

2018:00582 - Åpen

Rapport

Innseiling til Borg havn – modellering av mudrings- og deponeringsoperasjoner

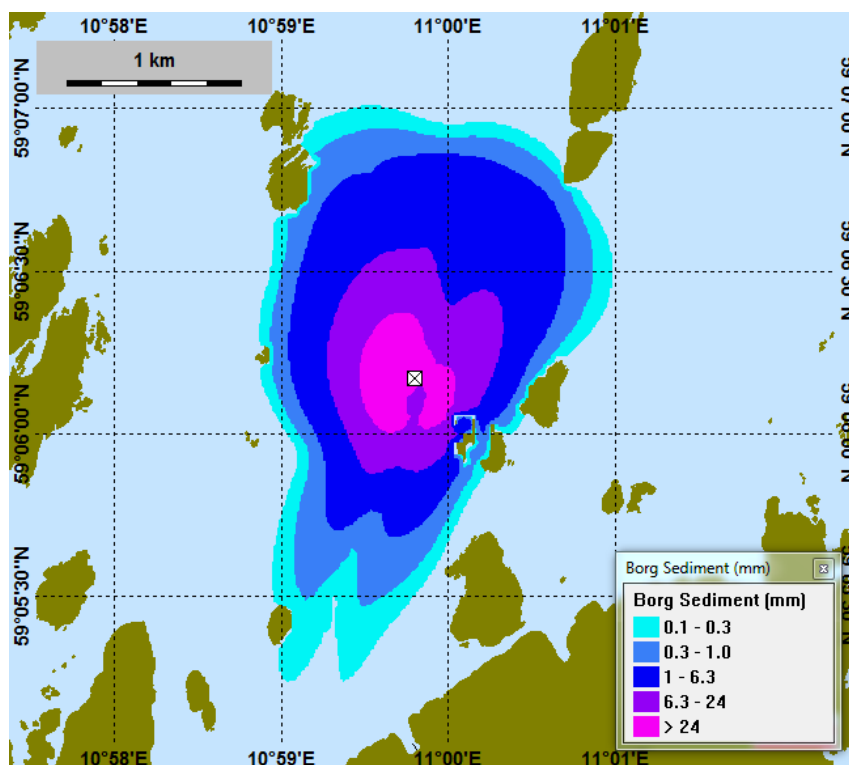
Spredning av finpartikulært materiale

Forfatter(e)

Ragnhild L. Daae

Jan Van 't Hoff (Van 't Hoff Consultancy)

Johan Pennekamp (Deltares)



SINTEF Ocean AS

Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 46415000Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Innseiling til Borg havn – modellering av mudrings- og deponeringsoperasjoner

Spredning av finpartikulært materiale

| RAPPORTNR | PROSJEKTNR | VERSJON | DATO |
|------------|------------|---------|------------|
| 2018:00582 | 302003662 | 1.0 | 2018-05-31 |

EMNEORD:Mudring
Konsentrasjon i vann
Sjødeponering
Partikkelmodellering
Finpartikulært materiale
DREAM**FORFATTER(E)**Ragnhild L. Daae (SINTEF Ocean AS)
Jan Van 't Hoff (Van 't Hoff Consultancy)
Johan Pennekamp (Deltares)**OPPDRAGSGIVER(E)**

Kystverket

OPPDRAGSGIVERS REF.

Eivind Edvardsen

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

164 inkl. vedlegg

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

ISBN

978-82-14-06864-1

SAMMENDRAG

Rapporten viser resultatene av en diagnostisk modellering av mudring og deponering ved en utdypning av innseilingen til Borg havn. I den pågående designfasen er det gjennomført modellering av turbiditet for å forutsi virkningen og omfanget av operasjonene. Turbiditetssimuleringene er gjort ved hjelp av SINTEFs partikkelbaserte DREAM-modell. DREAM-modellen bruker et detaljert datasett for strøm generert av SINTEFs numeriske 3D-modell SINMOD. Datasettet dekker de hydrodynamiske forholdene i innseilingen til Borg havn fra 1. april til 8. oktober 2013.

Borg havneområde inneholder både forurenset og ikke-forurenset sediment og stein. Basert på omfattende feltmålinger ble lokalitetene av de forskjellige bunnmaterialene bestemt for to usikkerhetsnivåer (konfidensintervall). På grunn av de sensitive forholdene i Borg havneområde og den planlagte store mudringen, ble egnede og validerte mudringsteknikker brukt i simuleringen. Turbiditetsverdier ble tatt fra internasjonal litteratur, felt- og laboratoriemålinger og tilpasset DREAM-modellen.

Forventede effekter er bestemt med et akseptabelt nøyaktighetsnivå. En indikasjon på innvirkningen på sårbare områder er gitt. Det er lagt vekt på at en god og miljørettet ledelse av mudringsarbeidene krever et grundig operativt overvåkingsprogram under utførelsen av arbeidene.

**UTARBEIDET AV**

Ragnhild L. Daae

KONTROLLERT AV

Jørgen Skancke

GODKJENT AV

Ute Brønner

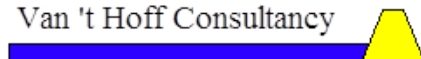
Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjeningsprosedyre og er sikret digitalt

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBESKRIVELSE |
|----------------|-------------|---|
| 1.0 | 2018-05-31 | Norsk utgave av engelsk rapport (versjon 4.0) |

