

Handläggare
Gyllenram, Walter
Thelandersson, Amelia
Tel
+46105051935
Mobil
+46720837803
E-post
walter.gyllenram@afry.com
Granskare
Christin Eriksson

Datum
2024-10-13

Projekt ID
D0116146

Kund
Najaderna Offshore AB

Komplettering till bedömning av Najaderna
vindkraftsparks påverkan på hydrografi och
sedimentspridning

1 Introduktion

Detta dokument avser att utföra de begärda kompletteringarna av miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) med avseende på spridning och pålagring av bottensediment samt hydrografiska effekter som Länsstyrelsen i Uppsala har begärt att Najaderna Offshore AB inkommer med inom ramen för bolagets ansökan om tillstånd till uppförande och drift av Najaderna vindkraftspark inom SEZ- och bolagets Natura 2000-ansökan.

2 Grumling och sedimentspridning

I detta avsnitt fokuseras främst på sedimentspridning vid borring för monopilefundament eftersom detta utgör *worst case scenario* när det gäller koncentrationer av suspenderat sediment och totala volymer av utsläppt sediment samt därmed också möjlig pålagring. Både volymflödet och den totala uppborrade volymen av sediment från exempelvis borring för pålade fundament (*jackets*) bedöms vara betydligt mindre än i fallet med monopilefundament. Likaså bedöms spillflödet vid muddring/schaktning för gravitationsfundament ge betydligt mindre flöden och volymer. I slutet av avsnitten kompletteras den tidigare redovisade bilden av sedimentspridning vid nedspolning av kabel med ytterligare beräkningsfall. För att förtydliga vilket av länsstyrelsens kompletteringsönskemål som avses besvaras inkluderas utklipp från Länsstyrelsen i Uppsala Läns begäran om komplettering.

2.1 Worst case scenarios av sedimentspridning

Detta avsnitt syftar till att besvara begärande nr 24 gällande Natura 2000-ansökan och begärande nr 57 gällande SEZ-ansökan:

24. Inge en modellering av worst case scenario för sedimentspridning vid anläggande och avveckling av vindkraftparkens fundament inklusive internkabelnät. Åskådliggör detta med kartmaterial relativt Finngrunden Östra, Västra och Norra banken. Modellen ska utreda och visa maximal grumling i vattenpelaren och vid botten.

Bakgrund: De beräkningar som utförts avseende sedimentspridning till följd av nedläggning av internkabelnätet har utgått från att strömmar korsar kabeldiket, vilket ger koncentrationer som motsvarar ett genomsnitt av alla möjliga förhållanden. Länsstyrelsen bedömer att bolaget även behöver utföra beräkningarna utifrån ett worst case scenario där strömmen går i samma eller motsatt riktning, samt att modellen visar maximal grumling i vattenpelaren och vid botten. Länsstyrelsen efterfrågar även att resultaten från modelleringarna utifrån worst case scenario vid anläggning och avveckling av fundament inklusive internkabelnät åskådliggörs på kartmaterial relativt Natura 2000-områdena Finngrunden Östra, Västra och Norra banken.

57. Inge en modellering av worst case scenario för sediment-spridning vid anläggande och avveckling av vindkraftparkens fundament inklusive internkabelnät. Åskådliggör detta med kartmaterial. Modellen ska utreda och visa maximal grumling i vattenpelaren och vid botten.

I Bilaga C.3 till MKB (Omblandning, strömmar, vågor och sedimentspridning) visas ett *worst case scenario* med avseende på sedimentspridning bland annat utifrån antagandena 1) att djupet inte varierar längs den väg suspenderat sediment transporteras, 2) att bakgrundsströmmen inte ändrar riktning under den tid som utsläppt suspenderat sediment befinner sig i vattenmassan, 3) att det inte sker någon vertikal dispersion som skulle öka utspädningen, 4) att borrhning sker i sediment med en kornstorleksfördelning som motsvarar den mest finkorniga som uppmätts inom området, samt 5) en konservativ bedömning av sjunkhastighet för de minsta partiklarna. Detta ger sammantaget en övre gräns för möjlig spridningslängd av relevanta koncentrationer av suspenderat sediment.

För att åskådliggöra spridningen på kartor relativt Finngrundens bankar behöver dock också hänsyn tas till det varierande djupet i området som tillsammans med skiktningen kommer att ha stor påverkan på bottenströmmarna.

2.1.1 Hydrografiska förhållanden i området som styr spridningen

Enligt Figur 5-1 i Bilaga C.3 finns en saltgradient på djup större än 20 meter. Detta indikerar att den vertikala omblandningen på djup större än 20 meter är liten. Med andra ord är även de vertikala strömhastigheterna små. Detta innebär att strömmarna i detta undre lager främst är horisontella och att strömriktningarna i närheten av botten följer djupkurvorna. I det ytliga skiktet sker en högre grad av vertikal omblandning som främst drivs av vindskjuvning, förutom på sommaren då temperaturskiktningen är stark. Temperaturprofilerna för augusti (Figur 5-2 i Bilaga C.3) har låg vertikal upplösning men visar ändå att ytligt uppvärmt vatten inte ens i slutet av sommaren hunnit blandas ner djupare än 40 meter.

För att kunna nå Finngrundens Natura 2000-områden måste bottenvattnet antingen tryckas upp eller blandas med det övre vattenlagret, vilket skulle resultera i betydligt lägre koncentrationer av suspenderat sediment. Dessa koncentrationer bedöms motsvara de som beräknats för hela vattenpelaren. Som framgår av Figur 9-2 och 9-4 i Bilaga C.3 är koncentrationerna på 4 km avstånd från arbetspositionen som medelvärde över hela vattenpelaren ca 4–6 mg/l. Med andra ord skulle utsläppt borrhax i värsta fall kunna bidra med 4–6 mg/l suspenderat sediment i sydvästra delen av Östra banken, utifrån de resultat som presenterats i Bilaga C.3. Observera att detta dock skulle förutsätta att strömmarna går raka vägen från den närmaste utsläppspunkten till Östra banken, vilket är orealistiskt (se avsnitt 2.1.8). På grund av varierande strömriktningar blir transportsträckan i verkligheten sannolikt längre, vilket leder till bedömningen att de koncentrationer som sporadiskt skulle kunna nå något av Finngrundens Natura 2000-områden är lägre än 4–6 mg/l. De tredimensionella beräkningar som presenteras nedan bekräftar detta.

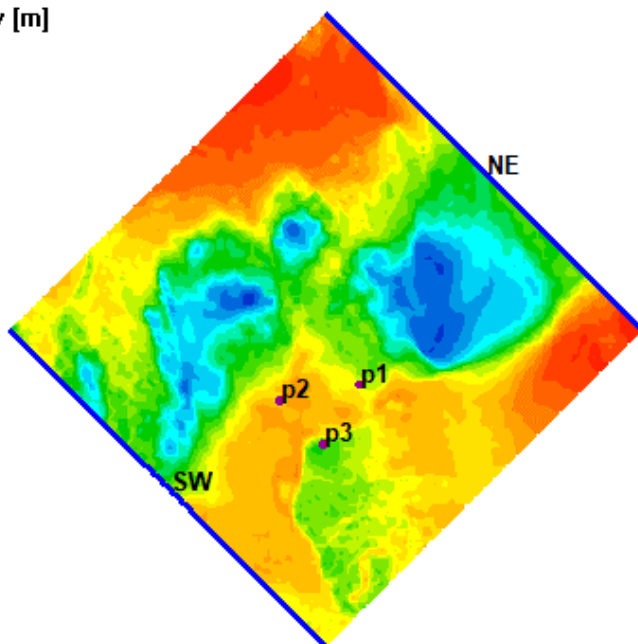
2.1.2 Lokal tredimensionell modell

För att tydligare åskådliggöra förloppet på kartor relativt Finngrundens Natura 2000-områden har en lokal tredimensionell modell satts upp. Modellen består av en ruta som med marginal omfattar Najadernas projektområde samt Finngrundens Natura 2000-områden, se Figur 2-1. Beräkningsnätet till modellen är 450×450 meter i horisontalled och består av 25 lager i djupled som anpassar sig till havsbottens djup och lutning. För att skapa ett *worst case scenario* där strömriktningarna också beaktas, tvingas dessa åt samma håll under hela perioden som suspenderat sediment finns i vattenmassan, dessutom rakt mot det närmaste Natura 2000-området. Denna orealistiska situation simuleras i den lokala modellen genom att inte tillåta

vattentransport över de sidor av modellen som är parallella med den huvudsakliga valda strömriktningen.

Bathymetry [m]

■	< 5.2
■	< 9.5
■	< 13.8
■	< 18.1
■	< 22.4
■	< 26.7
■	< 31.0
■	< 35.3
■	< 39.6
■	< 43.9
■	< 48.2
■	< 52.5
■	< 56.8
■	< 61.1
■	< 65.4
■	< 69.7
■	< 74.0
■	< 78.3
■	< 82.6
■	< 86.8



Figur 2-1: Modellens horisontella omfattning och lokalisering av utsläppspunkter. I den modelluppsättning som visas skapas nordostliga strömmar genom modellen genom att ansätta en konstant ström i sydväst (SW) och en konstant vattennivå i nordost (NE). Strömning genom den sydostliga och nordvästliga sidan av modellen tillåts inte. Utsläpp av sediment sker 5 meter över botten i punkterna p1, p2 och p3.

Modellen tillåter en viss vertikal dispersion som beräknas med hjälp av en turbulensmodell som är direkt kopplad till ekvationerna som beskriver strömmar och vattenstånd. Modellen använder sig även på ett realistiskt sätt av en två-vägskoppling mellan sedimentkoncentrationer och nämnda ekvationer, för att ta hänsyn till att höga koncentrationer av suspenderat sediment leder till att vattnet får en högre densitet. I övrigt baserar de sig på samma indata som beräkningarna i Bilaga C.3, förutom att den valda kornstorleksfördelningen i modelleringen är uppdaterad. Under sommaren 2024 togs ytterligare sedimentprover. Kornstorleksfördelning i modellen baserar sig på det nytagna sedimentprovet Naj55 istället för som tidigare Naj48. Andelen partiklar mindre än 6 µm (som sjunker långsammast) är 66 % istället för 54 %, vilket leder till mer spridning och högre koncentrationer på längre avstånd från utsläppspunkten. De 10 grovkornigaste fraktionerna har dessutom getts samma sjunkhastighet som den fjärde finkornigaste fraktionen. Detta leder till ytterligare konservativa resultat, och gjordes i syfte att inte behöva inkludera samtliga 16 uppmätta kornstorlekar i modellen. Det totala massflödet är dock exakt lika stort (90 kg/s solitt material) som i tidigare beräkningar och borring för monopile-fundament antas som tidigare pågå i 25 timmar.

I syfte att skapa ett *worst case scenario* utifrån beräknade koncentrationer tillåts ingen sedimentpålagring i denna modelluppsättning. Detta bedöms vara realistiskt i närheten av grundbankarna där vi kan förvänta oss att det är transport-/erosionsbottnar med avseende på mindre partiklar, se avsnitt 2.4.

Beräkningar har gjorts för oskiktade och skiktade förhållanden. Skiktade förhållanden förutsätter ett språngskikt på 20 meters djup med en salthalt på 5 psu och en temperatur om 15 °C i ytskiktet samt 6 psu respektive 5 °C i bottenskiktet, vilket är

en approximation av den uppmätta skiktningen under sommarförhållanden (se Bilaga C.3).

Fyra fall har simulerats. I samtliga fall har strömmen tvingats gå åt samma håll och rakt mot ett Natura 2000-område under hela simuleringstiden, strömriktningarna lokalt nära botten styrs dock även av botten topografi. I varje fall studeras utsläpp från tre borrhningar samtidigt. Två av lokaliseringarna har satts vid de gränser av Najadernas projektområde som ligger närmast Natura 2000-områdena. Den tredje har placerats i ett relativt grunt område, vilket potentiellt sett skulle kunna leda till att detta utsläpp kan nå ett Natura 2000-område utan att behöva förflyttas lika mycket vertikalt.

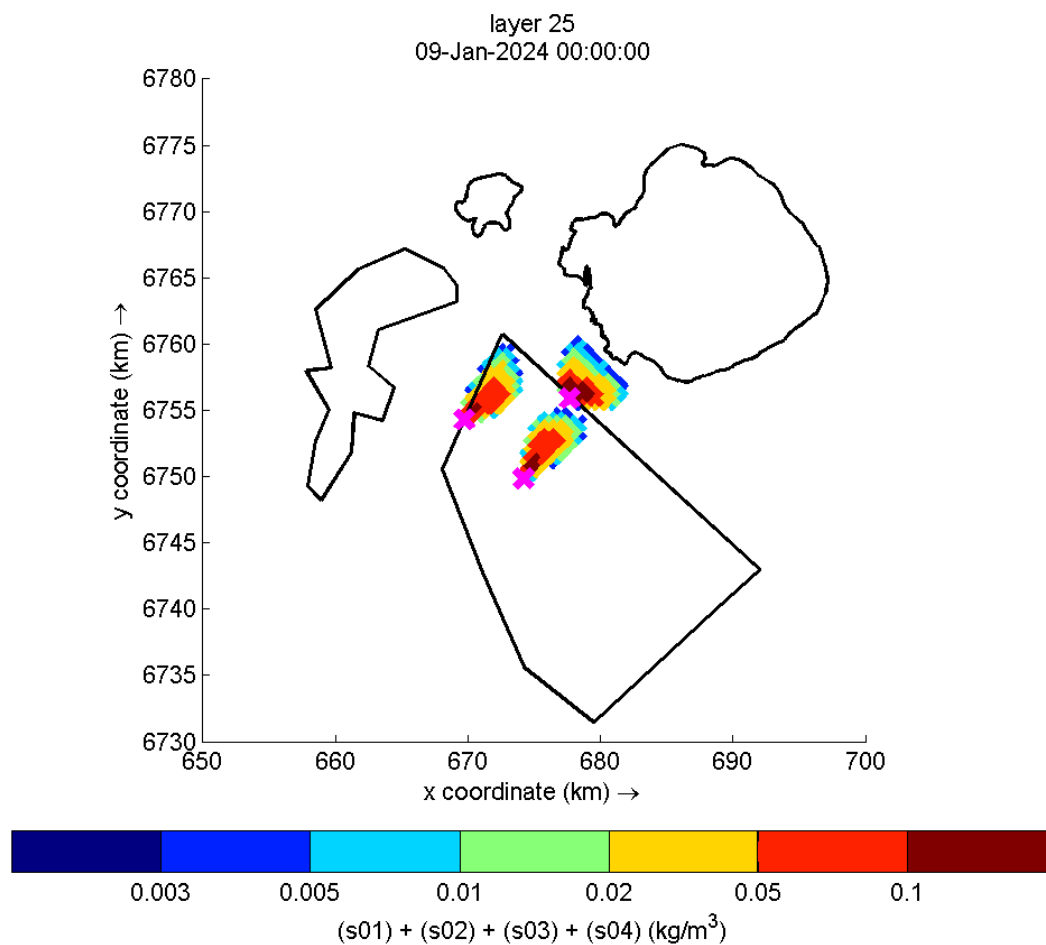
2.1.3 Borrhning, nordostlig ström, ingen skiktning

Koncentrationer av suspenderat sediment vid oskiktade förhållanden och nordostlig strömriktning vid 24, 48 och 72 timmar efter utsläppets start visas i Figur 2-2, Figur 2-3 och Figur 2-4, respektive.

