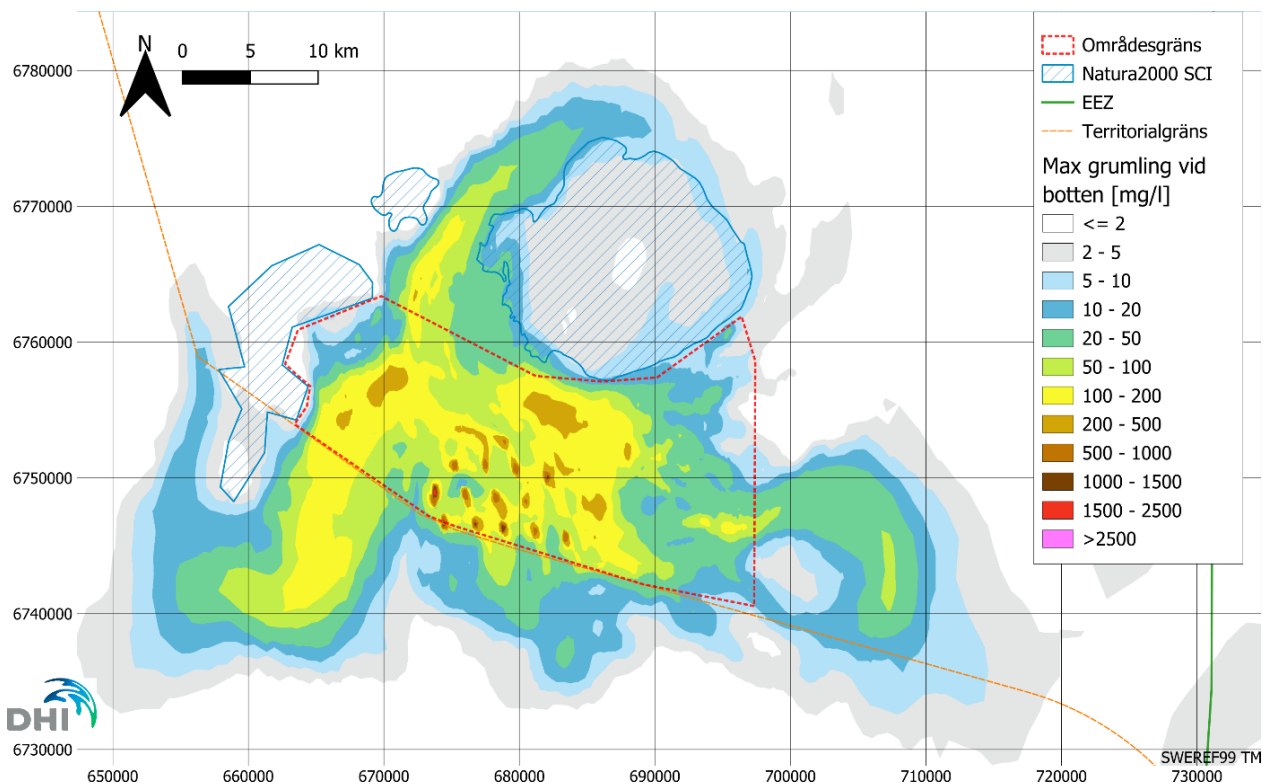
maximala grumlingen är koncentrerat till de närmaste 5–10 meterna från botten. De allra lägsta koncentrationerna (upp mot 5 mg/l) förekommer emellertid någon gång genom hela vattenkolumnen i vindkraftparkens närområde. Lokalt förekommer också maximal grumling på upp mot 10 mg/l genom hela vattenkolumnen.