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|-----------|
| Sammendrag | 6 |
| 1 Bakgrunn..... | 11 |
| 2 Mudrings- og deponeringsmetoder | 15 |
| 2.1 Mudring..... | 15 |
| 2.1.1 Mudringsteknikker Borg 1 | 15 |
| 2.1.2 Mudringsteknikker Borg 2 | 17 |
| 2.2 Deponering | 18 |
| 2.2.1 Land-deponi..... | 18 |
| 2.2.2 Sjødeponi..... | 18 |
| 3 Turbiditetskilder ved ulike mudringsfaser | 20 |
| 3.1 Validering av turbiditetskilder | 20 |
| 3.2 Ulike turbiditetskilder ved sugemudring ved Borg havn | 21 |
| 3.3 Ulike turbiditetskilder fra bakgraver ved Borg havn..... | 22 |
| 3.4 Ulike turbiditetskilder ved utslipp fra sugemudrere, lektene og diffusorer i Borg havn- prosjektet..... | 22 |
| 3.5 Karakteren til turbiditetskildene ved tidligere mudringskampanjer | 23 |
| 4 DREAM-modellen | 24 |
| 5 Modellert strømndata fra SINMOD | 27 |
| 6 Inngangsdata til modellen og modellresultater..... | 30 |
| 6.1 Betraktninger angående inngangsparametre til modellen..... | 30 |
| 6.2 Mudring av forurenset materiale med langtrekkende bakgraver (Borg 1) | 33 |
| 6.2.1 Volum av mudrede masser | 33 |
| 6.2.2 Modelloppsett | 33 |
| 6.2.3 Modellresultat | 33 |
| 6.3 Mudring av forurenset materiale med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 – Flyndregrunnen) | 37 |
| 6.3.1 Volum av mudrede masser | 37 |
| 6.3.2 Modelloppsett | 37 |
| 6.3.3 Modellresultat 80 % konfidensintervall | 37 |
| 6.3.4 Modellresultat 95 % konfidensintervall | 43 |
| 6.4 Mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire (Borg 1 og Borg 2) | 49 |
| 6.4.1 Volum av mudrede masser..... | 49 |
| 6.4.2 Modelloppsett | 49 |
| 6.4.3 Modellresultat 80 % konfidensintervall | 50 |
| 6.4.4 Modellresultat 95 % konfidensintervall | 57 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 6.5 | Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med grabb i wire | 64 |
| 6.5.1 | Volum av deponerte masser..... | 64 |
| 6.5.2 | Modelloppsett | 64 |
| 6.5.3 | Modellresultat Møkkalasset | 64 |
| 6.5.4 | Modellresultat Svaleskjær | 68 |
| 6.6 | Sugemudring med liten sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 | 72 |
| 6.6.1 | Volum av mudrede masser..... | 72 |
| 6.6.2 | Modelloppsett | 72 |
| 6.6.3 | Modellresultat for 80 % konfidensintervall..... | 72 |
| 6.6.4 | Modellresultat for 95 % konfidensintervall..... | 77 |
| 6.7 | Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med liten sugemudrer (Borg 1)..... | 81 |
| 6.7.1 | Volum av deponerte masser..... | 81 |
| 6.7.2 | Modelloppsett | 81 |
| 6.7.3 | Modellresultat Møkkalasset | 81 |
| 6.7.4 | Modellresultat Svaleskjær | 85 |
| 6.8 | Sugemudring med stor sugemudrer av ikke-forurenset materiale i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen)..... | 89 |
| 6.8.1 | Volum av mudrede masser..... | 89 |
| 6.8.2 | Modelloppsett | 89 |
| 6.8.3 | Modellresultat for 80 % konfidensintervall..... | 89 |
| 6.8.4 | Modellresultat for 95 % konfidensintervall..... | 95 |
| 6.9 | Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med stor sugemudrer (Borg 1) og Borg 2 (Flyndregrunnen and Belgebåen)..... | 102 |
| 6.9.1 | Volum av deponerte masser..... | 102 |
| 6.9.2 | Modelloppsett | 102 |
| 6.9.3 | Modellresultat Møkkalasset | 102 |
| 6.9.4 | Modellresultat Svaleskjær | 108 |
| 6.10 | Avsluttende bemerkning..... | 111 |
| 7 | Referanser..... | 112 |
| A | Mudringsvolum og inngangsdata til modelleringen | 115 |
| A.1 | Mudringsområder, Borg 1..... | 128 |
| B | Particle concentration in the water column..... | 129 |
| B.1 | Mudring av forurensete masser med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 – Flyndregrunnen) – 80 % konfidensintervall | 129 |
| B.2 | Mudring av forurensete masser med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 – Flyndregrunnen) – 95 % konfidensintervall | 135 |
| B.3 | Mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire (Borg 1 og Borg 2) – 80 % konfidensintervall | 143 |



| | | |
|-----|---|-----|
| B.4 | Mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire (Borg 1 og Borg 2) – 95 % konfidensintervall | 145 |
| B.5 | Sugemudring med liten sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 – 80 % konfidensintervall | 147 |
| B.6 | Sugemudring med liten sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 – 95 % konfidensintervall | 151 |
| B.7 | Sugemudring med stor sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen) – 80 % konfidensintervall..... | 154 |
| B.8 | Sugemudring med stor sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen) – 95 % konfidensintervall..... | 160 |

Sammendrag

Rapporten viser resultatene av en diagnostisk modellering av mudring og deponering ved en utdyping av innseilingen til Borg havn. I den pågående designfasen er det gjennomført modellering av turbiditet for å forutsi virkningen og omfanget av operasjonene. Turbiditetssimuleringene er gjort ved hjelp av SINTEFs partikkelbaserte DREAM-modell.

DREAM-modellen bruker et detaljert datasett for strøm generert av SINTEFs numeriske 3D-modell SINMOD. Datasettet dekker de hydrodynamiske forholdene i innseilingen til Borg havn fra 1. april til 8. oktober 2013 og inkluderer derfor de tidsavhengige variasjonene i Glommas vannføring, tidevannsstrømmer og barokline strømmer (strøm som er drevet av helning av tetthetsflater i vannet) samt atmosfæriske påvirkninger. Siden strømdatasettet kun dekker en periode på drøyt 6 måneder, har alle de ulike mudrings- og deponeringsscenariene blitt modellert separat. Dette betyr at det samme strømdatasettet har blitt brukt for alle simuleringene. Det understrekes at den faktiske totale tidsperioden for mudringen av innseilingen til Borg havn vil avhenge av metoder og tidsplan som utarbeides av den valgte operatøren.

Borg havneområde inneholder både forurenset og ikke-forurenset sediment og stein. Basert på omfattende feltmålinger ble lokalitetene av de forskjellige bunnmaterialene bestemt for to usikkerhetsnivåer (konfidensintervall) på 80 % og 95 %.

Basert på forholdene i Borg havneområde, sedimentundersøkelsen og formålet med mudringsarbeidet ble egnede og validerte mudringsteknikker brukt i simuleringen. Mudringsteknikkene ble valgt for å muliggjøre diagnostisk modellering, men valgene forutsetter ikke at det ikke kan være enda mer praktiske og "formålstjenlige" teknikker eller tenkelige operasjoner.

For turbiditetsmodelleringen ble kildeverdier tatt fra internasjonal litteratur, felt- og laboratoriemålinger. Disse kildene for turbiditet ble tilpasset DREAM-modellen. Dette betyr at bare den fine fraksjonen som er tilgjengelig for spredning fra mudrings- og deponeringsoperasjoner, ble modellert, ikke de store klumpene. Med denne tilnærmingen oppnås et akseptabelt nøyaktighetsnivå for å få en idé om hvilke turbiditetsnivåer man kan forvente fra mudringsoperasjonene, gitt det beste og riktige valget av mudringsteknikk. En indikasjon på innvirkningen på sensitive områder er gitt. Det er lagt vekt på at en god miljørettet ledelse av mudringsarbeidene krever et grundig operativt overvåkingsprogram under gjennomføringen av arbeidene.

Mudringsarbeidene har blitt modellert ved å dele operasjonene i følgende atskilte steg:

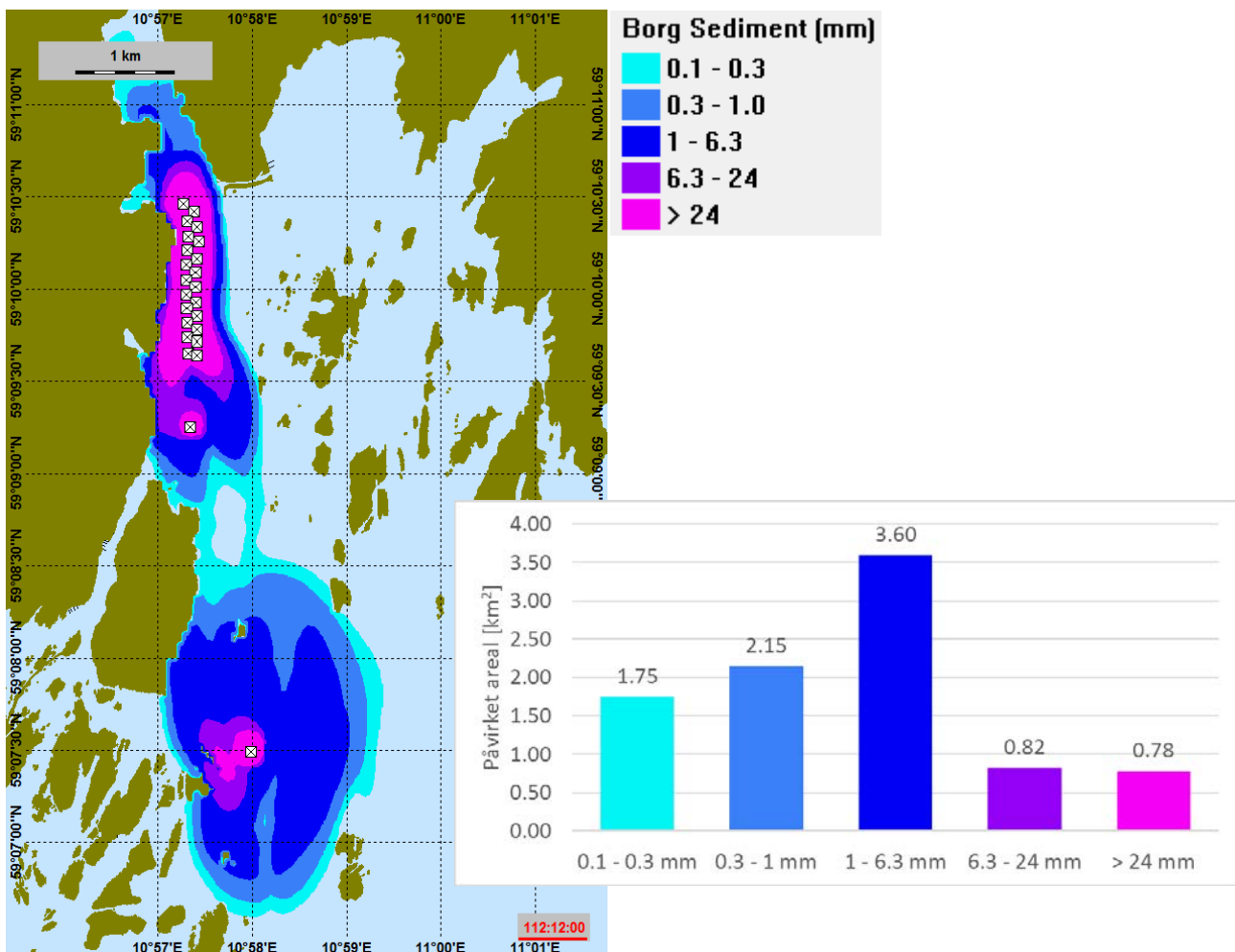
- Mudring av forurensete masser med langt-rekkende bakgraver i "snuplassen" (Borg 1)
- Mudring av forurensete masser med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 Flyndregrunnen)
- Mudring av ikke-forurensete masser med kran med grabb i wire (Borg 1 og Borg 2, Vestre Fugleskjærgrunnen, Tjeldholmsten, Lubbegrunden, Løperungen og Duken)
- Deponering av ikke-forurensete masser etter mudring med kran med grabb i wire gjennom et rør med diffusor (Møkkalasset og Svaleskjær)
- Mudring av ikke-forurensete masser med liten sugemudrer (Borg 1)
- Deponering av ikke-forurensete masser gjennom diffusor etter mudring med liten sugemudrer (Møkkalasset og Svaleskjær)
- Mudring av ikke-forurensete masser med stor sugemudrer (Borg 1 og Borg 1 Flyndregrunnen og Belgebåen)
- Deponering av ikke-forurensete masser gjennom diffusor etter mudring med stor sugemudrer (Møkkalasset og Svaleskjær)

Totale volum av mudret og deponert masse er gitt i Tabell 6.1 (gjengitt nedenfor).

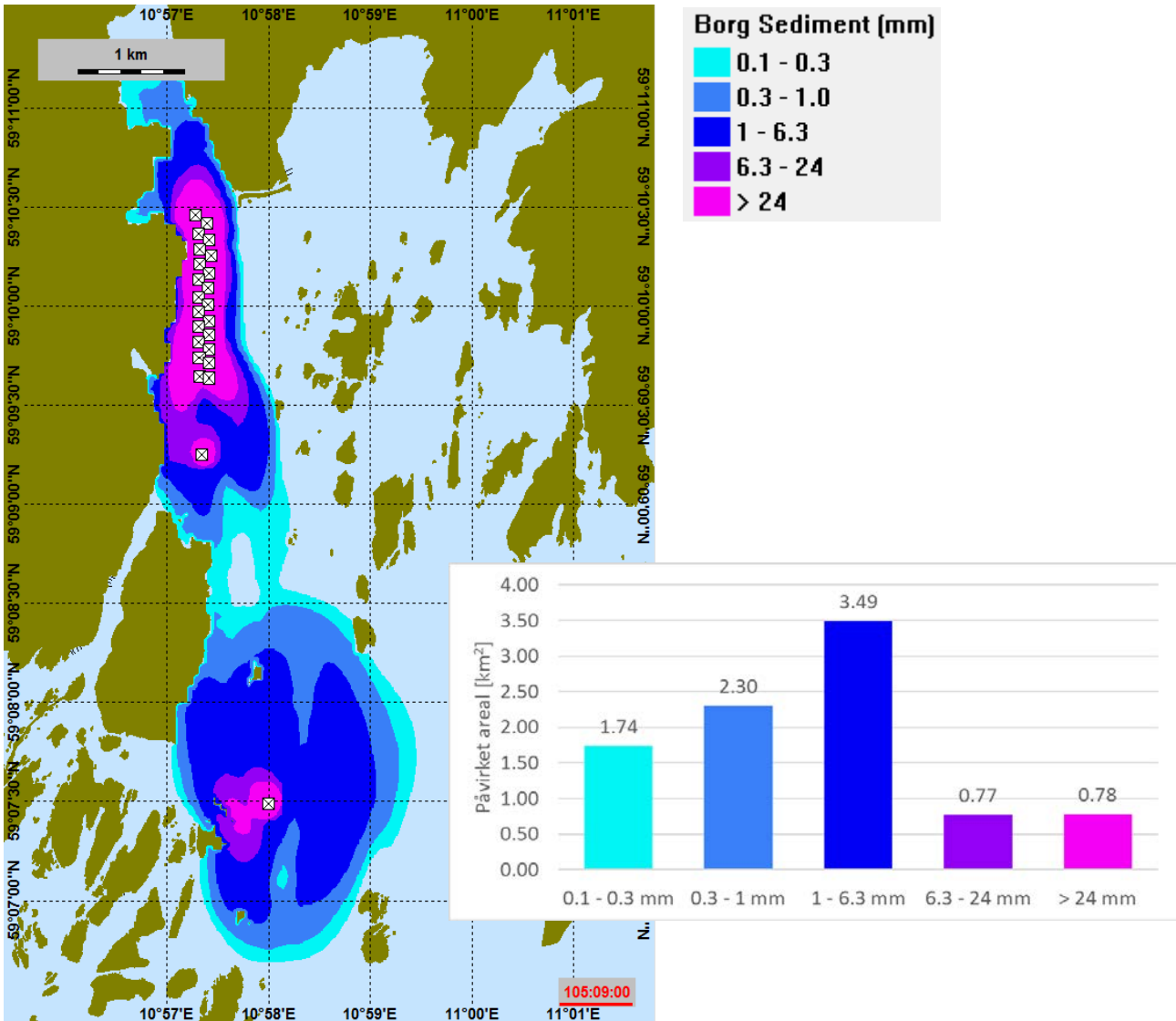
Tabell 6.1 Totalt mudret volum og volum tilgjengelig til spredning i vannsøylen.

| | Konfidensintervall | Mudret volum | Volum tilgjengelig for spredning |
|--|--------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Total mudret/deponert - forurenset masse | 80 % | 742 433 m ³ | 37 122 m ³ |
| | 95 % | 963 728 m ³ | 48 186 m ³ |
| Total mudret/deponert – ikke-forurensete masser | 80 % | 2 545 293 m ³ | 185 656 m ³ |
| | 95 % | 2 354 985 m ³ | 171 822 m ³ |
| Totalt volum mudret masse (inkludert over-mudring) og volum tilgjengelig til spredning | 80 % | 3 287 726 m ³ | 222 777 m ³ |
| | 95 % | 3 318 713 m ³ | 220 008 m ³ |