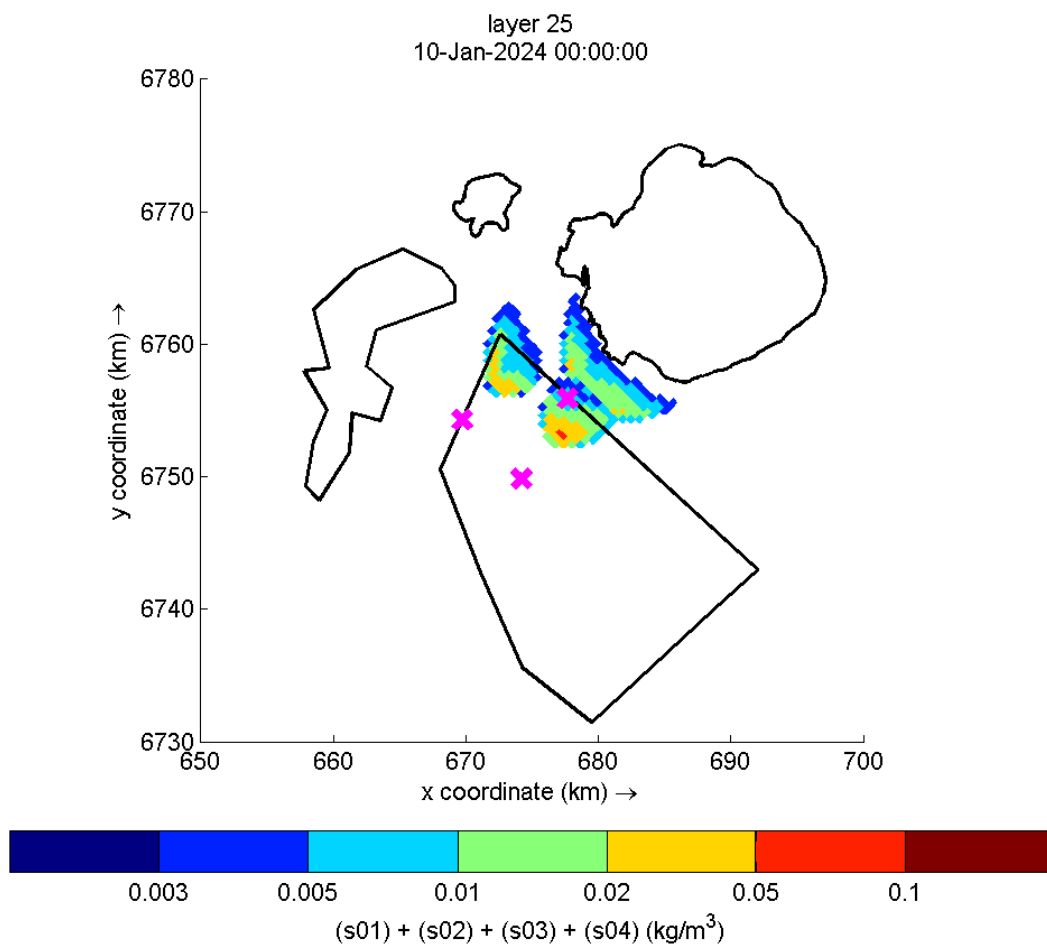
I modelluppsättningen sparas data var 6 timme. Figur 2-2 visar resultaten efter 24 av 25 timmars total borrhning, vilket därmed i princip innebär att de visar de maximala koncentrationer som kan förväntas under arbetet. Observera dock att de allra högsta koncentrationerna nära utsläppspunkten underskattas eftersom modellen presenterar medelvärden av koncentration av suspenderat sediment över hela beräkningsceller som har en viss volym. Modellen är dock masskonserverativ, vilket innebär att koncentrationerna på någon kilometers avstånd från utsläppspunkterna ändå blir korrekt beskrivna. Inom en kilometer från utsläppspunkten överstiger koncentrationerna 100 mg/l, precis som i tidigare beräkningar (Bilaga C.3). Dock visar figuren även att det begränsade djupet i närheten av Östra banken tvingar plymen både mot nordväst och sydost när den närmar sig banken.

Figur 2-3 visar resultaten 48 timmar efter starten av borrhningen, med andra ord 23 timmar efter att arbetet avslutats. Plymen har nu nått fram till kanten av Natura 2000-området. Koncentrationerna intill Natura 2000-området är dock lägre än 3 mg/l. Länsstyrelsen nämner särskilt att gränsvärdet 3 mg/l ska beaktas i sin begäran om komplettering gällande ansökan om tillstånd enligt Natura 2000 för vindkraftsparken Najaderna.

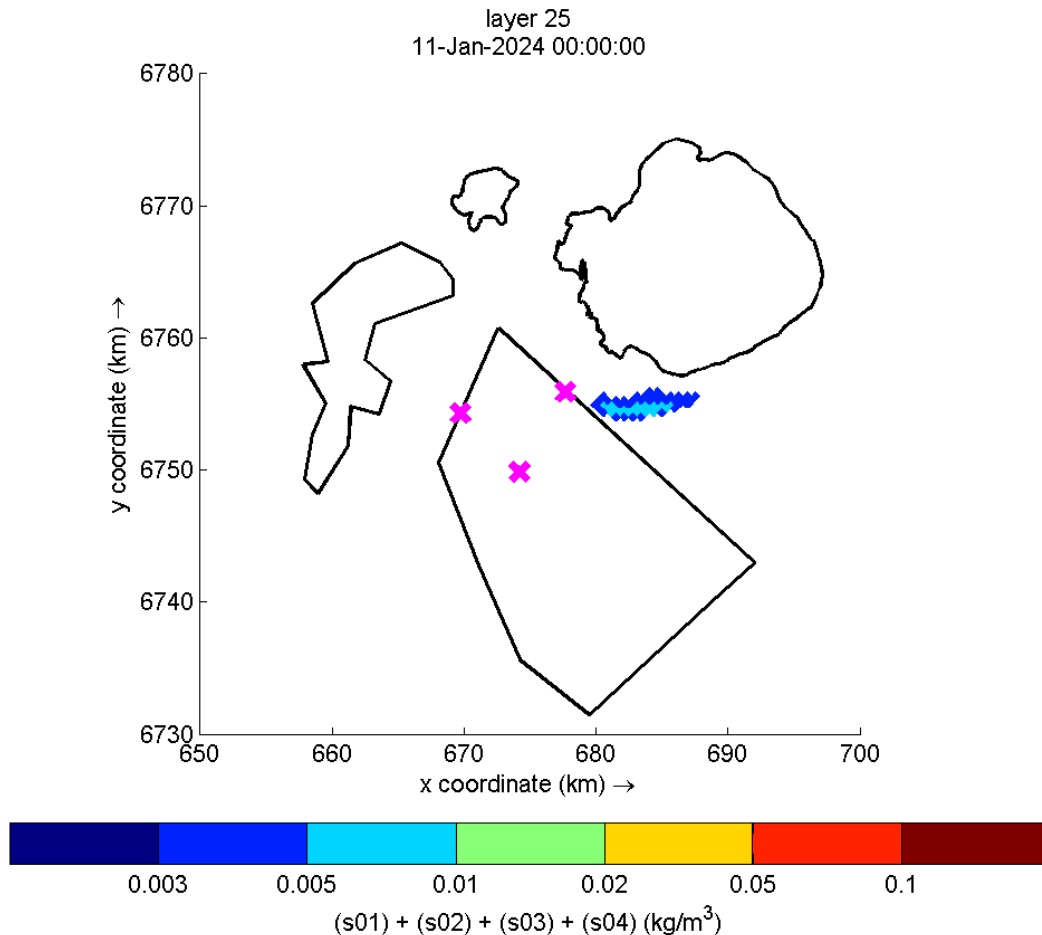
Figur 2-4 visar resultaten 72 timmar efter starten av borrhningen, med andra ord 47 timmar efter att den avslutats. Det som återstår av plymen befinner sig söder om Östra banken och sannolikt ser vi en viss kumulativ effekt av plymen från punkt p1 och p3. Koncentrationerna och utbredningen har minskat ytterligare på grund av utspädning.



Figur 2-2: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 24 timmars utsläpp av borrhax vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgadelkryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-3: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrhax och 23 timmar efter avslutad borrhning, vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-4: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrkax och 47 timmar efter avslutad borrning, vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymen. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden, och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.

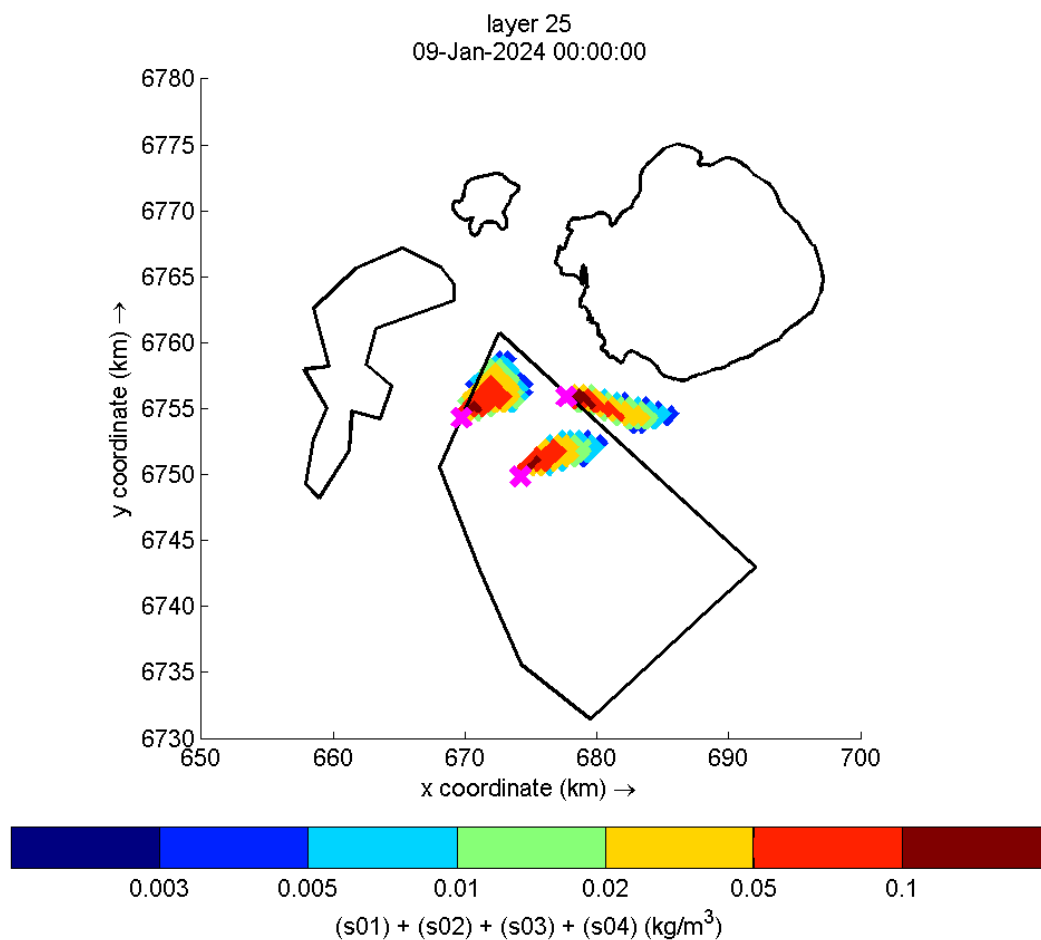
2.1.4 Borrning, nordöstlig ström, skiktade förhållanden

Koncentrationer av suspenderat sediment vid skiktade förhållanden vid 24, 48 och 72 timmar efter utsläppets start visas i Figur 2-5, Figur 2-6 och Figur 2-7, respektive.

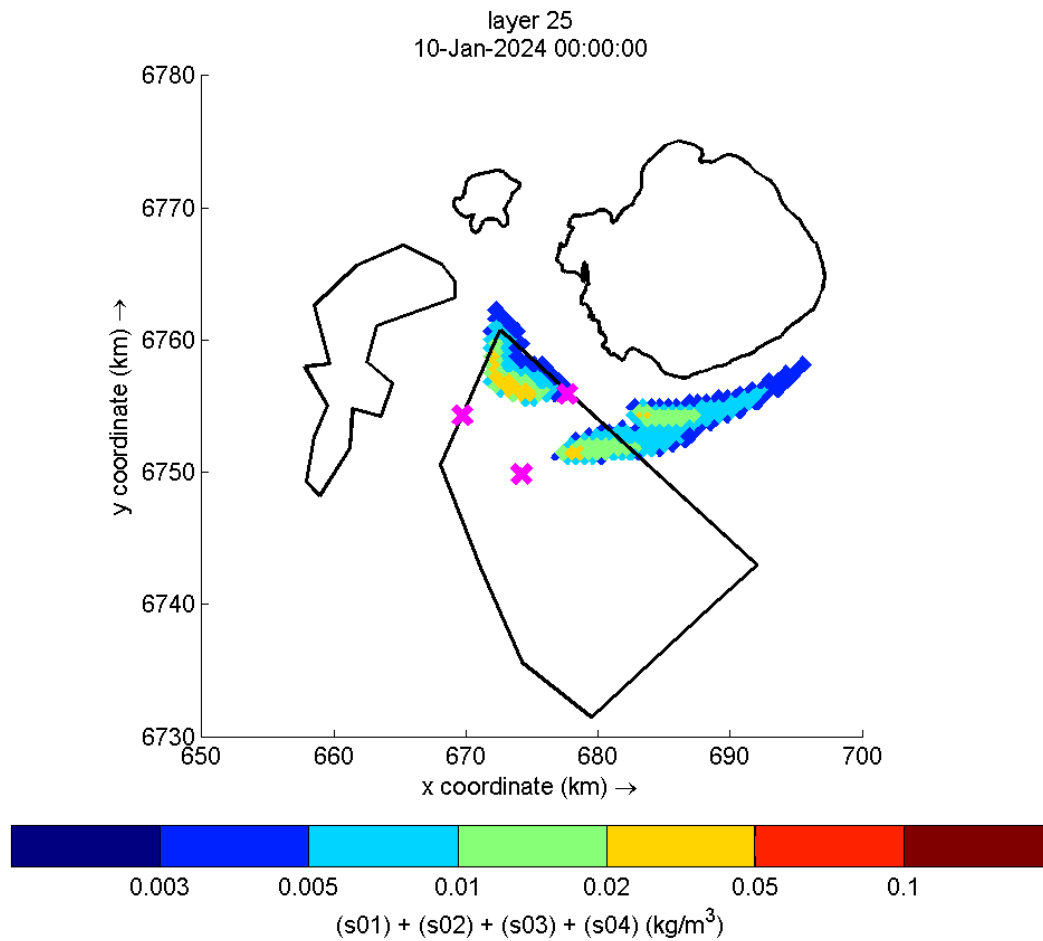
Figur 2-5 visar resultaten efter 24 av 25 timmars total borrning, vilket i princip innebär de maximala koncentrationer som kan förväntas. Liksom i det oskiktade fallet syns hur Östra banken tvingar plymen i sidled när den närmar sig, dock denna gång endast mot sydost och något tidigare temporalt. Skiktningen förstärker effekten av bottenförhållandena.

Figur 2-6 visar resultaten 48 timmar efter starten av borrningen, med andra ord 23 timmar efter att den avslutats. Plymerna hålls nere på djupare vatten på grund av skiktningen och från p1 och p2 passerar med marginal söder om Natura 2000-området.