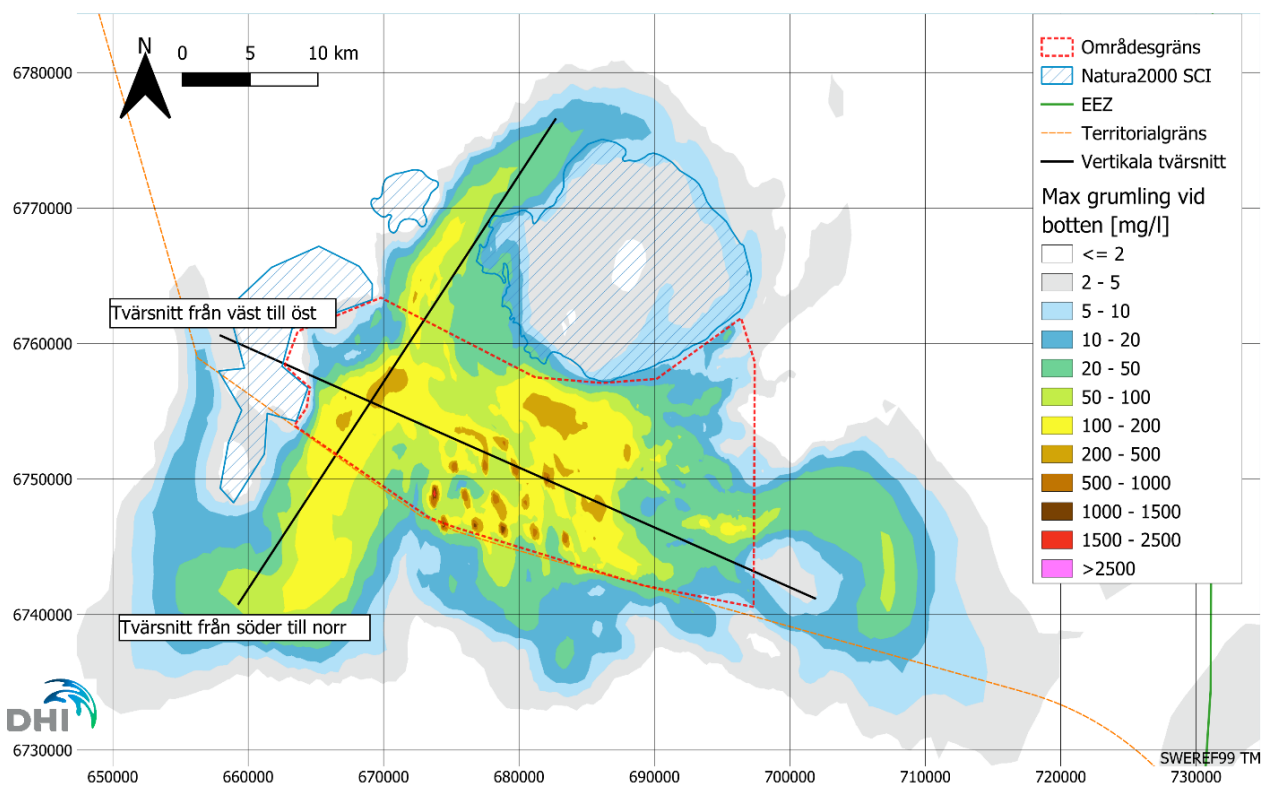
Figur 4-3 Maximal grumling vid ytan.



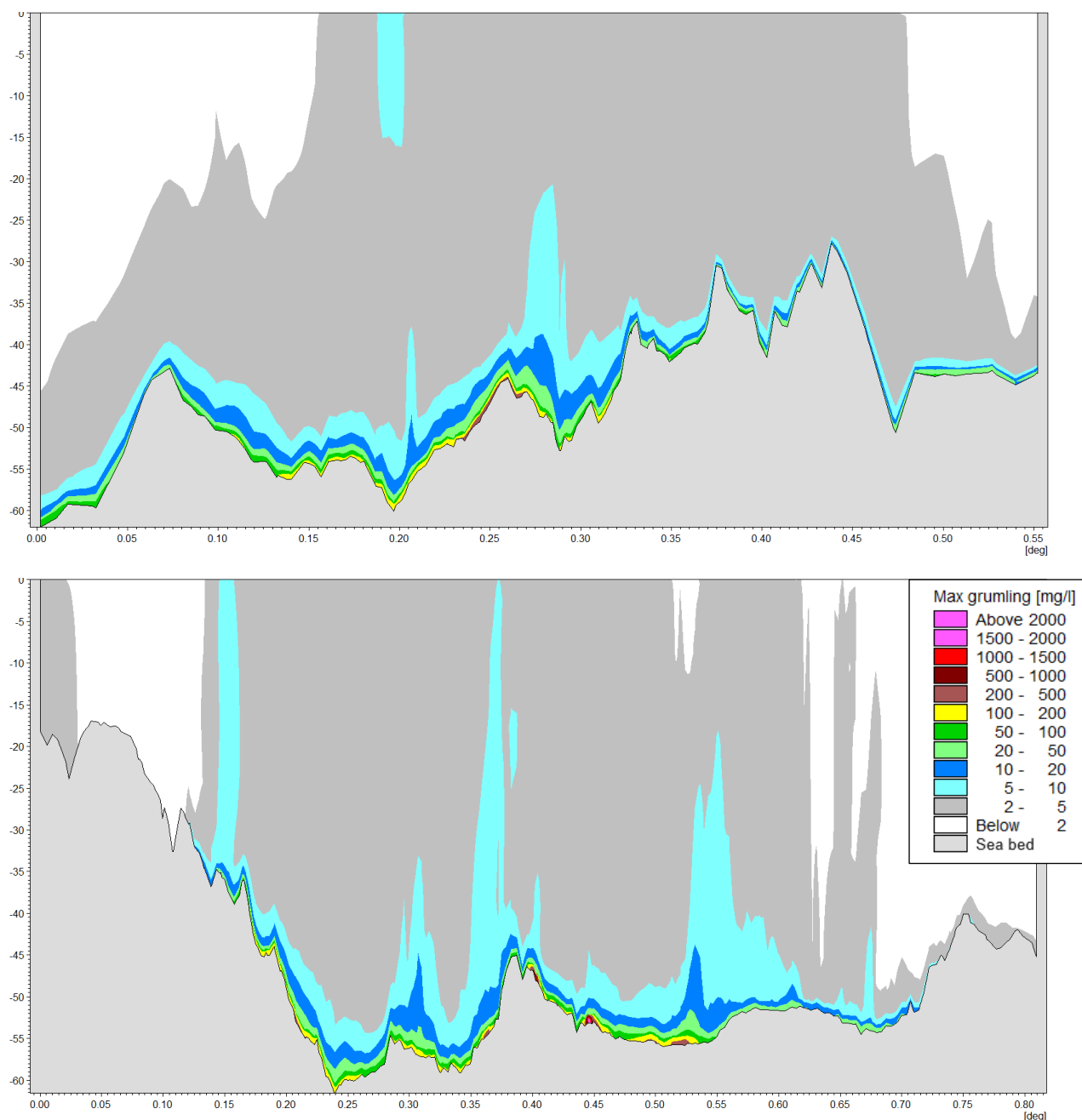
Figur 4-4 Maximal grumling som djupmedel.