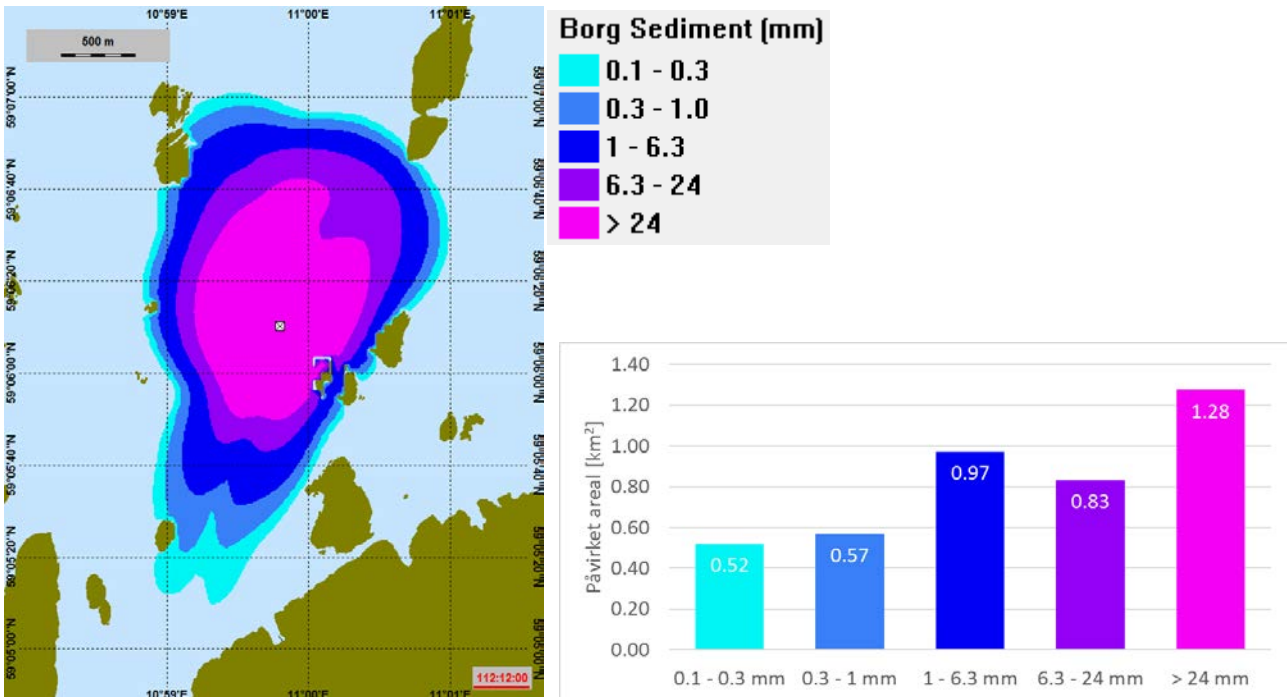
Alle scenarier unntatt mudring med langt-rekkende kran har blitt modellert for både 80 % og 95 % konfidensintervall. Dette er fordi at det første scenariet modellerer mudring av *hele* det forurensete topplaget ved grunne delen foran kaaien i Borg 1-området. Modelleringen har vist at det er svært liten forskjell mellom spredning av finpartikler i vannsøylen og deponering i sedimentet for 80 % og 95 % konfidensintervall (se for eksempel Figur 6.73 og Figur 6.80 (mudring) og Figur 6.87 og Figur 6.92 (deponering), gjengitt nedenfor).



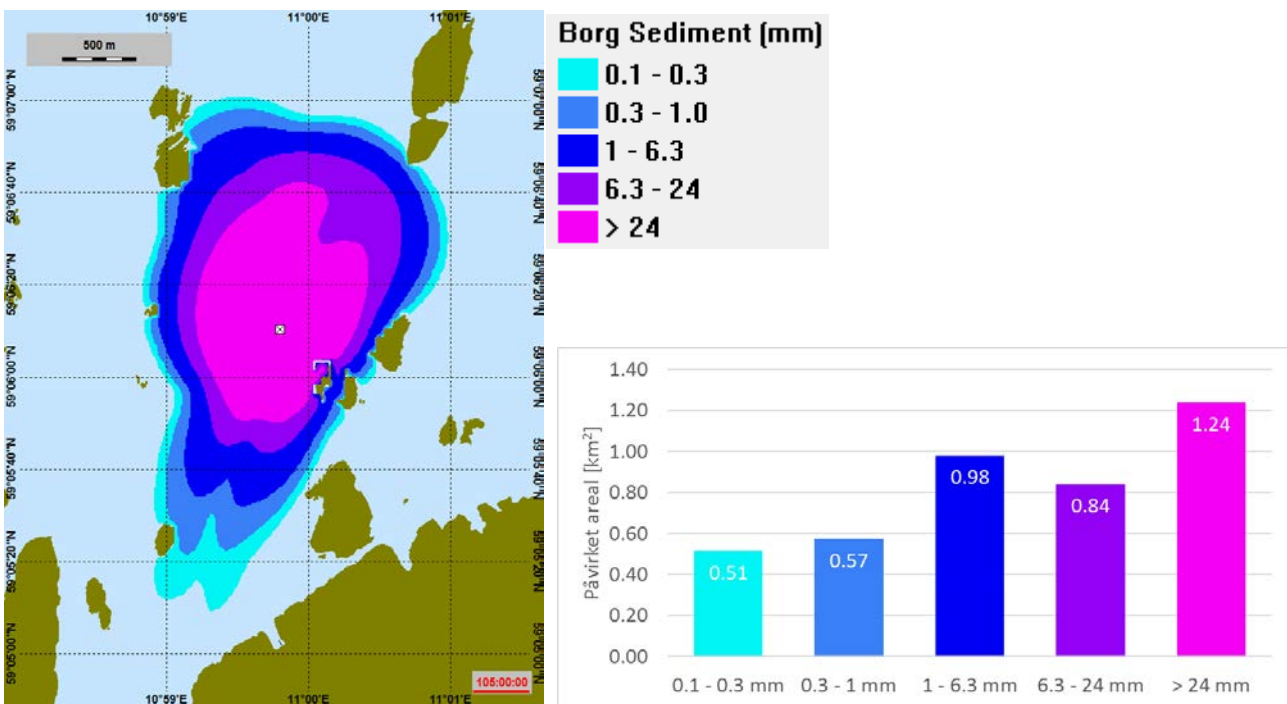
Figur 6.73 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med sugemudrer ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse, 80 % konfidensintervall. Det påvirkede arealet for hvert intervall er vist i diagrammet.



Figur 6.80 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med sugemudrer ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse, 95 % konfidensintervall. Det påvirkede arealet for hvert intervall er vist i diagrammet.