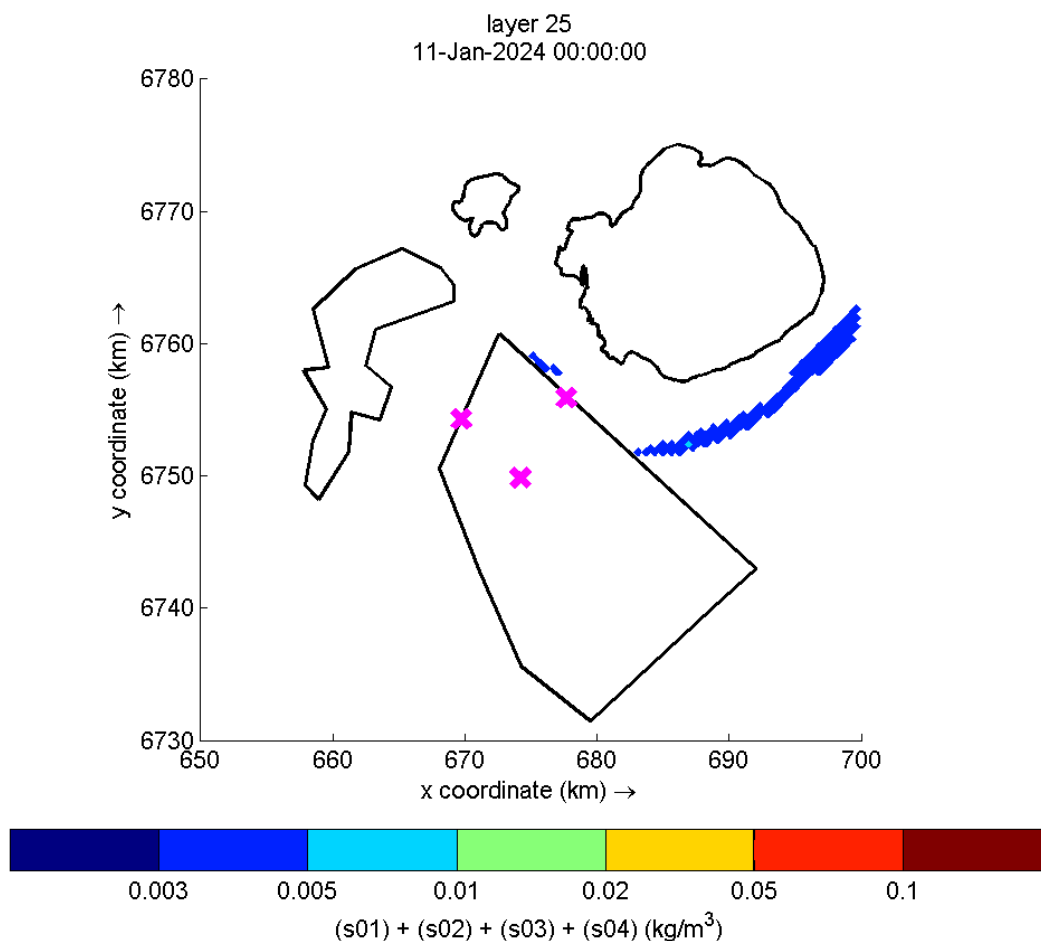
Figur 2-7 visar resultaten 72 timmar efter starten av borrningen, med andra ord 47 timmar efter att den avslutats. Det som återstår av plymen befinner sig sydost om Östra banken.



Figur 2-5: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 24 timmars utsläpp av borrhax vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden, och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-6: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrhax och 23 timmar efter avslutad borrhning, vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden, och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-7: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrhax och 47 timmar efter avslutat borrhning, vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-området, och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.

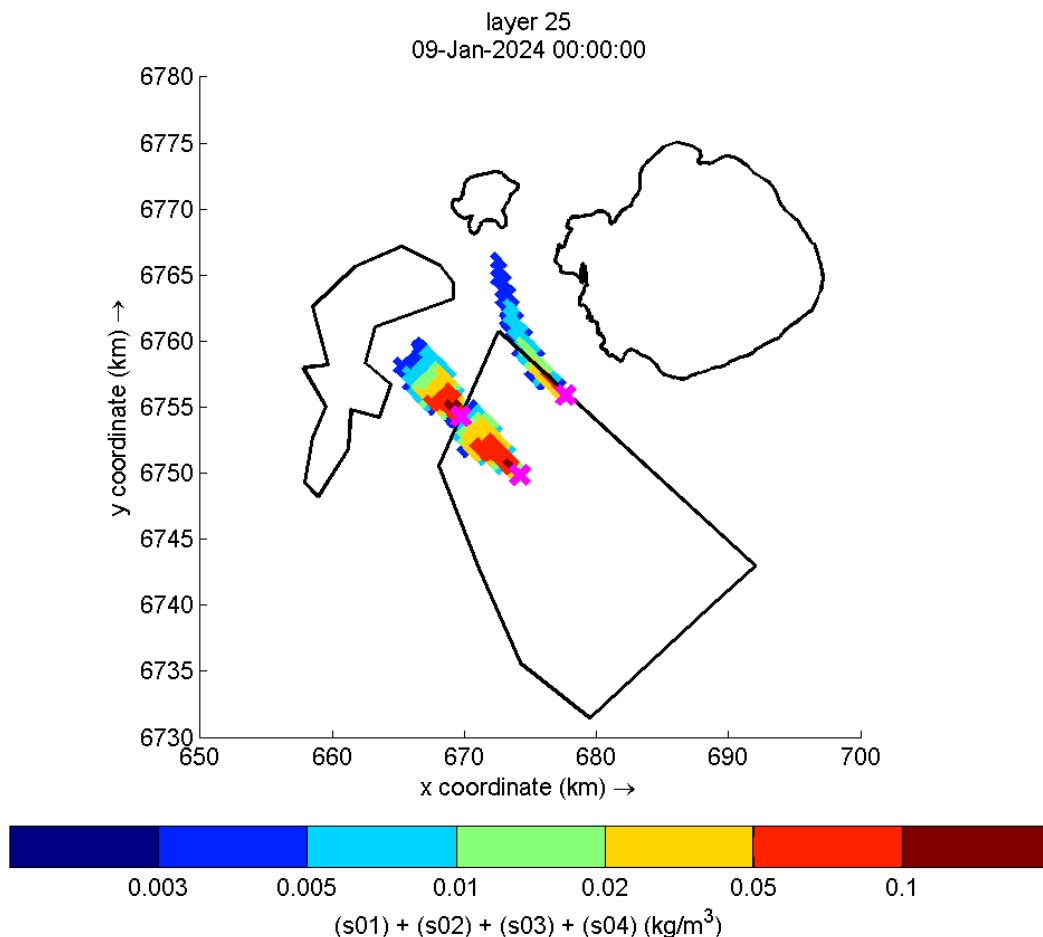
2.1.5 Borrhning, nordvästlig ström, ingen skiktning

Koncentrationer av suspenderat sediment vid oskiktade förhållanden och nordvästlig strömriktning vid 24, 32 och 54 timmar efter utsläppets start visas i Figur 2-8, Figur 2-9 och Figur 2-10, respektive. Anledningen till att andra tidpunkter visas i denna bildserie jämfört med övriga, är att plymen i detta fall mellan de två senaste angivna tiderna passerar ett Natura 2000-område. Genom att jämföra de utvalda tidpunkterna fås en god uppskattning på varaktigheten av grumlingen inom Natura 2000-området.

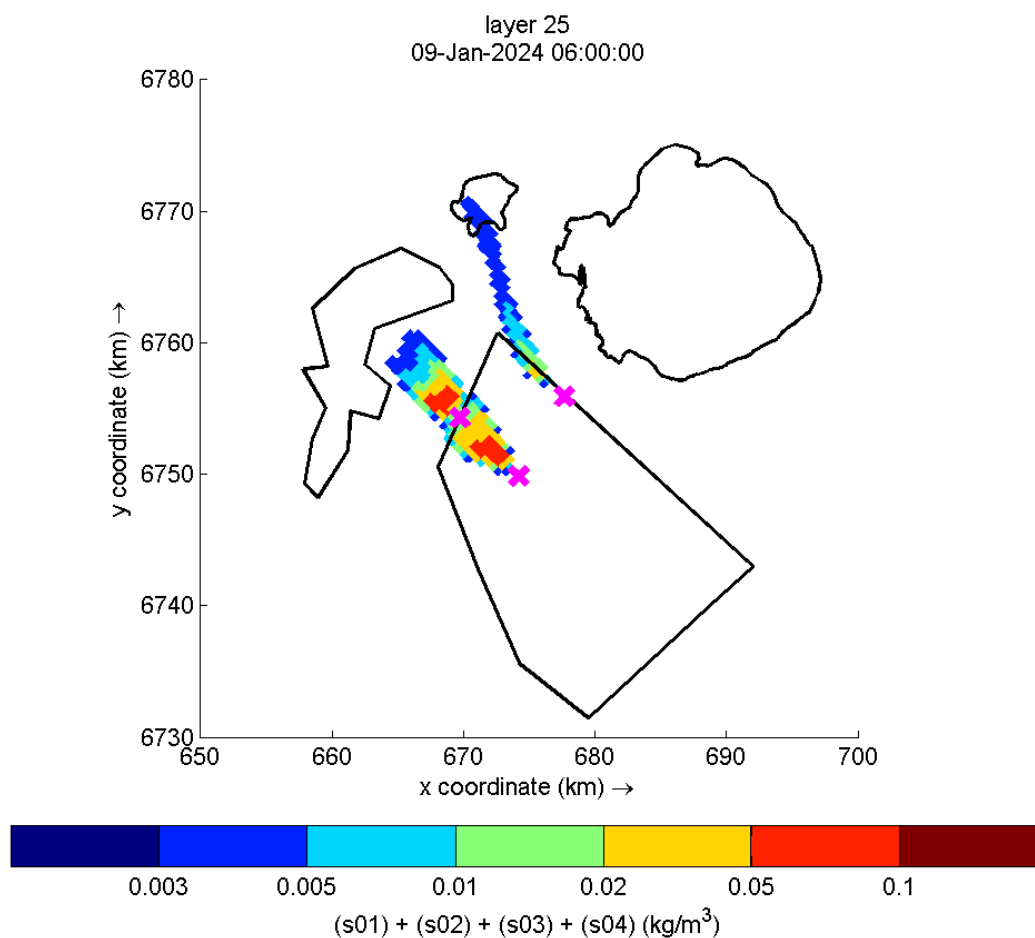
Figur 2-8 visar resultaten efter 24 av 25 timmars total borrhning. I denna bild syns hur Västra banken tvingar en av plymerna norrut när den närmar sig. Att plymen blivit mer utdragen på längden indikerar också att strömhastigheterna nära botten ökat när vattnet blivit grundare.

Figur 2-9 visar resultaten 32 timmar efter starten av borrhningen, med andra ord 7 timmar efter att den avslutats. Plymen från p1 har nu nått fram till Norra banken. Koncentrationerna inom Natura 2000-området är dock lägre än 3 mg/l.

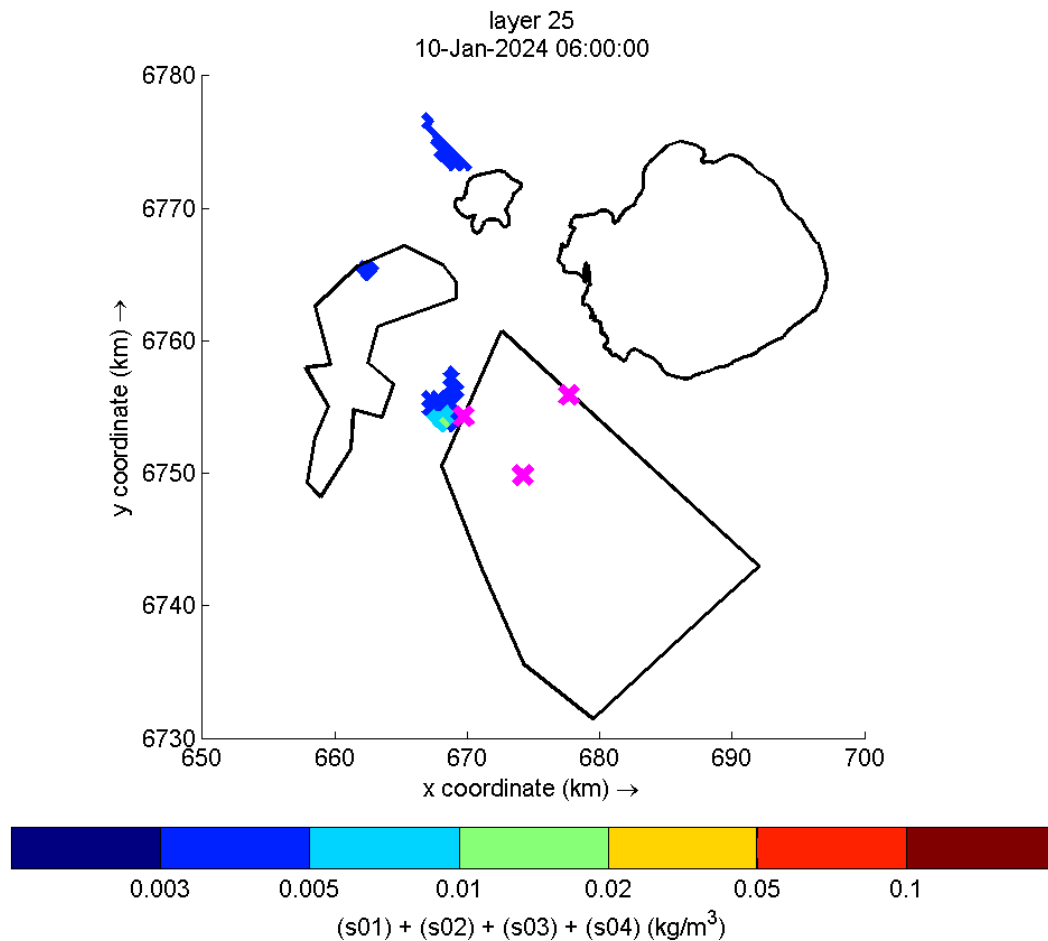
Figur 2-10 visar resultaten 54 timmar efter starten av borrningen, med andra ord 29 timmar efter att den avslutats. Det som återstår av plymen är nu med marginal norr om Norra banken. Eftersom det är 22 timmars tidsförskjutning mellan Figur 2-9 och Figur 2-10 kan slutsatsen dras att det tar cirka 1 dygn för en plym att passera grundbanken. Detta motsvarar alltså varaktigheten av grumlingen inom Natura 2000-området Norra banken. Det är möjligt att det kan bli något högre sedimentkoncentrationer i västra kanten av Norra banken om det borras i det hörn av Najadernas projektområde som ligger allra närmast denna bank. Å andra sidan skulle plymen då lika gärna kunnat ha passerat mellan Västra och Norra banken, istället för över banken. Varaktigheten bedöms dock inte kunnat ha blivit längre än cirka 1 dygn om så hade skett.



Figur 2-8: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 24 timmars utsläpp av borrkax vid konstanta nordvästliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-9: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrhax och 23 timmar efter avslutad borring, vid konstanta nordvästliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-10: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrhax och 47 timmar efter avslutat borrhning, vid konstanta nordvästliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.