Figur 4-5 Maximal grumling vid botten.



Figur 4-6 Lokalisering av transekt för vertikala tvärsnitt. Bakgrundskartan visar maximal grumling vid botten.



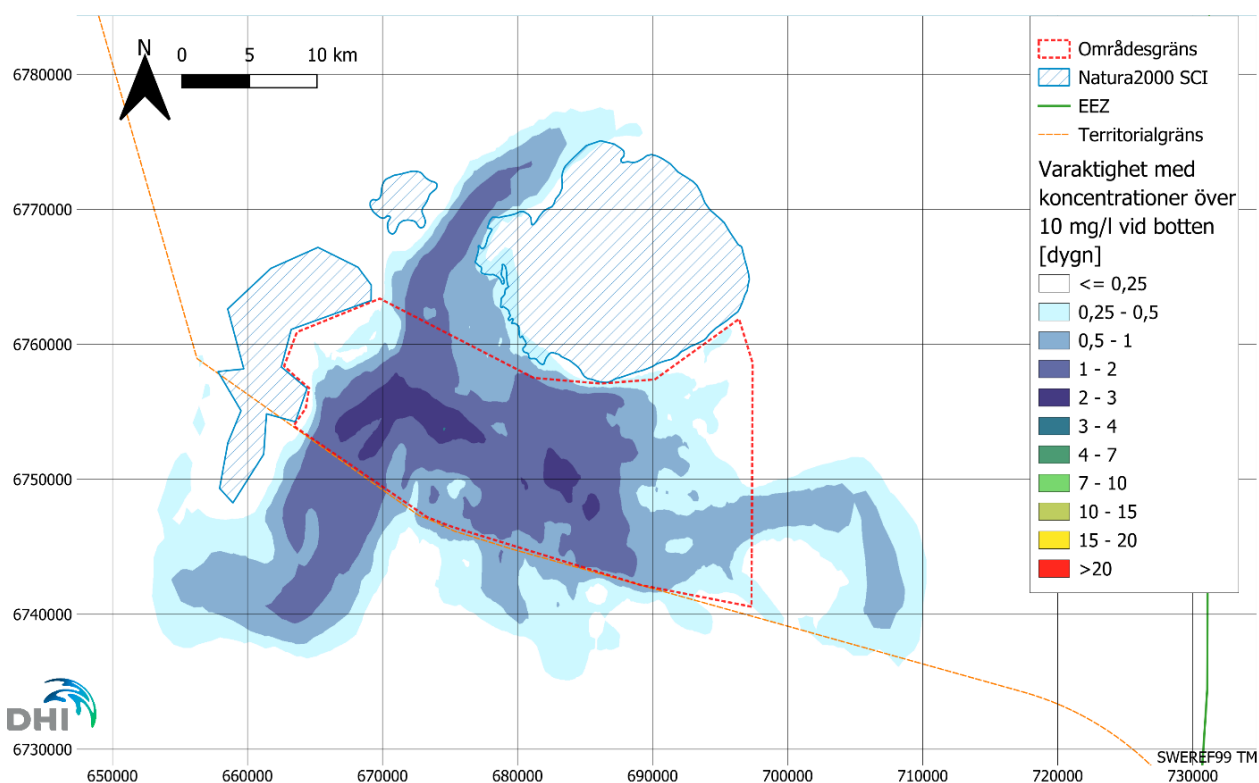
Figur 4-7 Maximal grumling längs vertikala gränssnitt från söder till norr (överst) och från väst till öst (underst).