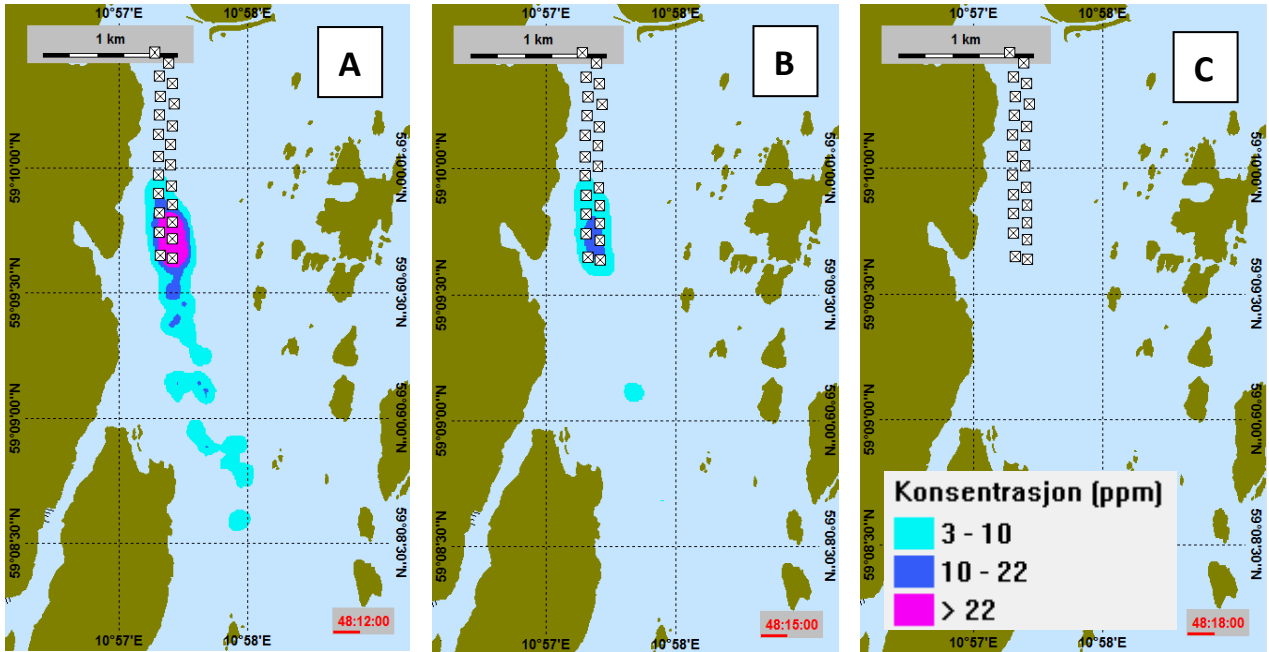


Figur 6.87 Sedimenttykkelse av finpartikler ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset (etter sugemudring med 80 % konfidensintervall ved Borg 1 og Borg 2. Utslipp av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Det påvirkede arealet for hvert intervall er vist i diagrammet.



Figur 6.92 Sedimenttykkelse av finpartikler ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset (etter sugemudring med 95 % konfidensintervall ved Borg 1 og Borg 2. Utslipp av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Det påvirkede arealet for hvert intervall er vist i diagrammet.

Spredningen av finpartikler i vannsøylen under mudringsoperasjonen varierer med strømforholdene. Men når mudringsoperasjonen er avsluttet (ref. Figur 6.28, gjengitt nedenfor), vil konsentrasjonen av finpartikler i vannsøylen raskt falle under terskelnivået på 3 ppm.



Figur 6.28 Konsentrasjon av finpartikler i vannsøylen ved A: slutten av mudringsoperasjonen, B: 3 timer etter, og C: 6 timer etter at mudringsoperasjonen er avsluttet.

1 Bakgrunn

Kystverket planlegger å forbedre hovedledene inn til Glomma ved Røsvikrenna ved å mudre området. Planen er å utvide og utdype leden fordi dette er en smal og grunn del av innseilingen til Fredrikstad og Sarpsborg. Kart over Borg 1 og 2 mudringsområder er gitt i Figur 1.1 - Figur 1.3.

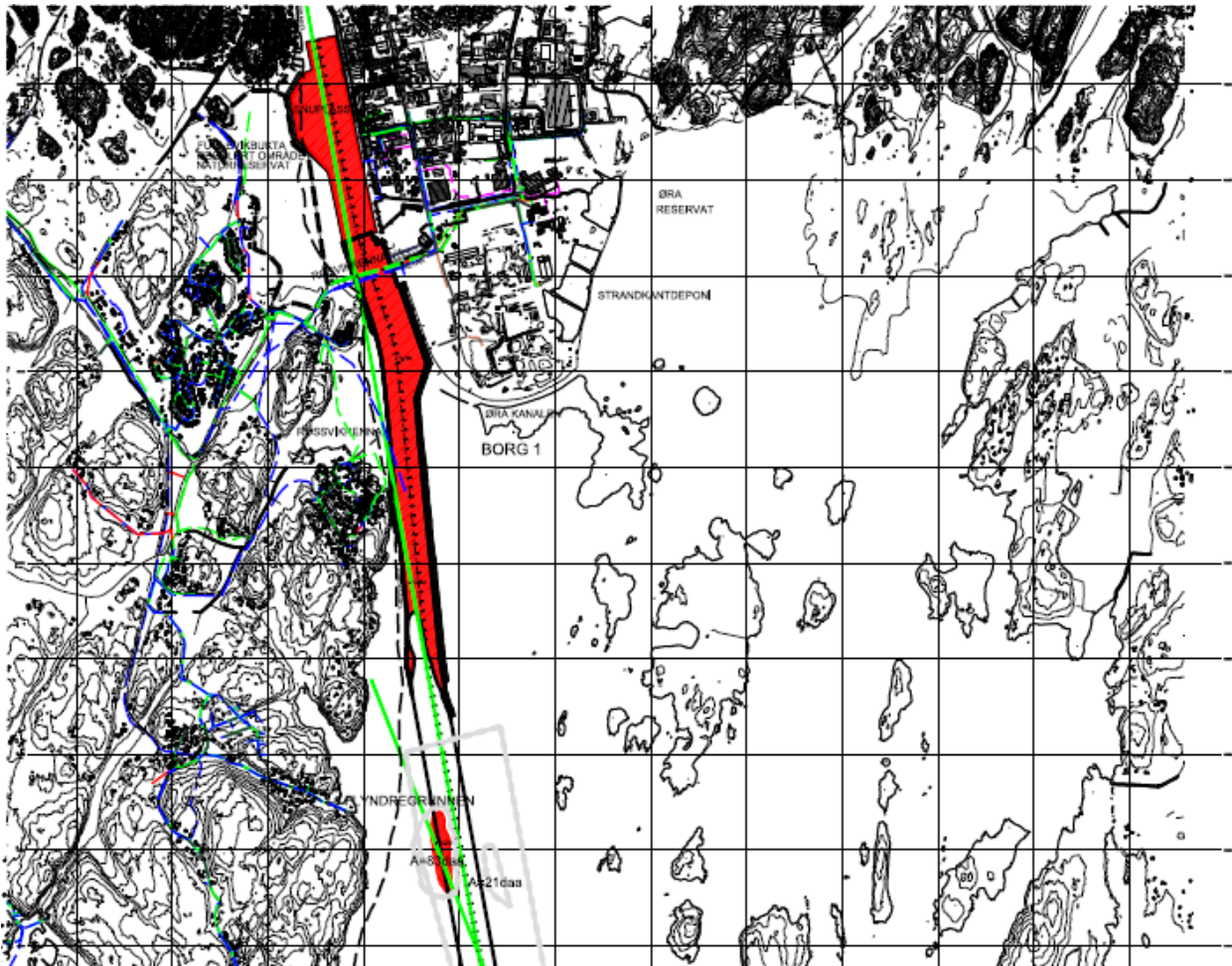
Modellering av mudrings- og deponeringsoperasjoner er tidligere presentert i Brørs og Rye, 2007; Daae m.fl., 2012; Daae og Skancke, 2015 og Daae og Skancke, 2016:

- I Brørs og Rye (2007) var hovedfokus på mudring med bakgraver av forurensede masser i Røsvikrenna, deponering av forurensede masser (gjennom et diffusorrør) og deponering av ikke-forurensede masser (splitt-lekter) på avfallsdeponiet vest av Belgen.
- I Daae m.fl. (2012) var det fokus på deponeringsoperasjoner ved Møkkalasset og Svaleskjær. Modellen dekket bare 10 % av totale forventet periode. Ulike deponeringsalternativer ble studert, og modelleringen viste at ved å bruke et rør og deponere på 30 m dybde, så reduserte man spredningen betydelig.
- Før man begynte modelleringen beskrevet i Daae og Skancke (2015), ble det erkjent at fagkunnskap om mudrings- og deponeringsoperasjoner ville være til stor nytte for modellarbeidet. Deltares og Van 't Hoff Consultancy ble dermed tatt med i prosjektet for å bidra med denne kunnskapen. Modelleringen i denne rapporten fokuserte på mudring med bakgraver av forurensede masser ved Borg 1 og 2, sugemudring av ikke-forurensede masser og deponering ved bruk av enten splitt-lekter eller gjennom rør ved Møkkalasset og Svaleskjær.
- Daae og Skancke (2016) gir nye resultater fra modelleringen av de samme scenariene som året før, bare med oppdaterte mengder som skal mudres.