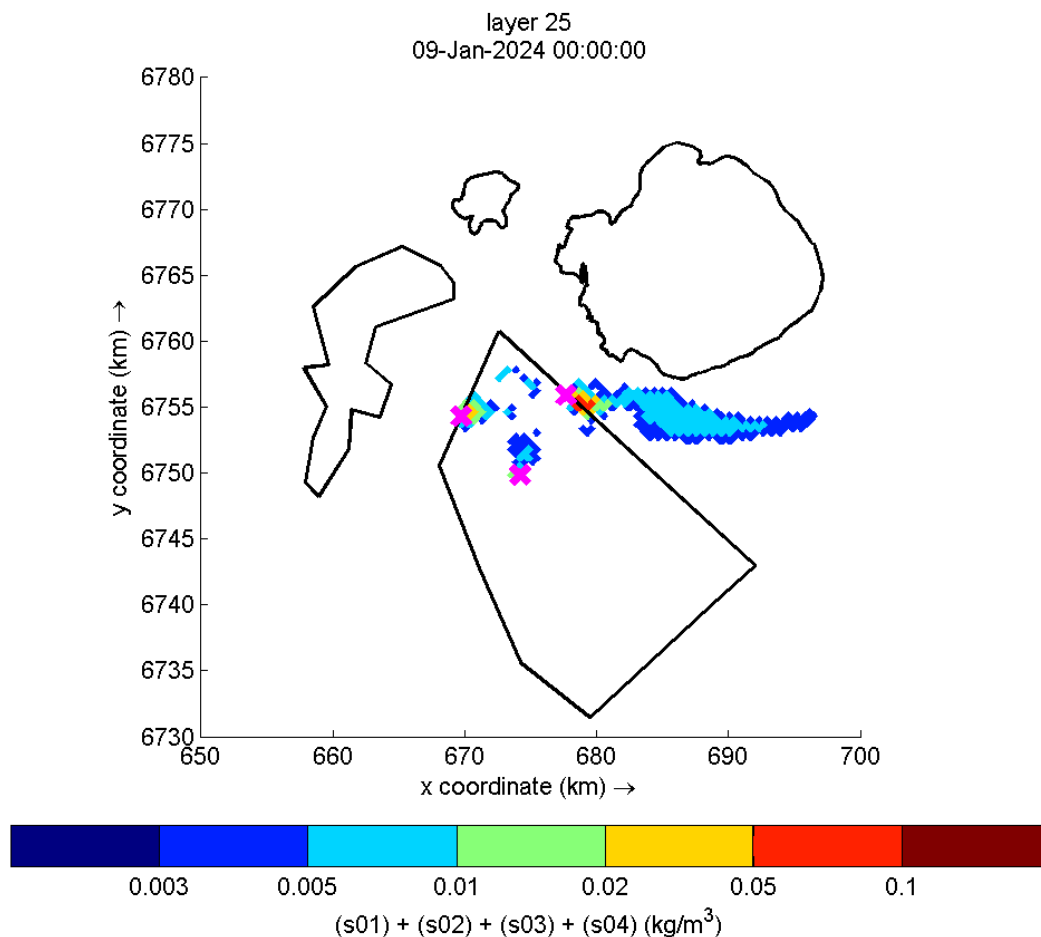
2.1.6 Borrhning, nordvästlig ström, skiktade förhållanden

Koncentrationer av suspenderat sediment vid skiktade förhållanden vid 24, 48 och 72 timmar efter utsläppets start visas i Figur 2-11, Figur 2-12 och Figur 2-13, respektive.

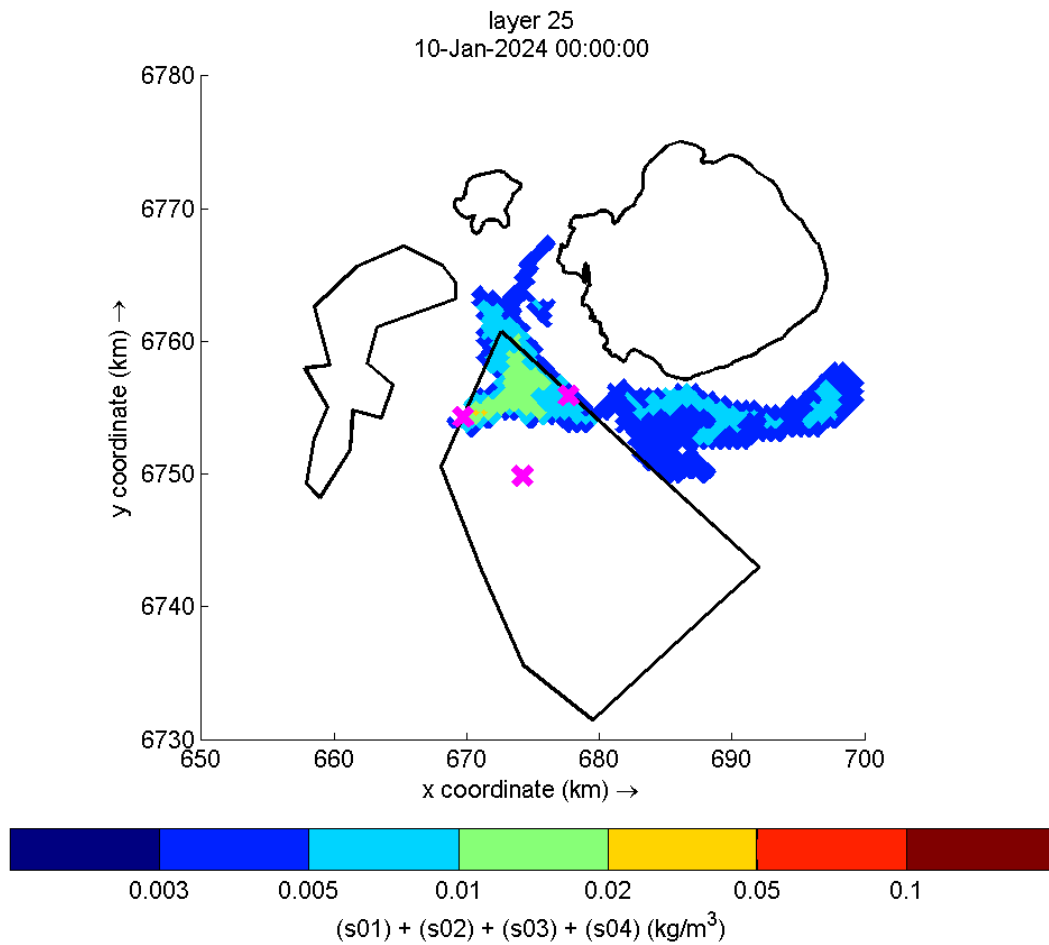
Figur 2-11 visar resultaten efter 24 av 25 timmars total borrhning, vilket i princip innebär de maximala koncentrationer som kan förväntas. Trots att den huvudsakliga strömriktningen tvingas åt nordväst sker ingen transport av bottenvattnet i denna riktning. Detta beror på en kombination av skiktningen och djupförhållandena som begränsar bottenströmmarna.

Figur 2-12 visar resultaten 48 timmar efter starten av borrhningen, med andra ord 23 timmar efter att den avslutats. Varierande strömriktningar vid botten sprider plymen i flera riktningar vilket leder till god utspädning.

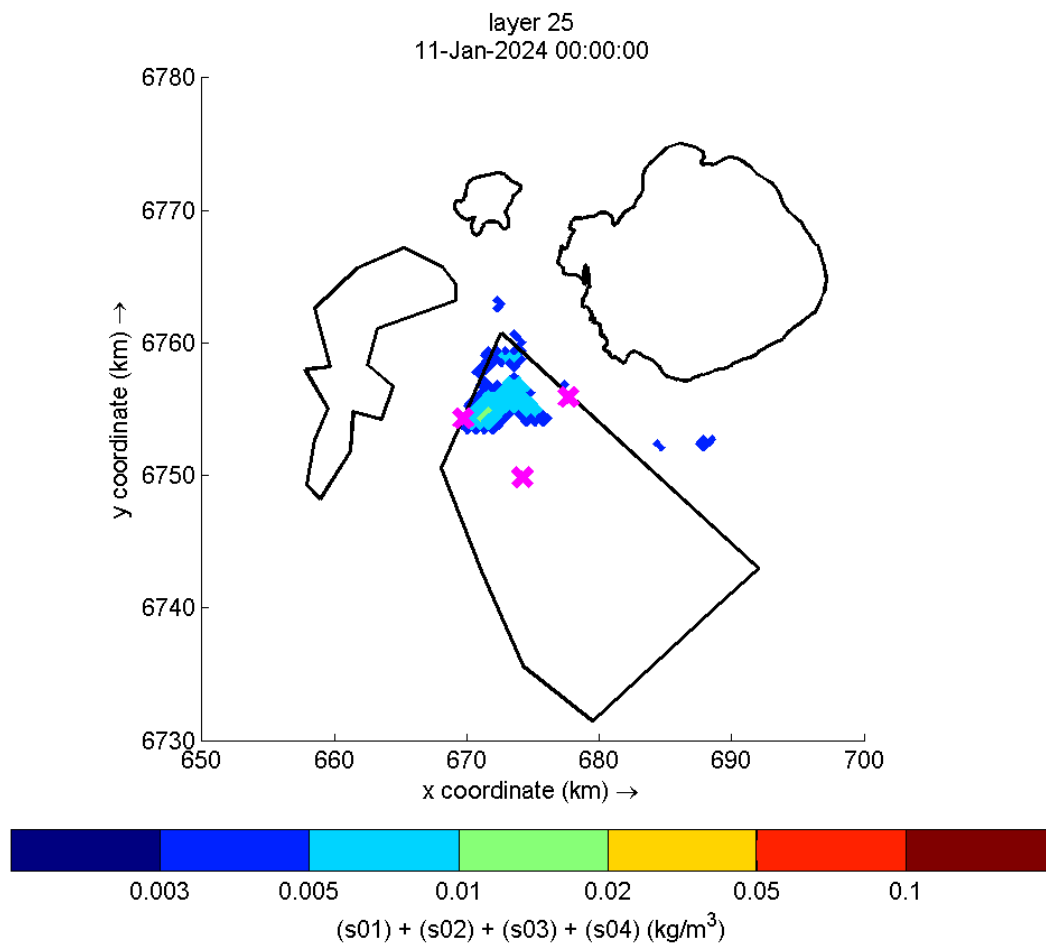
Figur 2-13 visar resultaten 72 timmar efter starten av borrhningen, med andra ord 47 timmar efter att den avslutats. Plymerna har inte transporterats särskilt långt men trots detta ändå späts ut.



Figur 2-11: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 24 timmars utsläpp av borrhax vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-12: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrhax och 23 timmar efter avslutad borrhning, vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.



Figur 2-13: Koncentrationer av suspenderat sediment nära botten efter 25 timmars utsläpp av borrkax och 47 timmar efter avslutat borrning, vid konstanta nordöstliga strömmar på cirka 10 cm/s utan skiktning i vattenmassan. Koncentrationer under 3 mg/l är exkluderade i syfte att förtydliga plymens utbredning. De heldragna svarta linjerna representerar Natura 2000-områden och den streckade svarta linjen representerar Najadernas projektområde. De magentafärgade kryssen markerar utsläppspositionerna.

2.1.7 Nedspolning av kabel i tvärström, medström och motström

Nedspolningen av kabel ger ett betydligt mindre spill av suspenderat sediment jämfört med utsläpp av borrkax vid borrning för en monopile, endast 15 kg/s istället för 90 kg/s. En typisk längd på en kabel nära projektområdets gränser motsvarar avståndet mellan två fundament, det vill säga omkring 1500 meter. I områdets mer centrala delar kan kablarna bli längre än 1500 meter, men då är också avståndet till Natura 2000-områdena flera kilometer längre. Eftersom nedspolningen antas propagera med 150 m/h tar det 10 timmar att spola ned en 1500-meters kabel.

Resultaten från föregående avsnitt visar att sedimentspridning från borrning för ett monopile-fundament i projektområdets utkant teoretiskt sett kan nå ett Natura 2000-område, men då i mycket låga koncentrationer. Observera att detta *worst case* även förutsatte att bottenmaterialet är mycket finkornigt och att ingen sedimentering sker på vägen. Eftersom spillet från nedspolningen är 6 gånger mindre och oftast pågår under mindre än hälften så lång tid som borrningen, ger nedspolningen en ej noterbar påverkan på Natura 2000-områdena. Utsläppet sker dessutom intill botten vilket ytterligare begränsar spridningen jämfört med utsläppet från borrning. Därför kan inte

dessas utsläpp från nedspolningen ändamålsenligt visas på en karta som inkluderar Finngrundens Natura 2000-områden.

Det kan dock bli lokalt höga och kortvariga koncentrationer av suspenderat sediment inom projektområdet, och detta beror till stor del på hur bakgrundsströmmens riktning förhåller sig till kabelspolningens riktning. Vad som i detta fall är ett *worst case scenario* beror på vad som ska utvärderas. Om bakgrundsströmmen går tvärs kabeldiket maximeras spridningslängden. Vid kabelspolning nära projektområdets kanter kan material ta sig längre utanför området än vid med- eller motström. Vid medström fås högsta halter av suspenderat sediment i närområdet.

För att illustrera detta *worst case* vid olika strömförhållanden har en 3D-modell använts med ännu högre upplösning både horisontellt och vertikalt. Vattendjupet i modellen är konstant. Ett konstant vattendjup leder till att strömriktningarna nära botten inte varierar inom modellområdet, vilket de hade gjort vid naturligt varierande bottenförhållanden (se föregående avsnitt). På så vis säkerställs att recipientens strömriktningar är tvärs-, med- eller motströms nedspolningens propageringsriktning under hela förloppet. Det konstanta vattendjupet leder till att beräknade sedimentkoncentrationer blir högre än vad som kan förväntas vid naturligt varierande bottenförhållanden, eftersom naturliga oregelbundenheter bidrar till högre turbulens och utspädning.

Nedspolningsarbetet antas propagera med 150 m/h (cirka 4 cm/s) och bakgrundströmmen har ett vertikalt medelvärde på 7 cm/s. På grund av bottenfriktion är strömmarna lägre närmare botten än vad de är högre upp i vattenmassan. Sedimentet antas, liksom i Bilaga C.3, spolas upp på två meters höjd över botten. På den nivån är strömmen cirka 5 cm/s.

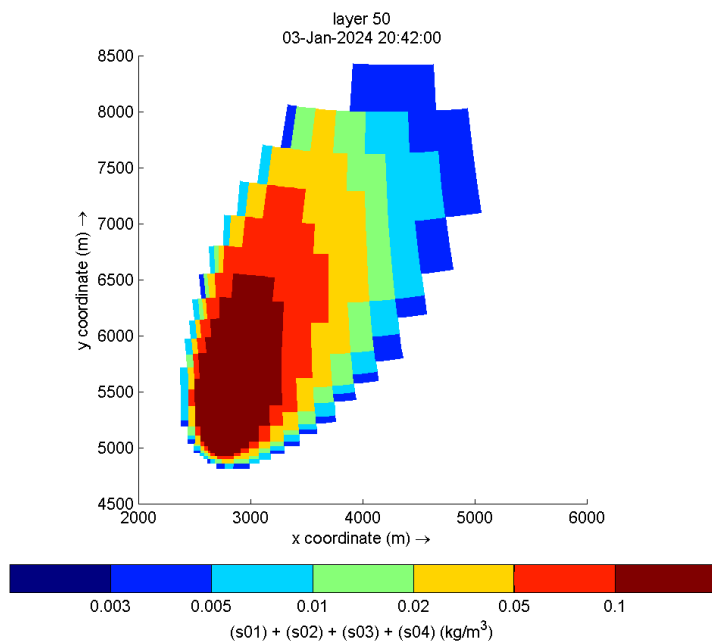
Figur 2-14, Figur 2-15 och Figur 2-16 visar sedimentspridning vid nedspolning av kabel vid tvärström, medström och motström, respektive. Spolningsarbetet har vid detta tillfälle propagerat 3 km genom modellen och varat i över 20,5 timmar utan avbrott.

Resultaten vid tvärström som visas i Figur 2-14 indikerar att plymen driver cirka 2 km i sidled från kabeldiket. Koncentrationerna av sediment längs med plymen i strömriktningen (åt höger i bild) överstiger 50 mg/l på cirka 1 kilometers avstånd från spolningsarbetet, som vid tidpunkten i bilden befinner sig i koordinaten X,Y=(2700,5020). Detta är kortare än vad som predikterades av beräkningarna i Bilaga C.3 som gjordes vid tvärströmmar på 5 och 10 cm/s. I dessa beräkningar underskreds 50 mg/l på cirka 1,5 kilometers avstånd från spolningsarbetet.