4.3 Varaktighet

Figur 4-8 till Figur 4-10 illustrerar den sammanlagda tiden då grumlingen vid botten överstiger 10, 100 och 1000 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.

Resultaten i Figur 4-8 visar att grumlingen överstiger 10 mg/l vid botten över stora arealer, som täcker nästan hela parkområdet och sträcker sig utanför parkens gränser, framför allt längs med de djupare områdena. Området där grumlingen överstiger 10 mg/l i upp mot 0,5 dygn sträcker sig upp till ca 20 km ut från parkområdets gräns. Området där varaktigheten för 10 mg/l når upp mot 2 dygn sträcker sig upp till ca 15 km utanför parkområdets gräns. Den sammanlagda arean för varaktigheten i respektive färgintervall listas i Tabell 4-2.

Kanten på Natura 2000-området i öster (Finngrundet–Östra banken) påverkas också av grumlingen med varaktigheter på ca 0,5 dygn för 10 mg/l. Den övervägande delen av samtliga tre Natura 2000-områden har dock en varaktighet på mindre än 6 timmar för grumlingsnivåer som överstiger 10 mg/l.

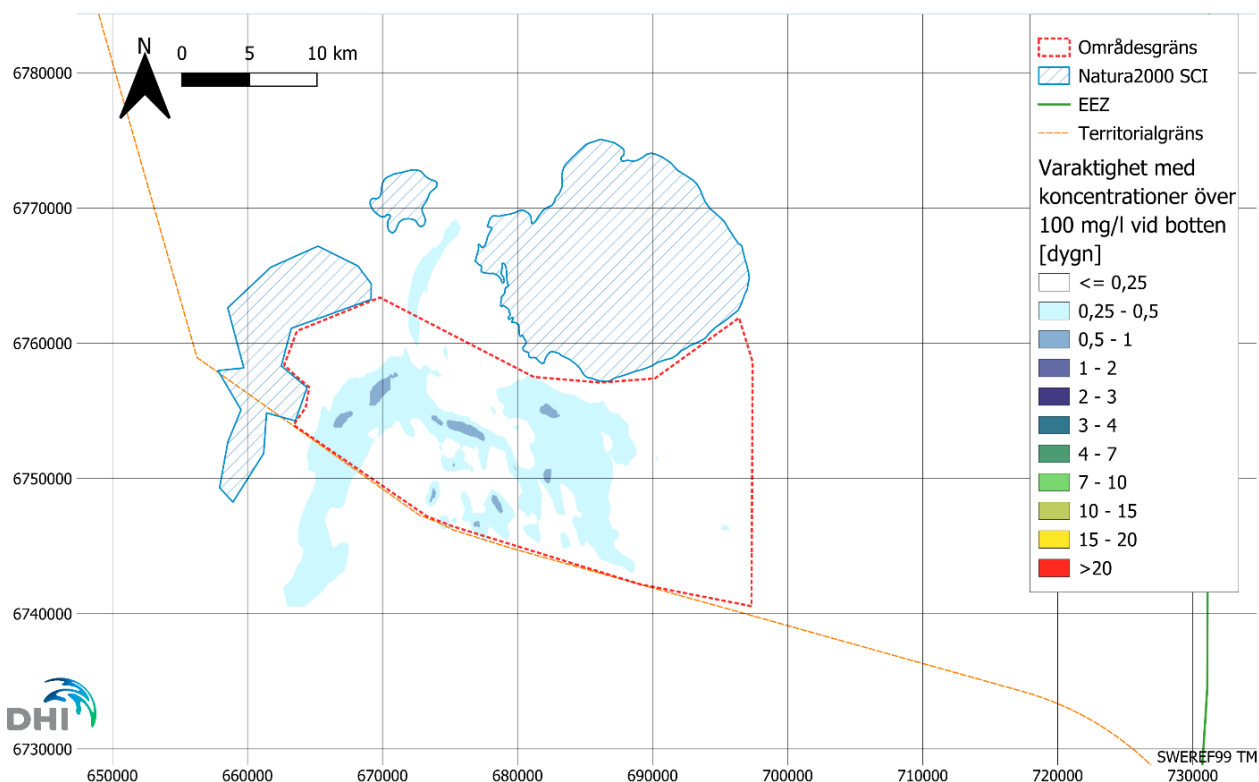


Figur 4-8 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material vid botten överstiger 10 mg/l.

Tabell 4-2 Sammanlagda areor för respektive intervall av varaktighet då grumlingen överstiger 10 mg/l vid botten.