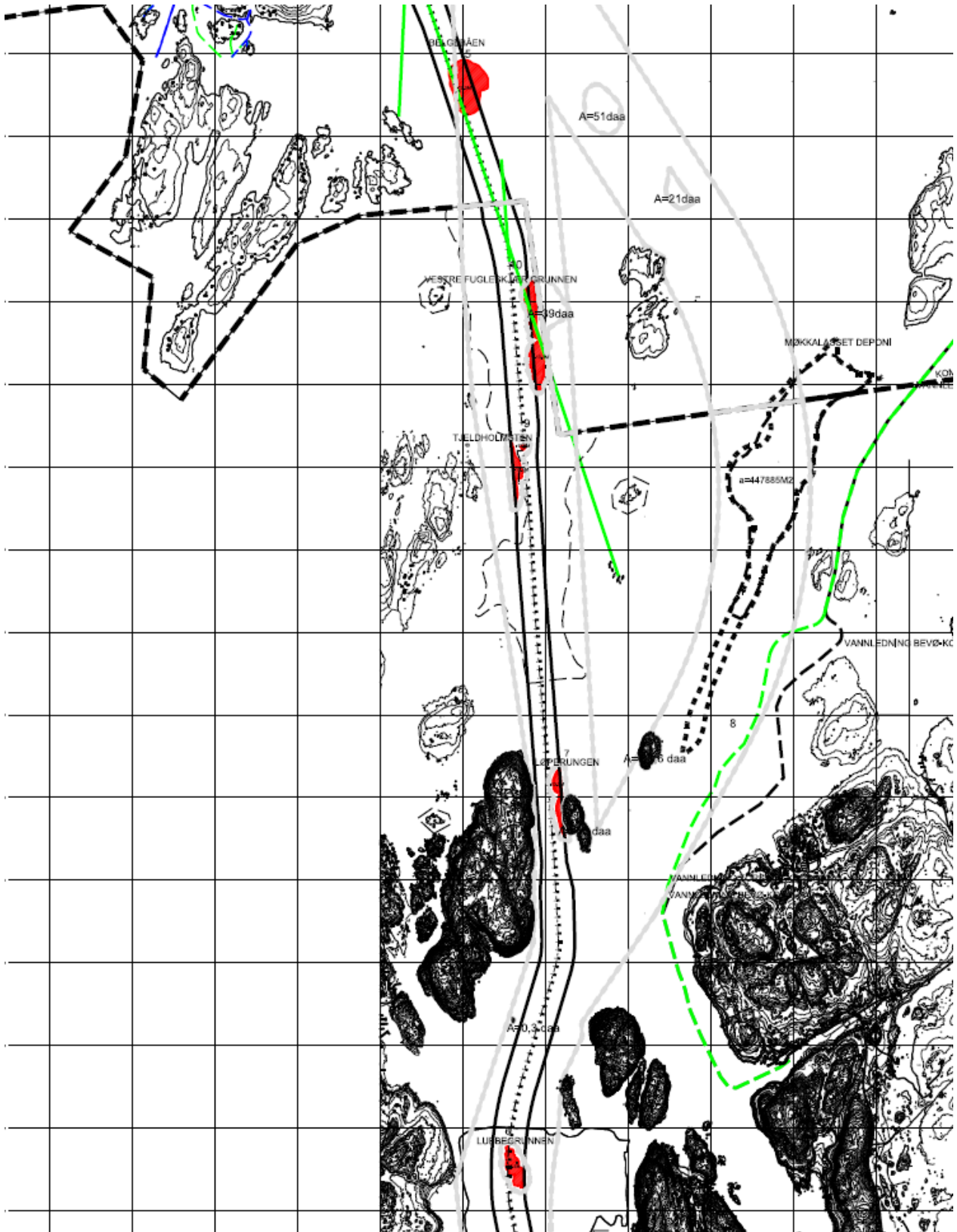
Modellen som presenteres i denne rapporten, er basert på arbeidet i Daae og Skancke (2015) med oppdaterte mengder med forurensede og ikke-forurensede masser som skal mudres (ved Borg 1 og Flyndregrunnen), samt nye mudringsteknikker.

Kun deponering gjennom rør er vurdert i denne rapporten.

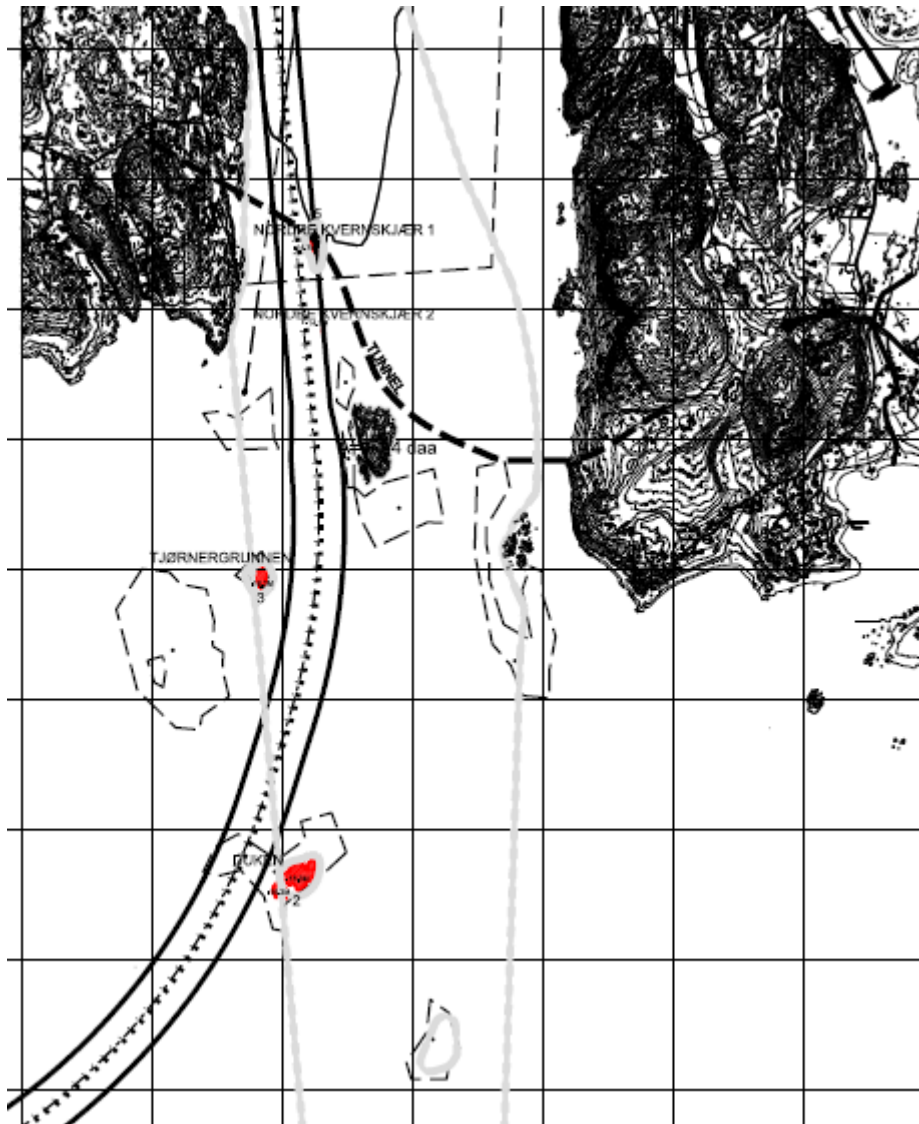
I forbindelse med studiene til dette arbeidet har Deltares og Van 't Hoff Consultancy gitt råd om mudrings- og deponeringsmetoder for de ulike områdene. SINTEF Ocean AS har bidratt med modellering av spredning og deponering av sedimenter ved mudrings- og deponeringsoperasjoner. Simuleringene har blitt utført for å gi en forutsigelse om deponering av sedimenter og gi en oversikt over de miljømessige effektene av disse operasjonene.