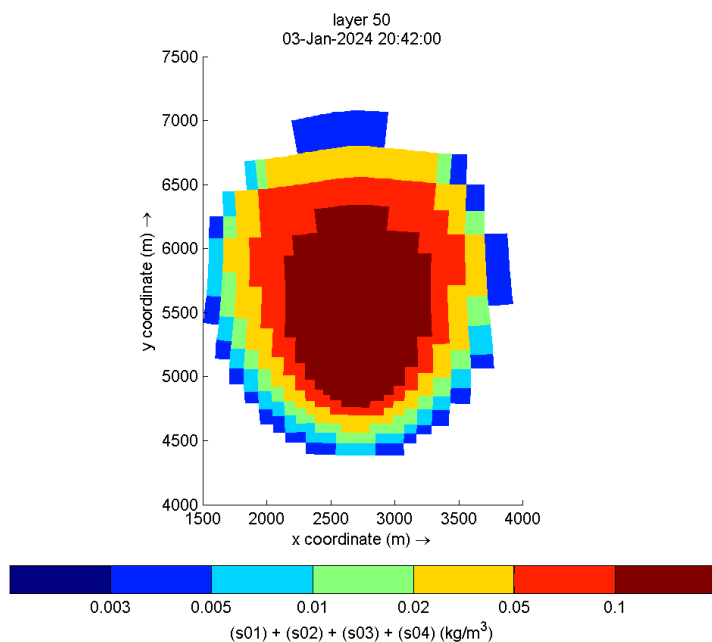
Vid medström som i Figur 2-15 fås en bredare plym. Utspädningen blir sämre eftersom den relativa strömhastigheten är lägre och ger mindre spädvatten under den tiden som arbetet propagerar i strömriktningen. Plymen blir cirka 2,5 km lång och ungefär lika bred. Observera dock att plymen endast sträcker sig cirka 700 meter nedströms platsen dit spolningsarbetet propagerat vid tidpunkten som visas i bilden.

Figur 2-16 visar resultaten vid motström. Detta ger en mer utdragen plym och ett betydligt mindre påverkansområde av höga koncentrationer. Plymen kan i detta fall bli 5 km lång. Detta kan dock ändå inte påverka det närmaste Natura 2000-området som ligger 4 km bort från Najadernas projektområde. Om strömmarna i ett *worst case* skulle transportera plymen rakt mot närmsta Natura 2000-området, förutsätts i detta beräkningsfall (motström) att spolningsarbetet rör sig i motsatt riktning bort från samma Natura 2000-område. Eftersom plymen av suspenderat sediment som visas i Figur 2-16 har utvecklats efter att spolningsarbetet har propagerat i 3 kilometer måste

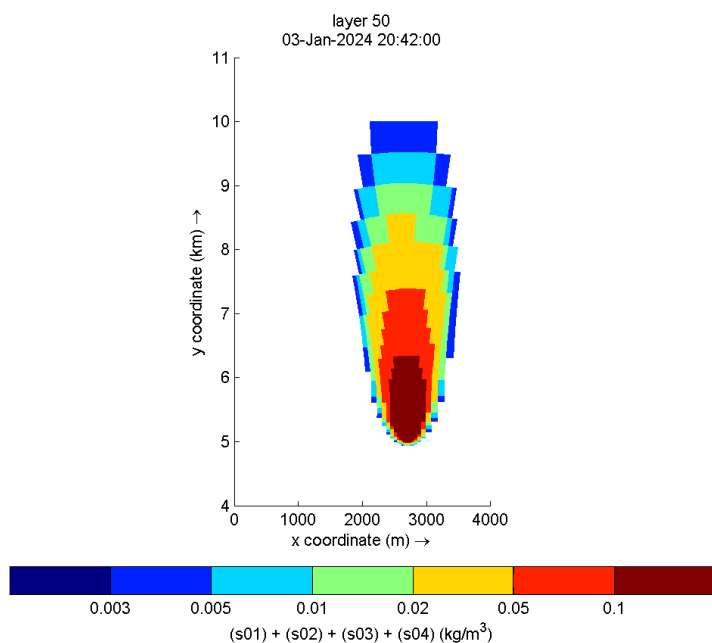
spolningsarbetet vid denna tidpunkt befinna sig minst 7 kilometer från ett Natura 2000-området. Najaderna Offshore AB planerar inte att spola ned någon kabel i botten närmare Natura 2000-områdena än projektområdets nordvästliga och nordostliga gränser.



Figur 2-14: Spridning av suspenderat sediment när bakgrundsströmmen går tvärs spolningsarbetet. Bakgrundströmmen är satt till 7 cm/s åt höger i bild och spolningsarbetet propagerar med 150 m/h neråt i bild. Vid denna tidpunkt har spolningsarbetet pågått i drygt 20 timmar och spolningsarbetet har då nått koordinaten X,Y=(2700,5020).



Figur 2-15: Spridning av suspenderat sediment när bakgrundsströmmen och spolningsarbetet rör sig i samma riktning. Bakgrundströmmen är satt till 7 cm/s neråt i bild och spolningsarbetet propagerar med 150 m/h neråt i bild. Vid denna tidpunkt har spolningsarbetet pågått i drygt 20 timmar och spolningsarbetet har då nått koordinaten X,Y=(2700,5020).

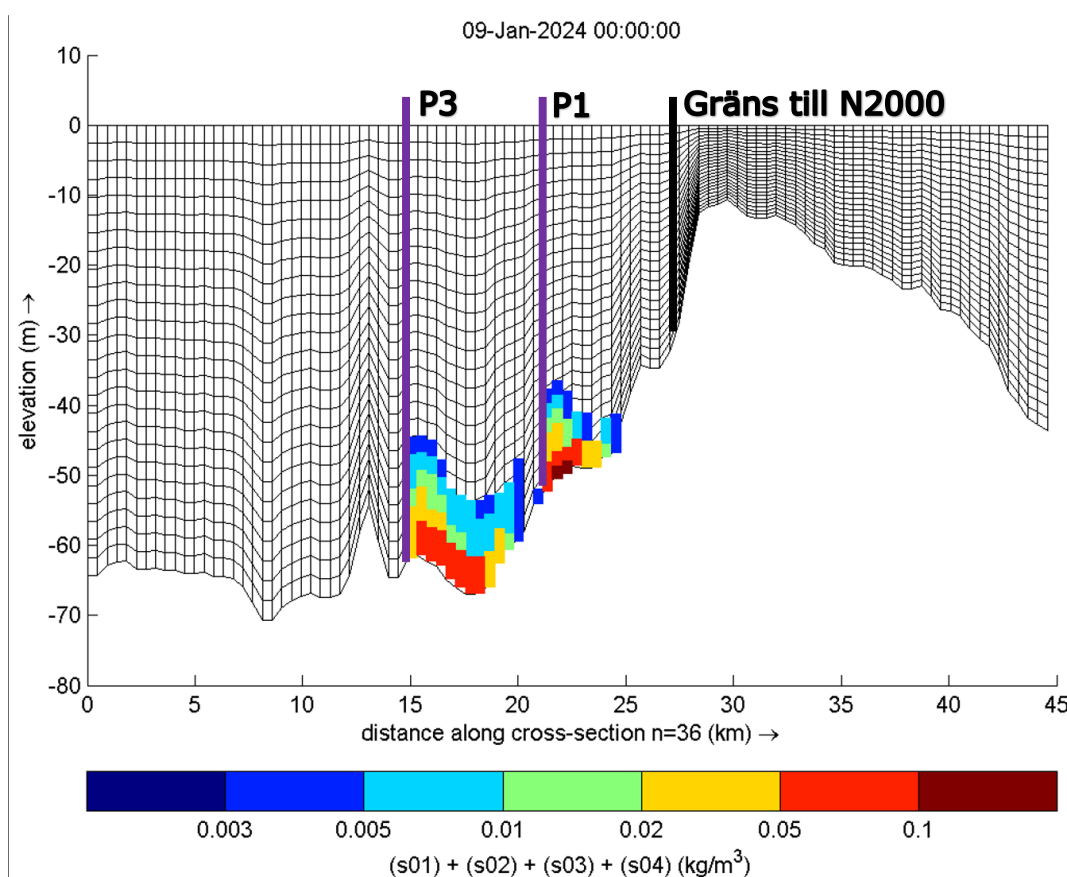


Figur 2-16: Spridning av suspenderat sediment när bakgrundsströmmen och spolningsarbetet går i motsatta riktningar. Bakgrundströmmen är satt till 7 cm/s uppåt i bild och spolningsarbetet propagerar med 150 m/h neråt i bild. Vid denna tidpunkt har spolningsarbetet pågått i drygt 20 timmar och spolningsarbetet har då nått koordinaten X,Y=(2700,5020).

2.1.8 Diskussion av resultaten

I avsnitten ovan visas fyra olika *worst case scenarios* av sedimentspridning från Najadernas projektområde mot de närmaste Natura 2000-områdena. Scenarierna är *worst case* med avseende på sedimentvolym, sedimentflöden, sedimentegenskaper, strömriktningar och varaktighet av strömriktningar. Kartorna visar dessutom koncentrationen intill botten där koncentrationen är som högst. Att medelvärdera de beräknade koncentrationerna över hela vattenpelaren är inte relevant för den fortsatta analysen eftersom omblandningen inte sker över hela vattenpelaren. En sådan medelvärdering skulle dessutom leda till värden som är flera gånger lägre än de som visas i bilderna och därmed inte utgöra ett *worst case*. Ett exempel på plymernas vertikala form visas i Figur 2-17. Bilden visar att höga sedimentkoncentrationer är begränsade till området närmast botten, medan låga koncentrationer kan sträcka sig cirka 10 meter över botten i närheten av utsläppen. Eftersom plymen späds medan den färdas genom vattenmassan blir plymens tjocklek med avseende på relevanta koncentrationer tunnare på större avstånd från utsläppspunkten.

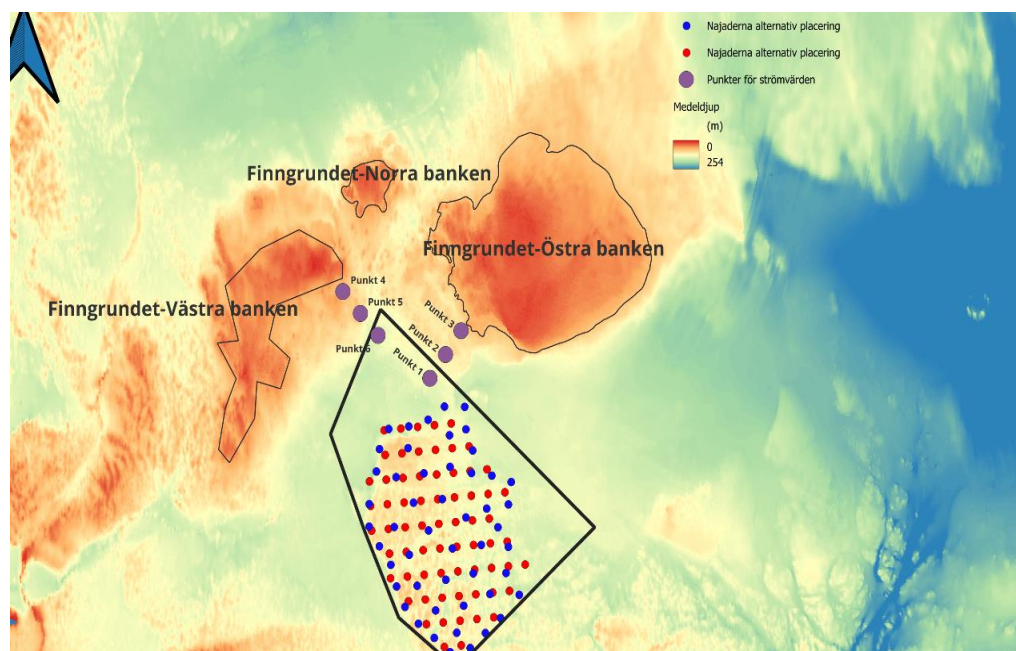
I endast ett av fyra beräkningsfall av *worst case* indikerar resultaten en viss *risk* att suspenderat sediment med koncentration överstigande 3 mg/l ens skulle kunna nå Natura 2000-området Norra banken. Varaktigheten av detta tillfälle uppskattas till cirka ett dygn. Detta skulle dock förutsätta att strömriktningen är nordvästlig under



Figur 2-17: Vertikalt snitt genom vattenmassan där plymerna befinner sig efter 24 timmars borring i punkt p1 och p3 vid nordostliga strömförhållanden. Grundområdet till höger i bild är Finngrundet Östra banken. Resultaten är hämtade från samma modellering och ögonblick som visas Figur 2-2. Höga koncentrationer är begränsade till området närmast botten, medan låga koncentrationer kan sträcka sig cirka 10 meter över botten i närheten av utsläppen. De magentafärgade och svarta strecken markerar utsläppspunkter och gräns till Natura 2000-område, respektive.

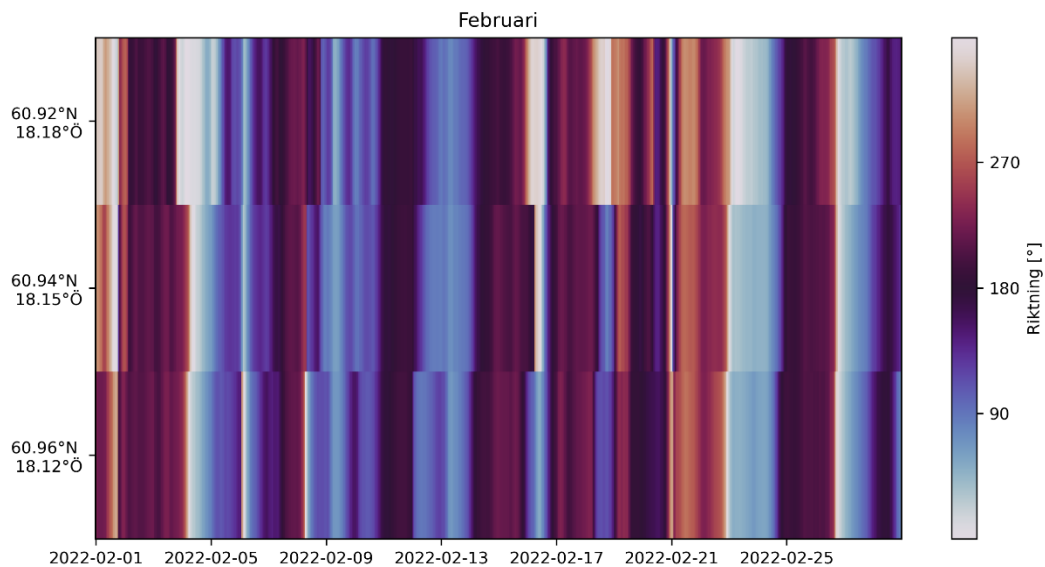
flera dygn i sträck och att oskiktade förhållanden råder. På vintern kan det i detta område förekomma förhållanden med väldigt svag skiktning. För att undersöka hur vanligt det är med ihållande strömriktningar har modellerade strömmar (timvärden) i sex punkter (punkt 1–6, se Figur 2-18) hämtas från E.U. Copernicus Marine Service Information¹. Dessa strömmar har beräknats av SMHI med *NEMOv4.0 ocean model* som täcker hela Östersjön och är kopplad till väder och vind och som används både för prognoser och för forskning.

Resultaten visar att risken att något suspenderat sediment skulle kunna nå grundområdena är störst vid oskiktade förhållanden som är vanligast på vintern, och vid borrning i norra delen av projektområdet. Figur 2-19 visar hur strömmarna varierar i de tre punkterna mellan Najadernas projektområdes norra hörn och Västra bankens östliga hörn under just vinterförhållanden (februari 2022). Enligt bilden fanns det ett tillfälle mellan den 23–25 februari där det rådde nordostliga strömmar under ett par dygn men generellt varierar strömriktningarna betydligt oftare.



Figur 2-18: Najadernas projektområde markerat med tjocka svarta linjer, inklusive två alternativa exempellayouter av vindkraftverk (blå respektive röda punkter). Observera att tidigare nämnda utsläppspunkter p1 och p2 är placerade närmare Natura 2000-områdena än vindkraftverken i exempellayouten för att representera ett worst case med avseende på utsläppsplats. Vid punkt 1–6 har strömdata hämtats och analyserats. Djupdata är hämtade från EMODnet (<https://doi.org/10.12770/ff3aff8a-cff1-44a3-a2c8-1910bf109f85>).