Varaktighet med koncentrationer över 10 mg/l vid botten [dygn]	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-3	3-4	4-7
Area [km ²]	351,8	316,2	276,8	37,6	0,5	0,0

Grumlingen som överstiger 100 mg/l vid botten täcker en väsentlig del av parkområdet och sträcker sig upp till ca 13 km utanför vindkraftparkens gräns, med en varaktighet om upp mot 0,5 dygn. Inom parkområdet överstigs dessutom nivån 100 mg/l vid botten, i mindre områden, med varaktigheter upp mot ett dygn. Den sammanlagda arean för varaktigheten i respektive färgintervall listas i Tabell 4-3.

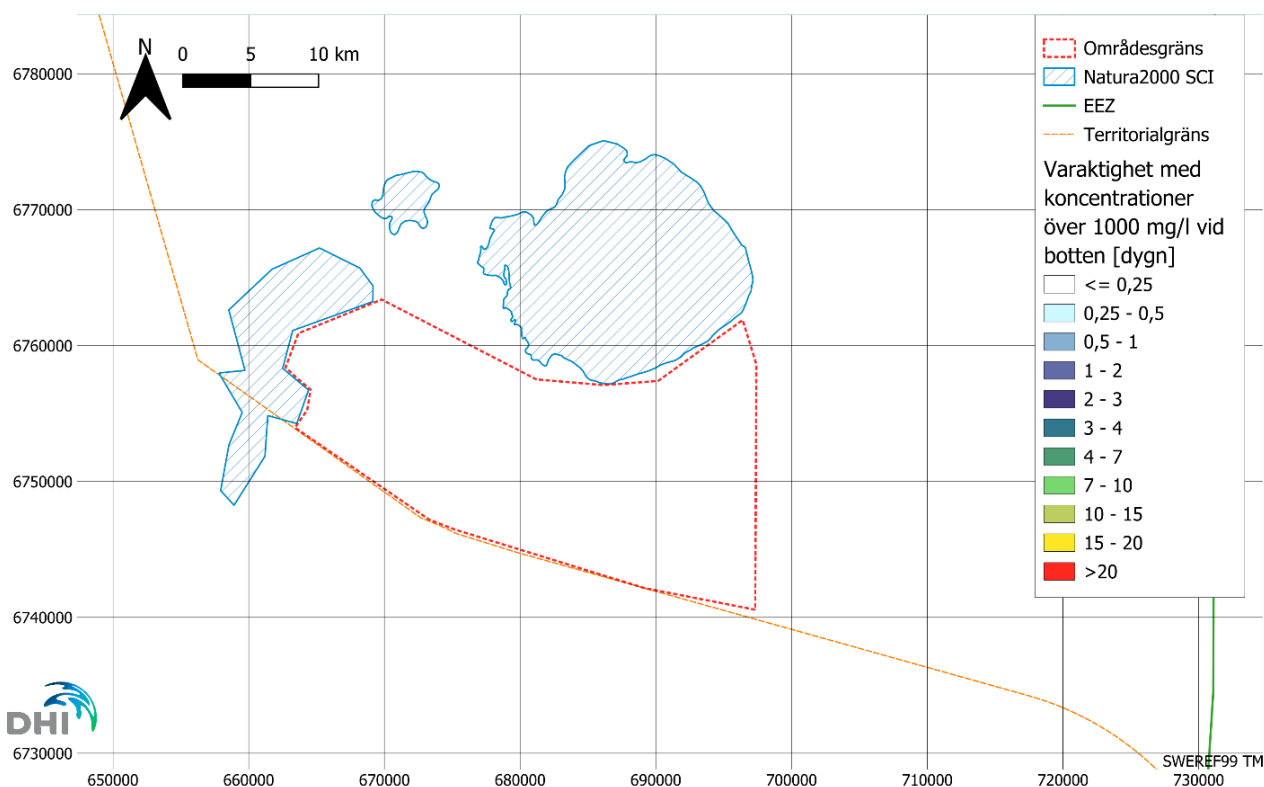


Figur 4-9 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material vid botten överstiger 100 mg/l.

Tabell 4-3 Sammanlagda areor för respektive intervall av varaktighet då grumlingen överstiger 100 mg/l vid botten.