Figur 1.1 Mudringsområde Borg 1 (Røsvikrenna) og Flyndregrunnen ved Borg 2.



Figur 1.2 Borg 2 mudringsområder (Belgebåen, Vestre Fugleskjærgrunnen, Tjeldholmsten, Løperungen og Lubbegrunnen).



Figur 1.3 Borg 2 mudringsområder (Tjørnergrunnen og Duken).

Volumene som skal mudres består av ikke-forurensede og forurensede masser. Volumet av forurensede masser er beregnet med et konfidensintervall på 80 % og 95 %. Jo høyere konfidensintervall av forurensede masser som skal fjernes, jo høyere mengde forurensede masser skal behandles, og desto mindre volum av masser som anses å være forurenset deponeres i sjødeponi. Forurensede masser skal deponeres i et landdeponi, og ikke-forurensede masser skal deponeres i et sjødeponi.

Sjødeponiene ligger øst for innseilingen til havneområdet. Deponiene er Møkkalasset med et lagringsvolum på ca. 2,4 millioner m³ og Svaleskjær med et lagringsvolum på 0,8 millioner m³. Disse lokalitetene består av fordypninger ned til -50 til -60 m. Med et fyllingsnivå opp til -45 m, tilsvarer det et fyllingsdyp på opptil 15 m.

Med hensyn til konfidensintervallet av beregnet volum av forurensede masser, er mudringsvolumene følgende:

- Borg 1 (Røsvikrenna): Det totale mudringsvolumet er ca. 2,2 millioner *in situ* m³ av myk leire, silt og sand, sand, hvorav ca. 570 000 *in situ* m³ er forurenset ved et konfidensintervall på 80 % og 760 000 m³ er forurenset ved et konfidensintervall på 95 %.

- Borg 2 (ytre farled): Mudringsvolumet er 510 000 *in situ* m³ sand og grus, hvorav 39 000 *in situ* m³ er forurenset ved et konfidensintervall på 80 % og 42 000 m³ er forurenset ved et konfidensintervall på 95 %. 250 000 *in situ* m³ er stein.

Det totale volumet som skal mudres er 2,7 millioner *in situ* m³ hvorav 610 000 *in situ* m³ er forurenset ved et konfidensintervall på 80 % og 800 000 *in situ* m³ ved et konfidensintervall på 95 %. Disse volumene er netto volumer.

Volumet av forurenset masse (ved både 80 % og 95 % konfidensintervall) påplusses en usikkerhetsfaktor på 10 % på grunn av de praktiske begrensningene i å mudre nøyaktig langs konturlinjene for de forurensete massene og 10 % tillegg til det maksimale arealet for å anslå et volum for denne overmudringen som skal sikre at alle forurensete masser fjernes. Volumet for overmudringen avhenger av typen mudringsutstyr som benyttes. Dette vil ikke være kjent før kontrakt med entreprenør er inngått og må derfor anslås med usikkerhetsfaktorer. Nettovolumet som skal mudres må også påplusses et overmudringsdyp som sikrer at nødvendig vanddyp er garantert overalt. For bakgraver er det samlet inkludert en midlere overmudring på 0,25 m og for sugemudrer 0,5 m.

Normalt legges 30 cm til plandybden (teoretisk, minimum sjødybde). Dette er gjort for å ta høyde for usikkerhet i dybdemålingene og unøyaktighet i måleutstyret som brukes under mudring, etc. Det antas imidlertid at nøyaktige målinger gjennomføres under hele operasjonen, og derfor er metoden beskrevet i forrige avsnitt, benyttet i den nåværende studien i stedet.

2 Mudrings- og deponeringsmetoder

2.1 Mudring

Med bakgrunn i det forestående mudringsarbeidet ble et sett av aktuelle mudringsmetoder valgt som grunnlag for nærmere vurdering. De arbeidsmetodene som er foreslått i dette dokumentet må derfor betraktes som et praktisk beste valg for å simulere mudringsprosessen. Ved en realisering av prosjektet vil imidlertid entreprenøren kunne foreslå alternative arbeidsmetoder basert på miljømessige vurderinger i mudringsarbeidet ut fra egne, miljømessige, økonomiske eller tekniske grunner.

Entreprenøren kan for eksempel bruke en sugemudrer med mindre trekkraft enn det som er valgt for denne undersøkelsen, noe som kan påvirke volumene som skal mudres av bakgraver. Eller entreprenøren kan velge en gravemaskin med høyere mudringskapasitet enn det som er brukt i de underliggende beregningene for denne rapporten.

De neste avsnittene beskriver mudringsscenarier som vurderes i denne rapporten.

2.1.1 Mudringsteknikker Borg 1

- Mudring av forurensete masser:
 - Langtrekkende bakgraver på flottør for å fjerne det forurensete topplaget i "snuplassen". Massene lastes i en langsliggende leker og losses med hydrauliske kraner for plassering i et land-deponi.
 - Én eller to bakgravere på flottører for mudring av forurensete masser. Massene lastes i en langsliggende leker og losses med hydrauliske kraner for plassering i et land-deponi.



Figur 2.1 Bilde av mudring med en typisk bakgraver.

- Mudring av ikke-forurensede masser:
 - o Mudring med kran med grabb i wire ned til minus 4.5 m (ref. sjøkartnull) i "snuplassen" og en kanal av ikke-forurensede masser. Massene slippes ut i et sjødeponi gjennom fallrøret med diffusorsystem.



Figur 2.2 Bilde av mudring med en typisk kran med grabb i wire.

- o Mudring mellom 4.5 m dyp og 7 m dyp (ref. sjøkartnull) med en liten sugemudrer etterfulgt av utslipp av mudringsmasser i et sjødeponi gjennom et fallrør med diffusorsystem.
- o Mudring dypere enn 7 m med en middels sugemudrer etterfulgt av utslipp av mudringsmasser i et sjødeponi gjennom et fallrør med diffusorsystem.



Figur 2.3 Bilde av mudring med en typisk sugemudrer.