¹ <https://doi.org/10.48670/moi-00010>



Figur 2-19: Strömriktningar i punkt 6, 5 och 4 mellan Najadernas projektområdes norra hörn och Västra bankens östliga hörn. För att sediment ska spridas till banken krävs det ihållande nordvästliga strömmar i minst ett par dygn. Data är hämtade E.U. Copernicus Marine Service Information (<https://doi.org/10.48670/moi-00010>) och kommer från SMHI:s beräkningar med NEMOV4.0 ocean model. Riktningarna 270, 180 och 90 grader som noteras i färgskalan markerar färger för västgående, sydgående och östgående strömmar, respektive.

En statistisk analys av data visar dock att det inte är omöjligt att strömriktningen vid vissa tillfällen kan hålla i sig i flera dygn. Tabell 1 och

Tabell 2 sammanfattar data från hela år 2022. Notera dock att det inte räcker med en ihållande strömriktning i endast en punkt för att sediment ska transporteras raka vägen från en utsläppsposition till ett Natura 2000-område. Snarare behöver riktningen vara ihållande och mer eller mindre likriktad längs hela den sträcka som en sedimentpartikel ska passera på sin väg mot grundbanken för att den ska kunna nå grundbanken.

De vanligaste och mest ihållande strömriktningarna nära botten mellan Najaderna och Östra banken är nordvästliga (Tabell 1). Dessa kommer inte att transportera något material mellan områdena eftersom Östra banken ligger nordost om projektområdet. De vanligaste och mest ihållande strömriktningarna mellan Najaderna och Västra banken är sydvästliga (

Tabell 2) och kommer inte heller att bidra till transport mellan områdena eftersom Västra banken ligger nordväst om projektområdet.

Tabell 1: Statistik av strömriktningar nära botten i tre punkter mellan Najadernas projektområde och Östra banken under år 2022 baserat på SMHI:s beräkningar med NEMOV4.0 ocean model. De vanligaste och mest ihållande strömriktningarna är nordvästliga.

	Andel tid som strömmen går i respektive riktning			Medel varaktighet (h)			Maximal varaktighet (h)		
Riktning (°)	Punkt1	Punkt2	Punkt3	Punkt1	Punkt2	Punkt3	Punkt1	Punkt2	Punkt3
0-90	22 %	20 %	18 %	6	6	7	45	41	49
90-180	17 %	15 %	12 %	5	6	6	53	57	44
180-270	25 %	22 %	19 %	7	8	8	48	43	37
270-360	36 %	43 %	51 %	8	11	16	92	129	120

Tabell 2: Statistik av strömriktningar nära botten i tre punkter nordväst om Najadernas projektområdes norra hörn nära Västra banken under år 2022 baserat på SMHI:s beräkningar med NEMOV4.0 ocean model. De vanligaste och mest ihållande strömriktningarna är sydvästliga.

	Andel tid som strömmen går i respektive riktning			Medel varaktighet (h)			Maximal varaktighet (h)		
Riktning (°)	Punkt4	Punkt5	Punkt6	Punkt4	Punkt5	Punkt6	Punkt4	Punkt5	Punkt6
0–90	26 %	28 %	23 %	10	9	7	77	85	82
90–180	25 %	34 %	18 %	8	7	6	59	62	62
180–270	37 %	23 %	33 %	13	12	9	151	149	136
270–360	11 %	15 %	26 %	5	5	7	36	46	58

Eventuell nedspolning av kabel sker enligt Najaderna Offshore AB inte samtidigt som borring av närliggande fundament. Därför blir det heller ingen kumulativ effekt av grumling från nedspolning och borring. Spridningen av sediment vid nedspolning av kabel bli störst om strömmen går tvärs nedspolningsarbetet, vilket visas i Figur 2-14. Om det spolas nära projektområdets gräns kan detta leda till att suspenderat sediment av koncentrationer överstigande 3 mg/l sprids cirka 2,5 kilometer utanför projektområdet. Vid medström kan det dock bli lokalt större områden med höga koncentrationer inom projektområdet. Vid motström blir utspädningen mycket god. Vid med- och motström kommer det uppspolade materialet till större del pålagras längs med kabeldiket, där botten redan är störd.

2.2 Osäkerheter i beräkningarna

Detta avsnitt syftar till att besvara begäran nr 5 gällande Natura 2000-ansökan och begärande nr 4 gällande SEZ-ansökan (identisk med föregående):

5. Osäkerheter, risker och felkällor ska redovisas i miljökonsekvensbeskrivningen tillsammans med bedömningarna. Osäkerheter ska i möjligaste mån uttryckas i kvantifierbara termer.

Eftersom det inte är möjligt att i nuläget exakt beskriva hur och var borring kan komma att ske eller i vilken utsträckning, har beräkningarna utgått från ett antal antaganden som både enskilda och sammantagna bedöms ge konservativa resultat med avseende på koncentrationer av suspenderat sediment och volym av pålagring.

När det gäller materialet på havsbotten kan såvitt avser osäkerheten följande konstateras. Beräkningarna i Bilaga C.3 och i detta dokument baserar sig på kornstorleksfördelningar som bedöms representera de mest finkorniga bottenarna inom projektområdet och som därmed ger mest och längst spridning. Kornstorleksfördelningen av bottenmaterialet varierar dock över projektområdet, och det är inte omöjligt att det vid någon enskild position skulle kunna finnas material med högre halt av finkornigt material än det som hittills har påträffats. De uppdaterade beräkningar som presenteras i detta dokument baserar sig på uppmätt kornstorleksfördelning i sedimentprovet Naj55. Detta består till 66 % av partiklar med lägsta antagna sjunkhastighet, vilket alltså innebär att partiklarna rör sig över längre avstånd än andra partiklar. Detta var det mest finkorniga prov och togs under sommaren 2024. Om det uppborrade eller uppspolade bottenmaterialet skulle bestå av 100 % partiklar med den lägsta antagna sjunkhastigheten skulle koncentrationerna på längre avstånd i teorin kunna bli maximalt omkring $1/0,66 \approx 1,5$ gånger högre än de som beräknats. I beräkningarna tillåts dock ingen sedimentation, vilket innebär att partiklarna oavsett sjunkhastighet kommer att finnas kvar i vattenmassan. Således

bedöms de beräknade koncentrationerna på större avstånd vara överskattade med omkring 50 %. Notera också att om havsbotten lokalt bestod till 100 % av finkornigt material så kommer sannolikt monopilefundament kunna hamras ner utan behov av borrar, enligt Najaderna Offshore AB. Borrar bedöms främst vara nödvändigt om hårt material påträffas, vilket bör ge betydligt grövre borrar och mindre spridning än det material som använts som indata till beräkningarna.

Beräkningarna är endast gjorda vid värsta tänkbara strömförhållanden med avseende på transport av suspenderat material mot Finngrundens Natura 2000-områden. Dessa strömriktningar förekommer dock endast under cirka 11–26 % av tiden längs de sträckor som är mest kritiska (se Tabell 1 och

Tabell 2). Varaktigheten av dessa strömriktningar är vid dessa tillfällen i genomsnitt 5–16 timmar. Beräkningarna visar att det tar över 24 timmar för att suspenderat sediment ska kunna transporteras till de närmaste Natura 2000-områdena i relevanta koncentrationer. Den relativt korta varaktigheten av naturligt förekommande strömriktningar, i kombination med transporttiden och den begränsad tiden som en enskild borrar kräver, innebär att det är mycket liten risk att suspenderat sediment i koncentrationer överstigande 3 mg/l kommer att nå Finngrundens Natura 2000-områden annat än sporadiskt och kortvarigt (ungefär ett dygn per tillfälle), och dessutom främst under vinterförhållanden när skiktningen är som svagast.

De konservativa antagandet av strömförhållanden som ansatts i beräkningarna bedöms därmed med marginal kompensera eventuella osäkerheter i lokala materialförhållanden.

2.3 Kumulativa effekter av flera vindkraftsparker

Detta avsnitt syftar till att besvara begäran nr 27 gällande Natura 2000-ansökan och begäran nr 60 gällande SEZ-ansökan:

27. Utred och bedöm kumulativa effekter av grumling vid anläggning av vindkraftsparken tillsammans med Olof Skötkonung och Fyrskeppet på Finngrunden Östra, Västra och Norra bank. Av utredningen ska det framgå vilken grumling som kan uppstå inom Natura 2000-områdena i det fall flera vindkraftsparker anläggs samtidigt, samt under hur lång tid skadlig grumling kan fortgå ifall flera vindkraftsparker anläggs efter varandra. Riskerna för skador på naturmiljön inom Natura 2000-områdena Finngrunden Östra, Västra och Norra banken av att flera vindkraftsparker anläggs samtidigt respektive efter varandra ska vägas mot varandra.

60. Utred och bedöm kumulativa effekter av grumling vid anläggning av vindkraftsparken tillsammans med Olof Skötkonung och Fyrskeppet på Natura 2000-områdena vid Finngrunden.

Kumulativa effekter av sedimentspridning kan visa sig på tre sätt: 1) förhöjda koncentrationer av suspenderat sediment och/eller 2) förlängd varaktighet av grumling samt 3) ökad pålagring på havsbotten.

I följande avsnitt diskuteras kumulativa effekter av sedimentspridning internt inom Najaderna, och kumulativa effekter vid anläggning av både Najaderna och Olof Skötkonung och Najaderna och Fyrskeppet, samt om alla tre vindkraftsparkerna byggs samtidigt. Fyrskeppet och Olof Skötkonung ligger närmare varandra än Fyrskeppet och Najaderna. Således kan det förmodas vara en större risk för kumulativa effekter om endast Fyrskeppet och Olof Skötkonung byggs, jämfört med om endast Najaderna och Fyrskeppet byggs. Bedömningarna av kumulativa effekter bygger på antagandet att materialegenskaper och sedimentutsläpp i de närliggande vindkraftsparkerna liknar de

material och utsläpp som antagits som *worst case* i Najaderna. Detta antagande görs av flera anledningar. De sedimentsprijdningsmodelleringar som presenteras i Olof Skötkonungs och Fyrskeppets MKB:er (Bilaga B5 2023-12-07, Olof Skötkonungs MKB SEZ och Bilaga M14 2023-02-21, Fyrskeppets MKB SEZ) fokuserar på andra typer av fundament (jackets respektive gravitationsfundament) samt andra pålnings, borr-, muddrings- och utsläppsmetoder än de sedimentsprijdningsmodelleringar som gjorts för Najaderna. Dessutom utgår de olika modelleringarna från andra materialegenskaper. Men även om Olof Skötkonungs och Fyrskeppets modelleringar hade fokuserat på monopile-fundament av samma storlek som de som bedöms vara aktuella för Najaderna, är det oklart vilka anläggningsmetoder för fundamenten som skulle ha valts inom dessa projekt, och därmed också oklart hur stor fraktion av eventuellt uppborrat material som skulle ha släpps ut i vattenmassan.

I de sedimentsprijdningsmodelleringar som gjorts inom Najaderna har fokuserats på fundamenttyp och anläggningsmetod som – av alla kombinerade alternativ som är aktuella för Najaderna – tillsammans representerar *worst case* med avseende på massflöden av utsläppt solitt material samt totala volymer av utsläppt material inom detta projekt. Potentiellt sett bedöms anläggning av monopile-fundament på liknande sett inom Fyrskeppet och Olof Skötkonung kunna ge upphov till större sedimentsprijdnings än vad som hittills presenterats inom dessa projekt. I syfte att skapa ett kumulativt *worst case* utifrån de förutsättningar som råder för Najaderna, utgår vi därför ifrån att nämnda närliggande parker anläggs med liknande fundament, på ett liknande sätt och att det där också kan förekomma lika finkornigt material som inom Najaderna.

2.3.1 Kumulativ effekt med avseende på sedimentkoncentrationer

Kumulativ effekt med avseende på sedimentkoncentrationer beror på att spädvattnet som strömmar in mot en utsläppspunkt skulle kunna innehålla suspenderat sediment från ett annat utsläpp i närheten. Avståndet mellan två intilliggande fundament inom Najaderna är omkring 1,5 km. Om strömriktningen vid en genomsnittlig strömhastighet på 5 cm/s skulle vara konstant under minst 8 timmar och riktad rakt från en utsläppspunkt mot en annan utsläppspunkt, skulle spädvattnet som når till den andra utsläppspunkten kunna innehålla maximalt omkring 200 mg/l suspenderat sediment (se Figur 9-4 i Bilaga C.3). Relativt de initiala koncentrationerna vid arbetspositionen som i Bilaga C.3 beräknats till cirka 20 000 mg/l kommer detta leda till en liten ökning, i storleksordningen någon procent. Med andra ord kommer det inte kunna uppstå några betydande kumulativa effekter av samtidiga borrningar såvitt avser sedimentkoncentrationer. Eftersom strömriktningarna hela tiden varierar kommer dessutom transportsträckan mellan två utsläppspunkter alltid att vara längre än den raka linjen mellan punkterna, vilket ytterligare begränsar den kumulativa effekten. Avståndet mellan ett fundament inom Najaderna och ett fundament inom Olof Skötkonung bedöms inte bli mindre än de interna avstånden mellan fundament inom Najaderna och effekten av detta diskuteras ovan. Således ökar inte risken för kumulativa effekter av suspenderade sedimentkoncentrationer om Olof Skötkonung skulle byggas samtidigt som Najaderna.

Beräkningsresultaten som redovisas i avsnitt 2.1 visar att det inte kommer att bli några kumulativa effekter avseende koncentrationer av suspenderade sediment om Fyrskeppet och Najaderna byggs samtidigt, på grund av avståndet mellan dessa båda vindkraftsparker.

Fyrskeppet och Olof Skötkonung ligger närmare varandra än Fyrskeppet och Najaderna. Men eftersom Fyrskeppet och Olof Skötkonung ligger på olika sidor om

Östra banken bedöms risken för kumulativa effekter avseende koncentrationer av suspenderade sediment vara obetydlig, utom möjligen i det område strax sydost om Östra banken där de nästan angränsar varandra. Eventuell kumulativ effekt bedöms i detta område dock inte bli större än de interna kumulativa effekter som kan uppstå inom respektive vindkraftspark och som beskrivs i början av detta avsnitt utifrån förutsättningarna i Najaderna.

Även om alla tre nämnda vindkraftsparker, det vill säga Najaderna, Olof Skötkonung och Fyrskeppet, byggs samtidigt, bedöms det således inte kunna uppstå några kumulativa effekter avseende koncentrationer av suspenderade sediment som är större än de kumulativa effekter som eventuellt kan uppstå inom respektive vindkraftspark om flera utsläpp där skulle ske samtidigt.

När det gäller de närliggande Natura 2000-områdena visar beräkningsresultaten som redovisas i avsnitt 2.1 att risken för sedimentspridning från Najaderna till Natura 2000-områdena är mycket liten, och skulle den ske kommer det att röra sig om låga koncentrationer. Således bedöms inte Najaderna kunna bidra till någon kumulativ påverkan på Finngrundens Natura 2000-områden om Najaderna skulle byggas samtidigt som Fyrskeppet och Olof Skötkonung.

2.3.2 Kumulativ effekt med avseende på varaktighet av grumling

Varaktighet av grumling behöver beräknas på olika sätt för organismer som passivt flyter med strömmarna och organismer som sitter fast på botten.