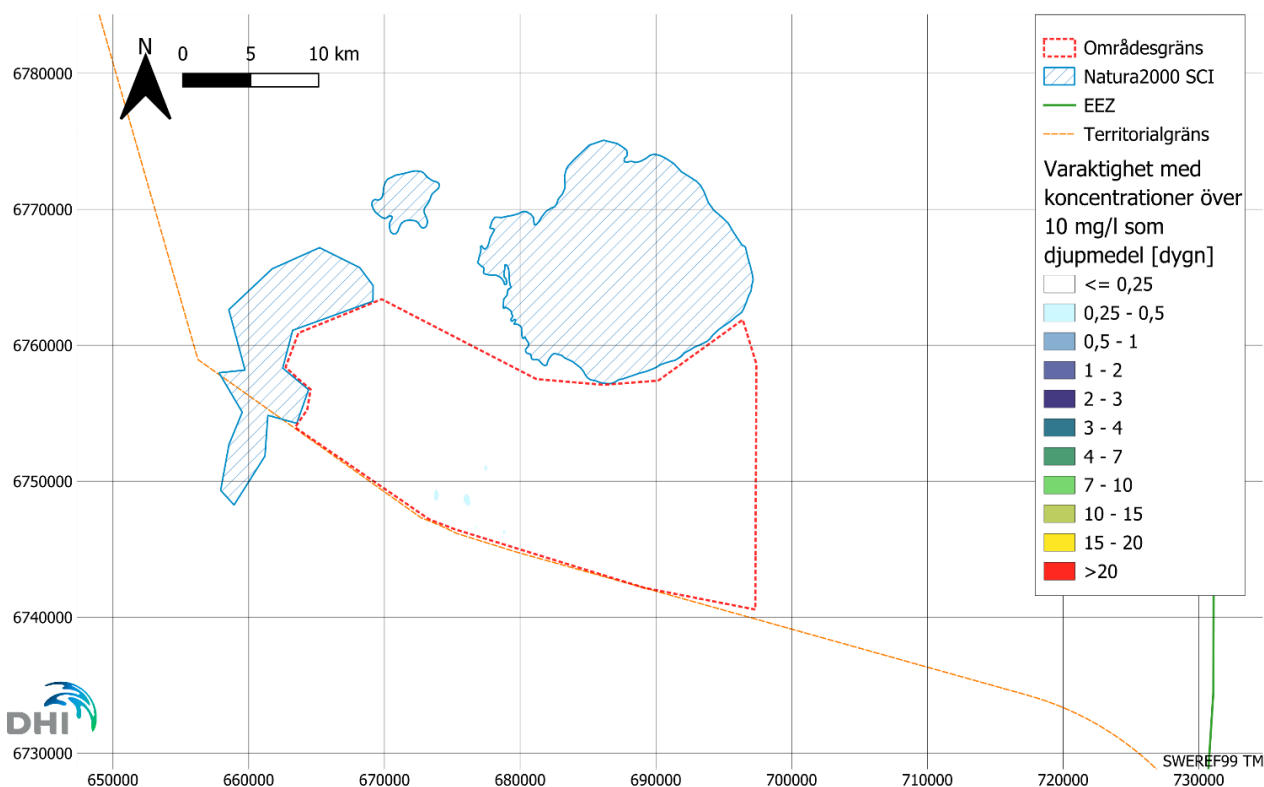
Varaktighet med koncentrationer över 100 mg/l vid botten [dygn]	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-3	3-4	4-7
Area [km ²]	171,2	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Tillfällen med grumling som överstiger 1000 mg/l vid botten har en mycket låg sammanlagd varaktighet, under 6 timmar, se Figur 4-10. Ett par små beräkningsceller inom parkområdet når 8 timmars varaktighet, men dessa syns inte i visualiseringen.



Figur 4-10 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material vid botten överstiger 1000 mg/l. Varaktigheten är 6 timmar eller lägre (vit i färgskalan).

Varaktigheten för de olika koncentrationsnivåerna (10, 100 och 1000 mg/l) har också analyserats vid havsytan samt som djupmedelvärde. Endast fallet för djupmedelvärde med koncentrationen 10 mg/l visar påverkansområden med varaktighet på över 6 timmar, se Figur 4-11. Det påverkade området är emellertid mycket litet och varaktigheten är mellan 6–12 timmar. I samtliga andra fall är varaktigheten 6 timmar eller lägre. Dessa kartor är bifogade i Appendix A.



Figur 4-11 Sammanlagd varaktighet då koncentrationen av suspenderat material överstiger 10 mg/l som djupmedel. Notera att endast ett litet område finns där varaktigheten överstiger 6 timmar (0,25 dygn).

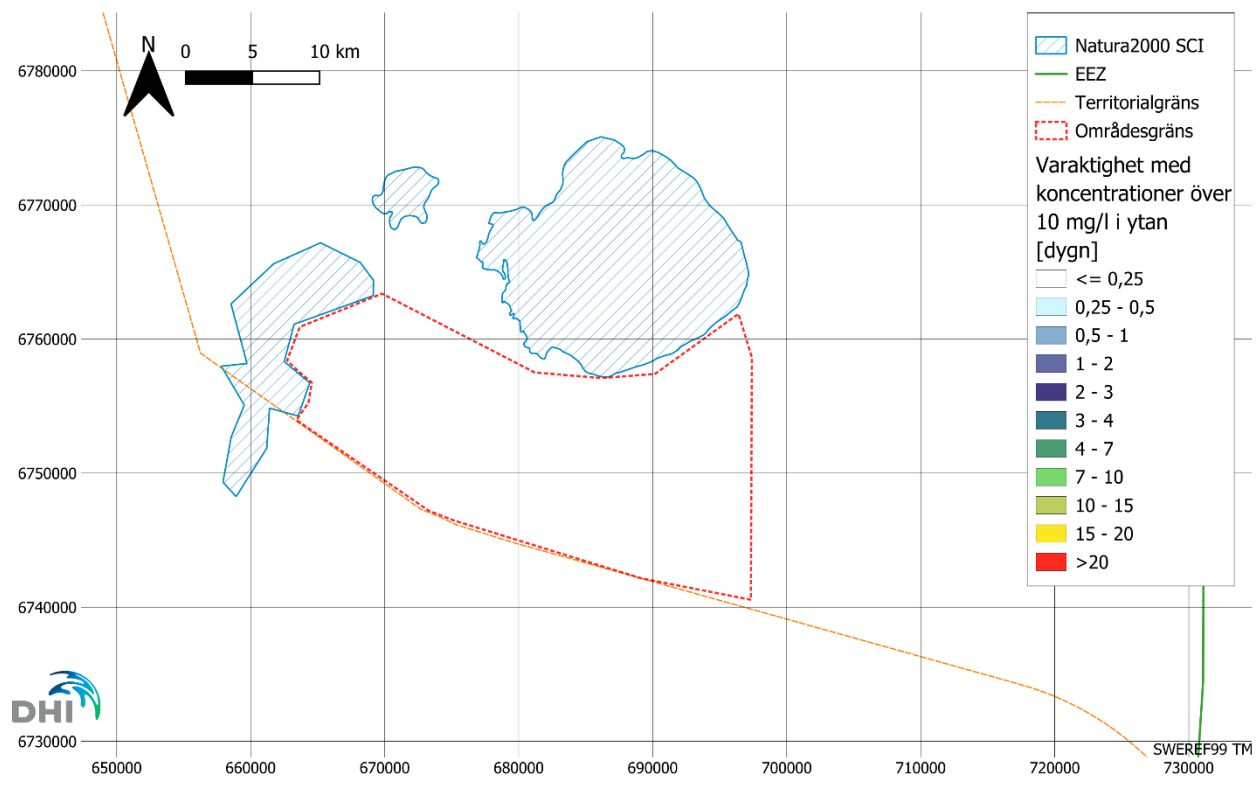
5 Referenser

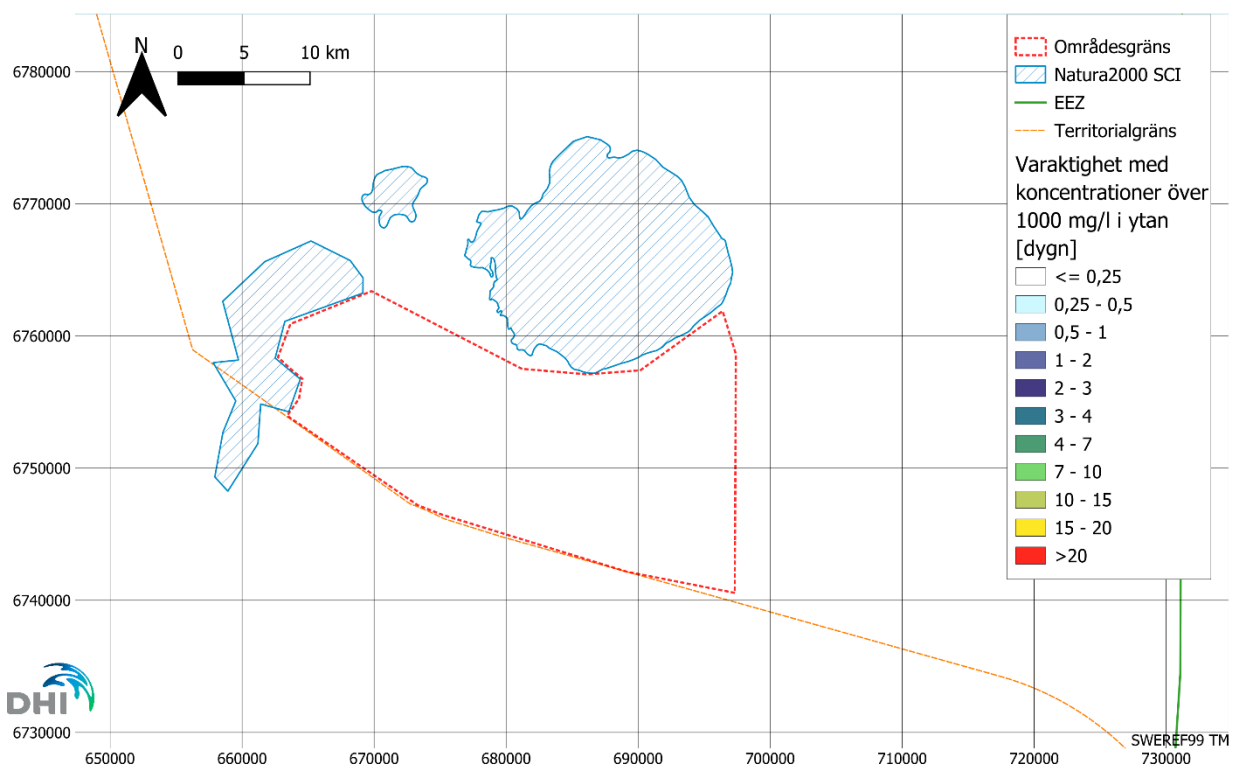
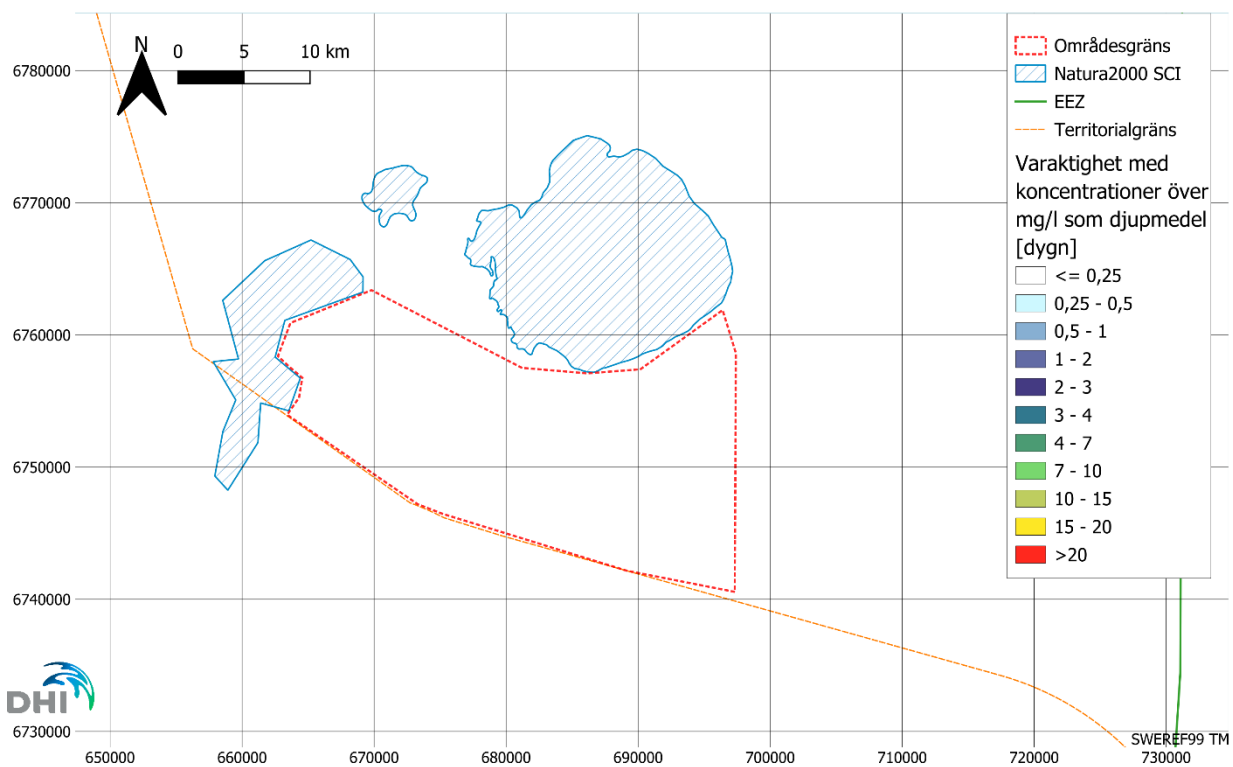
- /1/ DHI, “Scientific documentation of MIKE 3 Flow Model FM”, 2021.
- /2/ DHI, “MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Mud Transport Module – Scientific Documentation”, 2023, [MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Mud Transport Module \(mikepoweredbydhi.help\)](https://mikepoweredbydhi.help) .
- /3/ Haakenstad, 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>

Appendix A Varaktighet vid ytan och som djupmedel

Appendix A.1 Varaktighet vid ytan

Varaktigheten för koncentrationer av suspenderat sediment överskridande 10, 100 och 1000 mg/l i ytan (ca 0,5 m under vattenytan) visas i figurerna nedan.





Appendix A.2 Varaktighet som djupmedel

Varaktigheten för koncentrationer av suspenderat sediment överskridande 100 och 1000 mg/l som djupmedel visas i figurerna nedan.