2.3.2.1 Varaktighet av grumling för passivt flytande organismer

Varaktigheter av grumling för organismer som flyter passivt med strömmarna har i Bilaga C.3 beräknats uppgå till upp till 3 dygn (Figur 9-5, Bilaga C.3). Denna varaktighet beräknas genom kvoten av plymens initiala tjocklek (5 meter) och sjunkhastigheten av de minsta partiklarna (0,02 mm/s). I teorin skulle en organism kunna flyta in i en annan plym strax innan den första plymen sedimenterat eller nått koncentrationer motsvarande en bakgrundshalt. Detta skulle för organismen innebära som dubbelt så lång varaktighet av grumling, det vill säga 6 dygn. Det är dock orimligt att detta skulle kunna ske mer än en gång, dels med tanke på hur strömriktningarna varierar över tid (se Figur 5-5 och 5-6 i Bilaga C.3 samt avsnitt 2.1.8 i detta dokument), dels med tanke på att positionen för ett efterföljande utsläpp kan ligga i vilken riktning som helst i förhållande till ett föregående. Observera att detta gäller oavsett om de båda utsläppen härrör från samma vindkraftspark eller inte. En något ökad frekvens av upp till 6 dygns grumling kan dock förväntas om två intilliggande parker byggs samtidigt, eftersom det potentiellt sett skulle kunna ske fler borrarbeten samtidigt. Om både Najaderna och Olof Skötkonung använder sig av två parallellt arbetande borrhappar kan frekvensen komma att fördubblas om båda vindkraftsparkerna anläggs samtidigt. Observera också att dessa beräknade varaktigheter baseras på att utsläppen i intilliggande vindkraftsparker sker på liknande sätt som de som antagits för Najaderna, samt att materialegenskaperna är likvärdiga.

Den uppskattade varaktigheten på 6 dygn som nämns ovan gäller mycket låga tröskelvärden. Varaktigheten av tröskelvärden överstigande 100 mg/l bedöms endast kunna ske under 10–20 timmar, se Figur 9-3 och 9-5 i Bilaga C.3. Liksom i det teoretiska exemplet ovan skulle en organism kunna flyta in i en andra plym strax innan halten suspenderat sediment i den första plymen underskrider 100 mg/l, vilket skulle innebära en upplevd varaktighet på 20–40 timmar. Detta gäller oavsett om

plymerna härrör från arbeten inom Najaderna eller inte, men förutsätter liknande spridningsförlopp.

Sammanfattningsvis bedöms varaktigheten av grumling för passivt flytande organismer maximalt kunna bli cirka 6 dygn. Varaktigheten bedöms inte förändras om närliggande vindkraftsparker byggs samtidigt. Den kumulativa effekt som kan förväntas gäller frekvensen av dessa tillfällen, eftersom denna är proportionell mot antalet borrarbeten som sker samtidigt.

2.3.2.2 Varaktighet av grumling för bottenfasta organismer

Organismer som lever på eller nära botten och inte kan förflytta sig bedöms i Bilaga C.3 (avsnitt 9.4) inte komma att påverkas av koncentrationer på över 100 mg/l under mer än ca 6 dygn i sträck. Detta är en mycket konservativ approximation. Borrarbetet tar 25 timmar. Beräkningsresultaten visar att det kan dröja ytterligare 30 timmar innan plymen spätts ut till 100 mg/l. Sammantaget ger detta 55 timmar. Om detta avrundas uppåt till jämna dygn får vi 3 dygns varaktighet. Om sedan ytterligare en plym från ett närliggande borrarbete flyter in över samma bottenyta, skulle varaktigheten i princip kunna fördubblas. Detta gäller oavsett om sedimentutsläppen sker inom en eller flera vindkraftsparker som byggs samtidigt.

Den planerade vindkraftsparken Olof Skötkonungs projektområde överlappar Najadernas. Även om båda vindkraftsparkerna skulle byggas bedöms utifrån Olof Skötkonungs ansökan tätheten av fundament i snittet av båda parkerna bli i samma storleksordning som tätheten inom Najaderna. Således gäller siffrorna i föregående avsnitt, gällande sedimentkoncentrationer, varaktigheter och pålagring, även för den gemensamma vattenmassan inom Najaderna och Olof Skötkonungs respektive projektområden.

Vindkraftsparken Fyrskippet planeras på motsatt sida om Finngrundet Östra banken relativt Najaderna och Olof Skötkonung. De närmaste hörnen av Fyrskippet ligger på cirka 15 respektive 20 km från Najadernas projektområde. Om det borrades för monopile-fundament i både Fyrskippet och Najaderna, och bottenarna i båda områdenas närmaste flanker bestod av en hög andel finkornigt sediment, är det inte omöjligt att vissa ytor på havsbotten mittemellan vindkraftsparkerna skulle kunna påverkas av låga koncentrationer av suspenderat sediment vid vissa tillfällen under båda projektens anläggningsfaser. Detta skulle naturligtvis kunna leda till längre total (men icke sammanhängande) påverkansperiod än om endast en av parkerna byggs. Samtidig byggnation skulle dock inte kunna leda till längre kontinuerliga varaktigheter av grumling, vare sig för organismer som passivt följer med strömmarna eller organismer som lever på botten. Anledningen till detta är att suspenderat sediment som omger en organism som passivt flyter med strömmarna i en plym från Najaderna kommer att sedimentera på botten innan organismen når fram till Fyrskippets gräns. För att en organism som sitter fast på botten mittemellan de båda vindkraftsparkerna ska kunna uppleva kontinuerlig påverkan från båda områdena i följd skulle strömriktningen först behöva vara riktad mot den ena parken i nästan en vecka, sedan vända 180° och behålla denna nya riktning i ytterligare en vecka, vilket bedöms extremt osannolikt.

2.4 Pålagring på havsbotten

Beräkningar i Bilaga C.3 visar att om allt uppborrat sediment landar inom projektområdet erhålls en genomsnittlig (icke-konsoliderad) pålagring av cirka 5 mm. Flockulerade lerpartiklar och finsilt kommer dock att transporteras längre bort och till

viss del sedimentera över större ytor vilket leder till tunnare pålagring både inom och utanför projektområdet. Enligt beräkningar i Bilaga C.3 kan tjockleken av pålagring förväntas vara mindre än 1–2 mm på avstånd som är större än avståndet mellan två vindkraftverk inom vindkraftsparkerna (Figur 9-6, Bilaga C.3).

Provtagningar av ytmaterial på botten inom Najadernas projektområde har analyserats av NIRAS [NIRAS (2023) Fältundersökningar inom vindpark Najaderna. NIRAS Sweden AB; NIRAS (2024) Kompletterande undersökningar i Najadernas projektområde]. Deras slutsats är att bottenarna inom Najadernas projektområde består av erosionsbottenar. Ingenting tyder på att det finns ackumulationsbottenar inom projektområdet. NIRAS analyserar även SGU:s bottenkarteringar och konstaterar att de enda områden där ytmaterial består av postglacial lera är ett område omkring nordvästra delen av projektområdet. Detta skulle potentiellt kunna innebära att det är en ackumulationsbotten. NIRAS senaste fältprovtagning (2024) indikerar dock ytligt sediment som avviker från SGU:s kartering. Således bekräftar provtagningarna inte att det förekommer ackumulationsbotten med avseende på lerpartiklar i det nordvästra området som SGU:s karta antyder. Ett liknande större område av postglacial lera återfinns på djupare vatten sydost om Östra banken. Gemensamt för dessa områden är att djupet är större än 60–70 meter. På grundare vatten består ytmaterial av grövre material än glacial lera.

2.4.1 Pålagring av lera och finsilt

Det finkorniga material som sjunker långsammast (lera och finsilt, kornstorlekar <6 µm) som sprids i anläggningsfasen bedöms utifrån informationen i föregående avsnitt inte sedimentera på botten inom ett avstånd på 20 km från projektområdet förutom på djup större än cirka 60–70 meter eftersom denna typ av material enligt ovan nämnda bottenkarteringen inte återfinns på bottenytan av grundare bottenar. Eftersom Finngrundens Natura 2000-områden är betydligt grundare än 60–70 meter kommer dessa inte att påverkas av någon pålagring av finkornigt sediment som potentiellt sett skulle kunna spridas från Najaderna i anläggningsfasen. Tjockleken av pålagring av lera och finsilt på botten djupare än 60–70 meter bedöms dock inte bli mätbar eftersom den totala volymen utsläppt borrhax främst består av grovkornigare material.

2.4.2 Pålagring av mellan- och grovsilt

På Östra banken återfinns enligt SGU:s kartmaterial² några områden med postglacial silt. Det närmaste av dessa ligger cirka 6,5 km ifrån Najadernas projektområde. Potentiellt sett skulle spridning av mellan- och grovsilt från Najaderna kunna sedimentera där, men som beräkningarna i avsnitt 2.1 visat kommer det inte ske någon mer betydande sedimenttransport från Najaderna till Östra banken på grund av hur strömmarna styrs bort av det grundare vattendjupet. Det mest finkorniga materialet i närområdet som ligger på grundare vatten än 50–60 meter är postglacial finsand. Detta indikerar att mer finkornigt material inte ackumuleras där. Följaktligen bedöms pålagring av mellan- och grovsilt (kornstorlekar <0,063 mm och >0,006 mm) endast ske inom de områden där pålagring av postglacial lera skett, det vill säga på djup större än 50–60 meter. Dessa djup förekommer i nordvästra delen av projektområdet samt strax väster och öster om projektområdet. Eftersom Finngrundens Natura 2000-områden är betydligt grundare än 50–60 meter kommer dessa inte att påverkas av någon pålagring av mellan- eller grovsilt som potentiellt sett skulle kunna spridas från Najaderna i anläggningsfasen. Merparten av detta

² SGU. (2024). *Bottenmaterial, dominerande översta metern*, 1:500000. SGUs kartvisare. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-maringeologi.html>. (2024-09-23)

material kommer istället att sedimentera inom projektområdet och i de djupare områdena omkring detsamma.

2.4.3 Pålagring av finsand och grovkornigare material

Pålagringen av finsand och grovkornigare material (kornstorlekar >0,063 mm) som följd av anläggningen av Najaderna kommer i princip att begränsas till projektområdet då spridningslängden av detta material är mindre än 200 meter (Bilaga C.3).

2.4.4 Kumulativ pålagring på havsbotten.

Om samma typ av fundament och anläggningsmetod som används i Najaderna även används i Olof Skötkonung, det vill säga enligt det *worst case* som antagits för Najaderna, bedöms pålagringen bli mycket lik den inom Najaderna. Finkornigare fraktioner kommer att sedimentera på djupare liggande bottnar och på större avstånd än grovkornigare fraktioner som kommer att sedimentera närmare utsläppsplatserna. Enligt beräkningar i Bilaga C.3 kan tjockleken av pålagring förväntas vara mindre än 1–2 mm på avstånd som är större än avståndet mellan två vindkraftverk. Eventuell mätbar kumulativ pålagring på havsbotten kan därför endast förväntas inom någon kilometer längs de båda vindkraftsparkernas gemensamma gräns.

Fyrskippet ligger på större avstånd från Najaderna och dessutom på andra sidan Östra banken. På grund av den begränsade spridningslängden av grovkornigt material och utspädningen av finkornigt material, bedöms det inte kunna uppstå någon mätbar kumulativa pålagring av sediment som sprids vid anläggning av Fyrskippet och Najaderna tillsammans.

3 Hydrografi

I detta avsnitt fokuseras på hur Finngrundens Natura 2000-områdena hydrografi kan komma att påverkas av Najaderna och två andra närliggande planerade vindkraftsparker. För att förtydliga vilken fråga som avses att besvaras inkluderas utklipp från Länsstyrelsen i Uppsala Läns begäran om komplettering.

Detta avsnitt syftar till att besvara begäran nr 31 gällande Natura 2000-ansökan och begäran nr 16 gällande SEZ-ansökan:

31. Beskriv och bedöm vindkraftparkens påverkan på hydrografen för Natura 2000-områdena Finngrunden Östra, Västra och Norra banken. Beskriv och bedöm särskilt vindkraftparkens kumulativa effekt på Natura 2000-området Finngrunden Östra banken tillsammans med vindkraftparken Fyrskippet och Olof Skötkonung.

Bakgrund

Havsbaserad vindkraft påverkar hydrografen nedströms vind- och strömriktningen, med effekter på bland annat förändrad salthalt, temperatur, skiktning, strömmar och isförhållanden. Det innebär också påverkan på exempelvis minskad regional uppblandning av näring till ytan, vågfält och resuspension. Påverkan har uppmätts till ca 30 km nedströms vindkraftparken (Kumulativa effekter på hydrografen från havsbaserad vindkraft, Arneborg m.fl. 2024). Vind- och strömriktningen i området varierar men vindriktningen är i medeltal främst från sydväst. Länsstyrelsen uppfattar därför att vindkraftparken Najaderna riskerar att påverka hydrografen i Natura 2000-områdena Finngrunden Östra, Västra och Norra banken. Ansökan behöver kompletteras med en beskrivning av denna påverkan samt en bedömning av dess effekt på utpekade naturtyper med ingående fysiska och ekologiska funktioner och typiska arter inom Natura 2000-områdena.

16. Beskriv och bedöm vindkraftparkens påverkan på hydrografen i projektområdet och de närbelägna Natura 2000-områdena. Beskriv och bedöm vindkraftparkens kumulativa påverkan på närbelägna Natura 2000-områden tillsammans med vindkraftparken Olof Skötkonung och Fyrskeppet.

Bakgrund

Havsbaserad vindkraft påverkar hydrografen nedströms vind- och strömriktningen, med effekter på bland annat förändrad salthalt, temperatur, skiktning, strömmar och isförhållanden. Det innebär också påverkan på exempelvis minskad regional uppblandning av näring till ytan, vågfält och resuspension. Påverkan har uppmätts till ca 30 km nedströms vindkraftparken (Kumulativa effekter på hydrografen från havsbaserad vindkraft, Arneborg m.fl. 2024). Vind- och strömriktningen i området varierar men vindriktningen är i medeltal främst från sydväst. Länsstyrelsen uppfattar därför att vindkraftparken Najaderna riskerar att påverka hydrografen i närbelägna Natura 2000-områdena vid Finngrundens, men även i ett stort område runt om vindkraftparken. Ansökan behöver kompletteras med en beskrivning av den påverkan samt en bedömning av dess effekt på rödlistade biotoper inom och omkring projektområdet samt Finngrundens Natura 2000-områden.

Vindkraftparkens kumulativa påverkan tillsammans med vindkraftparken Olof Skötkonung och Fyrskeppet på nordvästra sidan av Finngrundens Östra banken behöver även redovisas.

3.1 Najadernas hydrografiska påverkan på Finngrundens Natura 2000-områden

I Bilaga C.3 bedöms hur Najaderna lokalt och regionalt påverkar hydrografen. Detta avsnitt fokuserar därför i anledning av länsstyrelsens kompletteringsbegäran på påverkan på Natura 2000-områdena. Hydrografisk påverkan delas här upp i påverkan på strömmar/vattenomsättning, vågor och vertikal omblandning, vilket är vad som skulle kunna påverka vad som skyddas i Natura 2000-områdena.

3.1.1 Strömmar

Vindkraftverkens fundament och vindvaken påverkar strömmarna på olika sätt och på olika platser och diskuteras därför inledningsvis enskilt.

3.1.1.1 Påverkan av fundamenten

Djupet inom Natura 2000-områdena är till största delen mycket begränsat. Följaktligen är det främst vattenmassans oftast välombländade ytskikt som strömmar över bankarna. Strömmarna i detta skikt drivs av vind, vågor och den övergripande cirkulationen i Bottenhavet. Ytvattnet i sydvästra Bottenhavet rör sig i medeltal främst åt sydost på grund av corioliseffekten (se Bilaga C.3).

Vindkraftverkens fundament påverkar strömmarna genom att bromsa naturligt förekommande strömmar i vattenmassan. Strömmotståndet i det ytliga skiktet av vattenmassan utgör dock endast några promille av vindens drivkraft över projektområdet. Fundamenten bedöms därför inte påverka strömmarna i övre delen av vattenmassan, och därmed inte heller strömmarna över Natura 2000-områdena.

3.1.1.2 Påverkan av vindvaken

Najaderna ligger sydväst om Östra banken. De vanligaste vindriktningarna är sydvästliga, vilket innebär att Östra banken är det Natura 2000-område som oftast

kommer att påverkas av Najaderna. Enligt vindrosen (Figur 3-1) i Bilaga C.3 handlar det om cirka 25 % av tiden. Den största momentana påverkan, upp till cirka 10 %, bedöms ske 5–10 km i lä om vindkraftsparken, vilket ungefär omfattar den närmaste tredjedelen av Östra banken (sydvästliga delen). I övriga delar av Östra banken blir påverkan mindre. Den vinddrivna komponenten av ytströmmen bedöms lokalt och temporärt kunna minska med cirka 2–10 % över hela Östra banken. Norra och Västra banken kommer att påverkas av vindvaken under en mindre del av tiden eftersom sydliga och sydostliga vindar är mindre vanliga.

Slutsatsen i Bilaga C.3 är att den storskaliga cirkulationen i Bottenhavet inte bedöms kunna påverkas i någon mätbar utsträckning av Najadernas vindvak. Eftersom vattenomsättningen över Finngrundens bestäms av den storskaliga cirkulationen i Bottenviken och inte av lokala vindar samt att vindvaken inte permanent uppehåller sig över något av Natura 2000-områdena, bedöms Najadernas enskilda påverkan på vattenomsättningen i Natura 2000-områdena att vara obetydlig.

3.1.2 Vågor

Vindkraftverkens fundament och vindvaken samverkar till att reducera vågorna i lä om vindkraftsparken. Najaderna skulle potentiellt sett därför kunna påverka vågklimatet vid Finngrundens Natura 2000-områden vid sydliga och sydvästliga vindar vilket är den vanligaste vindriktningen. Vinddrivna vågor från syd och sydväst kommer enligt bedömningen i Bilaga C.3 bli omkring 5 % lägre.

Observerade våghöjder och våglängder vid SMHI:s boj Finngrundet WR visas i Bilaga C.3. De högsta, längsta vågorna och vanligaste vågorna rullar in från norr och sydost, trots att den vanligaste vindriktningen är sydvästlig. Anledningen till detta är sannolikt att stryklängderna i nordlig och sydostlig riktning är betydligt längre än stryklängderna i sydvästlig riktning, och längre stryklängder innebär att vågorna har mer tid på sig att byggas upp. Najadernas fundament och vindvak ligger aldrig i linje med dessa långa vågor och Natura 2000-områdena, och kommer följaktligen inte heller kunna påverka dem. Detta innebär att Najadernas påverkan på vågklimatet blir betydligt mindre än 5 % även om det blåser i ofördelaktiga vindriktningar.

Effekten av förändrade vågförhållanden bedöms endast vara relevanta på grunt vatten eftersom eventuell påverkan främst sker på botten. Vad som kan klassas som grunt vatten beror på våglängden, eftersom rörelser i ytvågor sträcker sig cirka en halv våglängd ner i vattenmassan. Detta betyder att de längsta vågorna kommer att ha störst inverkan på botten. Som redan nämnts visar mätdata att de längsta och vanligast förekommande vågorna rullar in från norr och sydost. Eftersom de längsta och vanligaste vågorna har störst påverkan på de grunda bankarna och dessa vågor inte kommer att påverkas av Najaderna, bedöms inte driften av Najaderna kunna leda till någon nämnbar förändring av hur botten inom Finngrundens Natura 2000-områden påverkas av vågor.

3.1.3 Omblandning

Finngrundens Natura 2000-områden består av grunt och öppet vatten, där omblandningen drivs av vågor och vind. I Bilaga C.3 sammanfattas att vindkraftsparken bedöms kunna ha en liten påverkan på omblandningen och skiktningen av vattenmassan. Fundamenten skapar ökad omblandning samtidigt som vindvaken främst skapar minskad omblandning. Nettoeffekten av mycket stora vindkraftsparker eller kluster av vindkraftsparker bedöms vara att temperaturskiktningen kan komma att byggas upp något tidigare på våren i det

område som mest frekvent påverkas av vindvakar. Det omvända skulle kunna ske på hösten. Detta skulle potentiellt sett kunna leda till en något starkare temperaturskiktning under den varma delen av året. Men eftersom vindvaken i lä om Najaderna ständigt flyttar på sig och vattenmassan över Östra banken ständigt byts ut på grund av den storskaliga cirkulationen i området, bedöms denna påverkan bli liten.

3.2 Kumulativ hydrografisk påverkan av planerade vindkraftsparkerna nära Finngrundens Natura 2000-områden

Om även de närliggande vindkraftsparkerna Olof Skötkonung och Fyrskeppet byggs kommer den hydrografiska påverkan på Natura 2000-områdena att bli större. Detta gäller framför allt för Östra banken som i princip kommer att vara påverkad vid alla vindriktningar utom vid västnordvästliga vindar, vilket innebär 85 % av tiden enligt vindstatistiken som visas i Bilaga C.3.

3.2.1 Strömmar

Liksom i fallet med Najaderna bedöms inte heller de andra vindparkernas fundament påverka de ytliga strömmarna över de grunda bankarna, och därför förväntas inte heller någon kumulativ effekt från vindparkernas fundament i detta avseende. Östra banken kommer däremot under större delen av tiden att påverkas av en vindvak från någon av vindkraftsparkerna. Den lokala vinddrivna komponenten av ytströmmen över Östra banken bedöms därmed kunna minska med 2–10 % under större delen av tiden. Som nämns i Bilaga C.3 innebär en reduktion av den vinddrivna delen av ytströmmen med 10 % vid en vanlig vindstyrka på exempelvis 7 m/s att ytströmmarna i vindvaken minskar med upp till ett par cm/s, från 0,21 till 0,19 cm/s. Dock bedöms vattenomsättningen över Östra banken fortfarande domineras av den storskaliga cirkulationen i Bottenhavet. De övriga två Natura 2000-områdena kommer att påverkas i mindre grad än Östra banken.

SMHI har nyligen publicerat en omfattande studie av hur ett antal havsbaserade vindkraftsparker i Östersjön påverkar hydrografen (Arneborg o.a. 2024) Denna studie bekräftar att förändringen av ytströmshastigheter i lä om havsbaserade vindkraftsparker även generellt sett är små, mindre än 2 cm/s.

3.2.2 Vågor

Fyrskeppets fundament och vindvak kommer främst att reducera de vågor som rullar in från nordost till Östra banken och från öster mot Norra och Västra banken. Fyrskeppet kommer däremot inte i något enskilt ögonblick att skapa någon kumulativ effekt för något av Finngrundens Natura 2000-områdena tillsammans med Najaderna, eftersom de är belägna på motsatta sidor om Natura 2000-områdena. Den kumulativa effekten av dessa båda vindkraftsparker ligger därmed i att våghöjden inom Natura 2000-områdena kommer att vara påverkade av någon av parkerna under större andel av tiden.

Olof Skötkonungs fundament och vindvak kan vid sydostliga vindar komma att bidra till en kumulativ effekt för Natura 2000-områdena tillsammans med Najaderna i form av bredare och/eller längre vindvak i vissa vindriktningar, eftersom de ligger på samma sida om Natura 2000-områdena. Men som nämnts ovan är det de längsta och vanligaste vågorna som har störst påverkan på de grunda bankarnas bottenar. Dessa vågor kommer inte att väsentligt påverkas av vindvaken i lä om vare sig Fyrskeppet,

Najaderna eller Olof Skötkonung, eftersom de kan förväntas vara fullt utvecklade på grund av den långa stryklängden i riktningarna nord och sydost.

Det är i varje ögonblick endast en mindre andel av de tre vindkraftsparkernas fundament som blockerar de vanligast förekommande vågorna i området relativt Natura 2000-områdena. Utifrån de studier som diskuteras i Bilaga C.3, exempelvis (Gandara & Harris, 2012), bedöms detta möjligen kunna leda till en förändring på mindre än 1 % med avseende på våghöjd. Våglängden bedöms påverkas i än mindre grad. Detta bedöms inte kunna förändra bottenförhållandena inom Finngrundens Natura 2000-områden.

3.2.3 Omblandning

Som nämns ovan är det främst omblandningen i ytskiktet som är relevant för Finngrundens Natura 2000-områden. I Bilaga C.3 diskuteras resultaten av studier av den kumulativa effekten på omblandning av kluster av vindkraftsparker i Nordsjön.

För kluster av vindkraftsparker har Daewel o.a. (Daewel, Akhtar, Christiansen, & Schrum, 2022) dragit slutsatsen att parkerna kan påverka primärproduktionen, minska omblandningsdjupet och leda till mer syrefattiga bottenar. Deras artikel hade till syfte att studera effekten av förändrade omblandningsförhållanden på primärproduktionen. De använder dock en ekosystemmodell som kopplats till en hydrodynamisk modell vars resultat kan användas för att ytterligare förstå omblandningen. Beroende på den dominerande vindriktningen minskade omblandningsdjupet med 1–2 meter och vertikala strömhastigheter förändrades med som mest ± 1 cm/s i olika områden relativt klustren av vindparker. De visar en förändrad primärproduktion på ± 10 % omkring kluster av vindkraftsparker i Nordsjön (total installerad effekt 120 GW). Sett över regionala skalor (hela Nordsjön, södra Nordsjön respektive Tyska Bukten) noterades dock endast reduktioner ner till -0,5 %. Inom klustren av vindkraftsparker noterades en större reduktion i primärproduktion, -1,2 %. Med andra ord tycks primärproduktionen framför allt påverkas genom att den lokalt omfördelas, vilket är kopplat till hur omblandningen omfördelas. I den modell som användes i studien försumrades fundamentens bidrag till omblandningen. Mer syrefattiga bottenar förklaras av en minskad återsuspension av organiskt material på grund av en, lokalt, upp till 10 % minskning av bottenstuvspänning till följd av minskad vind (vattnets skjuvkraft mot botten per ytenhet).

Som också nämnts ovan har SMHI nyligen publicerat en studie av hur ett antal befintliga och framförallt planerade havsbaserade vindkraftsparker i Östersjön och Kattegatt kumulativt påverkar hydrografen (Arneborg o.a. 2024). Rapporten bidrar med mycket värdefull information om hur en möjlig storskalig vindkraftsutbyggnad kan påverka Östersjöns, Kattegatts och Skageracks hydrografi och bygger på flera simuleringar över långa tidsperioder med olika indata. Studien inkluderar flera vindkraftsparker i närheten av Finngrundens. Den visar att om samtliga havsområden som Havs- och Vattenmyndigheten föreslår som lämpliga för vindkraft i Östersjön kommer att utnyttjas, kan detta leda till en minskad omblandning mellan yt- och bottenvatten vilket leder till en höjning av språngskiktet med uppemot 2,5 meter. Det sistnämnda kan ha påverkan på bottenar som idag ligger nära språngskiktet och särskilt i områden där språngskiktet är starkt och där det redan idag råder problem med syrefria bottenar, det vill säga främst i Egentliga Östersjön (söder om Åland och öster om de danska sunden).

Den minskade omblandningen som följd av vindvakarna i lä om vindkraftsparkerna har enligt SMHI en större påverkan än den ökade omblandningen kring

vindkraftsparkernas fundament. Detta kan generellt leda till något högre salthalter och något högre temperaturer under språngskiktet och nära botten. Även ytvattnet kan bli något saltare, dock i mindre utsträckning. I det mest extrema scenario som simulerats antas de atmosfäriska förhållandena vara stabila året runt, vilket sannolikt ger en överskattning av vindvakens effekt under vintermånaderna då det ofta råder instabila förhållanden. Resultaten av denna simulering indikerar salthaltsökningar uppemot 0,2 g/kg nära botten i de södra delarna av Östersjön och Kattegatt. Norr om Åland är skillnaden mindre än 0,1 g/kg. Detta kan dock kan tolkas som en relativt sett större skillnad eftersom salthalten i bottenvattnet generellt sett är lägre norr om Åland än i Östersjöns sydligare delar.

Även om den horisontella och vertikala upplösningen i SMHI:s modellering (3,7 km respektive 3 meter) är grov i förhållande till Finngrundens storlek, tycks påverkan där bli betydligt mindre än i omgivande vatten. Salthalten tycks i medeltal bli oförändrad. Bottentemperaturen kan i medeltal komma att minska med omkring 0,1 °C och yttemperaturen kan komma att öka med motsvarande. Om detta sker samtidigt blir temperaturskiktningen i ytvattnet något starkare, vilket ligger i linje med andra studier som redan diskuterats i Bilaga C.3 och ovan. Skillnaden kan sättas i relation till de naturliga variationer som beskrivs i Bilaga C.3. SMHI:s mätningar av ytvattentemperatur vid Finngrunden indikerar en variation i vattentemperatur över året mellan 1–2 °C upp till 17 °C. Standardavvikelsen av ytvattentemperatur under junimånader är ca 3 °C. Standardavvikelsen av de olika årens junimånadsmedelvärden är ca 1,5 °C.

Om både Fyrskeppet, Olof Skötkonung och Najaderna byggs kommer hela Östra banken och dess omgivningar att vara påverkade av en eller annan vindvak under större delen av tiden. Den vertikala omblandningen inom detta område kan då förväntas bli påverkad, speciellt under den varma delen av året. Detta bedöms kunna leda till att temperaturskiktningen byggs upp tidigare på våren och att den blir starkare i mitten av sommaren. I närliggande områden utanför Östra banken kan dock även motsatta effekter förväntas, beroende på vilken vindriktning som temporärt dominerar. Natura 2000-områdena Västra och Norra banken bedöms påverkas i mindre grad än Östra banken. På regional skala bedöms det främst bli fråga om en omfördelning av hur djupt språngskiktet ligger.

Pågående klimatförändringar bedöms på sikt påverka Bottenhavet betydligt mer än de kumulativa effekterna av vindkraftsparkerna. Vattentemperaturen kan i medeltal komma att bli flera grader varmare i ett framtida klimat. Detta kan i sin tur förväntas leda till kortare perioder av istäcke och därmed till en betydande ökning av vinddriven omblandning i vattenmassan under den kalla delen av året trots den kumulativa effekten av vindvakarna. I jämförelse med framtida temperaturökningar på grund av ett varmare klimat och naturliga variationer som råder redan idag, bedöms de närliggande vindkraftsparkernas påverkan på vattentemperaturerna vid Finngrundens Natura 2000-områden bli relativt liten. Ovan nämnda studie av SMHI diskuterar inte framtida förändringar i isförhållanden. I studien noteras dock att den ökade vattentemperaturen och salthalten i bottenvattnet som beräknas bli en kumulativ effekt av en storskalig vindkraftsutbyggnad är liten jämfört med de ökningarna som framtida klimatförändringar förväntas ge upphov till.

4 Referenser

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

EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2022). EMODnet Bathymetry Consortium;
<https://doi.org/10.12770/ff3aff8a-cff1-44a3-a2c8-1910bf109f85>

Arneborg, L., Pemberton, P., Grivault, N., Axell, L., Saraiva, S., Mulder, E. & Fredriksson, S. (2024). *Hydrographic effects in Swedish waters of future offshore wind power scenarios*. SMHI Report Oceanography 77.

Christiansen, N., Carpenter, J., Daewel, U., Suzuki, N., & Schrum, C. (2023). The large-scale impact of anthropogenic mixing by offshore wind turbine foundations in the shallow North Sea. *Frontiers in Marine Science*.

Daewel, U., Akhtar, N., Christiansen, N., & Schrum, C. (2022). Offshore wind farms are projected to impact primary production and bottom water deoxygenation in the North Sea. *Communications Earth Environment*(3:292).

Gandara, R., & Harris, J. M. (2012). Nearshore wave damping due to the effect on winds in response to offshore wind farms. *Coastal Engineering Proceedings No. 33*. doi:10.9753/icce.v33.waves.55

Lienhard, J. (1966). *Synopsis of lift, drag, and vortex frequency data for rigid circular cylinders*. Research Division, College of Engineering. Pullman, Washington, USA: Washington State University.

NIRAS (2023) Fältundersökningar inom vindpark Najaderna. NIRAS Sweden AB

NIRAS (2024) Kompletterande undersökningar i Najadernas projektområde