2.1.2 Mudringsteknikker Borg 2

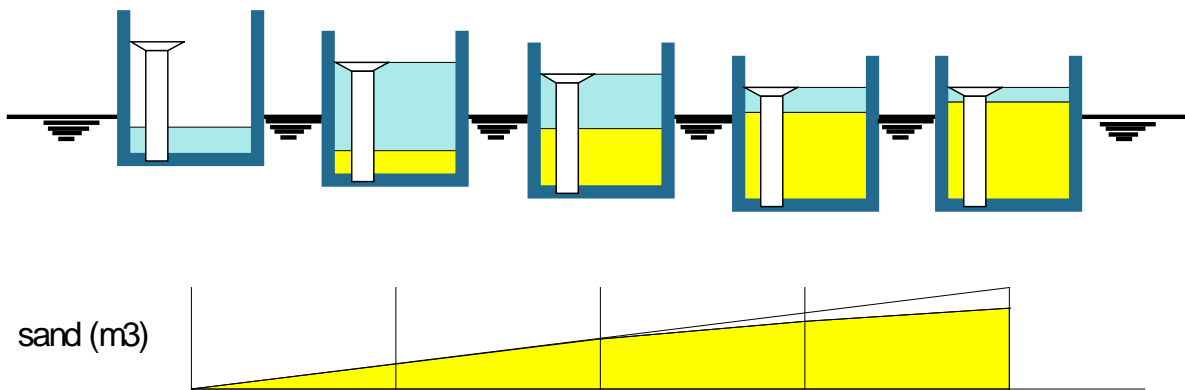
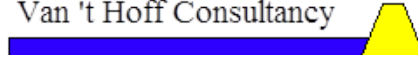
- Mudring av forurenset materiale:
 - o Mudring med bakgraver av forurenset materiale på Flyndregrunnen. Massene losses av hydrauliske kraner for deponering i et land-deponi.
- Mudring av ikke-forurensede masser:
 - o Mudring med wire kran på Flyndregrunnen og utslipp i et sjødeponi gjennom et fallrør med diffusorsystem.
 - o Mudring på Flyndregrunnen og Belgebåen med en middels sugemudrer, etterfulgt av utslipp av muddermasser i et sjødeponi gjennom et fallrør med diffusorsystem.

Bruken av diffusor er forklart i avsnitt 2.2.2.

Det er vanlig praksis innen mudringsindustrien å jobbe 24 timer i døgnet 7 dager i uka. Disse arbeidstidene brukes også til turbiditetsmodellering i denne studien.

Overløp når du mudrer med en sugemudrer

For optimal mudringsoperasjon er virkemåten til en sugemudrer slik at prosessvannet strømmer over bord gjennom overløpssøyla. Dette prosessvannet vil inneholde finpartikler. Finstoff som er innfelt i grovere materialer forblir i sisterna på sugemudreren. Overløp starter når sisterna er fylt opp til overløpsnivået, se Figur 2.4.



Figur 2.4 Prinsipp for overløp når sisterna på en sugemudrer fylles med sand.

Ved mudring av silt, eller lett-fortynnet leire, er bruken av overløp mindre effektiv fordi de fleste av de faste stoffene vil vaskes overbord med prosessvannet. Av miljømessige grunner må det unngås å vaske suspendert materiale ut i den omgivende vannsøylen som følge av mudringsoperasjonen, spesielt når det er forurenset.

Det sies at overløp fra sisterna er ansvarlig for størstedelen av den turbiditeten som skapes ved mudring. For å begrense turbiditeten i vannsøylen, skal overløp fra sisterna ikke tillates ved mudring av fin leire. Dette innebærer at etter deponering fra sugemudreren, skal ikke sisterna fylles med vann, noe som normalt er tilfelle, men mudringen fortsetter med ei tom sisterne som kun er fylt med litt rester av prosessvann. Følgelig skal ikke turbiditet oppstå som følge av overløp fra sisterna. En begrenset turbiditetsproduksjon på grunn av denne arbeidsmetoden med sugemudring skal derfor være avgrenset til området rundt sugehodet på sjøbunnen.

På grunn av de sårbare områdene i nærheten av mudringsstedene for dette prosjektet, er det ikke tillatt at sisterna oversvømmes under sugemudring for å holde spredningen på et minimum.

2.2 Deponering

2.2.1 Land-deponi

For utslipp av forurensete masser er det ennå ikke definert et land-deponi. Mekanisk mudret masse har liten volumfaktor sammenlignet med hydraulisk mudring. For leire er konsistensen generelt ikke påvirket. For å pumpe leire, må den fortynnes og følgelig må det overfløydige bli drenert igjen. På grunn av dette er det å losse muddermassene fra lekter til land-deponi området planlagt med bakgraver og landtransporte er planlagt med dumper truck.

2.2.2 Sjødeponi

Sugemudrer

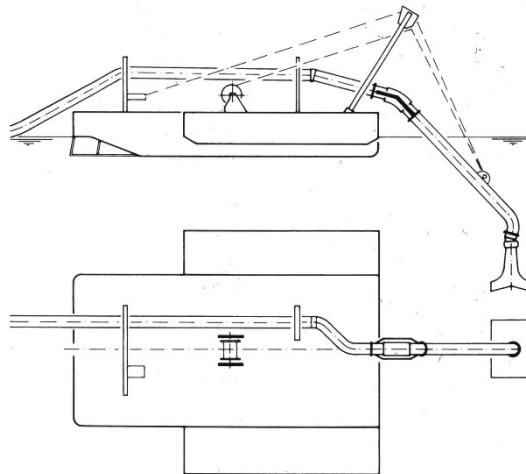
For sugemudrer kan tre metoder for lossing defineres:

- Utslipp gjennom bunndører eller ventiler: Dører eller ventiler i bunnen kan åpnes for utslipp på dypt vann. Lasten forlater fartøyet i en samlet enhet.
- Utslipp ved "rainbowing": Denne metoden brukes til landvinning når vanddybden ikke er tilstrekkelig til å manøvrere fartøyet over området som skal gjenvinnes, men det kan plasseres ved siden av området.
- Utslipp ved rørledning: Denne utslippsmåten brukes til landvinning når fartøyet ikke kan plasseres ved siden av gjenvinningsområdet, men utslippsavstanden kan overvinnes ved en rørledning over land.

Foruten disse vanlige metodene, kan utslipp gjennom innsugingsrøret brukes som et alternativ for utslipp på dypt vann gjennom bunndørene eller -ventilene. Målet med slike utslipp er å begrense turbiditeten i den omgivende vannsøylen forårsaket av spredte sedimenter. For å redusere utslippshastigheten er sugeslangens ende forsynt med en diffusor, se Figur 2.5. Denne metoden vurderes i denne studien.



Diffusor kommer opp av vannet



opp ned

Figur 2.5 Eksempel på diffusorer.

I Vedlegg A, finner man de relevante parameterne for turbiditetsmodellering og en oppsummering av antatte volumer for 80 og 95 % konfidensintervall for forurensede masser.

Områdene A, B, C og D som det henvises til i disse tabellene, finnes i vedlegg A.1.

3 Turbiditetskilder ved ulike mudringsfaser

3.1 Validering av turbiditetskilder

Verdiene til de ulike turbiditetskildene som er beskrevet i denne rapporten er de mest sannsynlige estimatene basert på erfaring og empiriske data. Disse erfaringene er overført til de ulike mudringsoperasjonene som er valgt for de ulike operasjonene i Borg 1 og 2.

Det bemerkes at disse verdiene ikke er et resultat av deterministisk og presis matematikk. Følgelig vil det være en viss variasjon. Dette gir opphav til store usikkerhetsfaktorer, men er likevel den beste tilgjengelige metoden å gå videre med.

Kunnskap og erfaring fra bruk av aktuell mudringsteknikk og dennes påvirkning av vannets turbiditet generelt er anvendt på modellering av mudringen i Borg havn-prosjektet ved bruk av dokumentasjon fra en stor mengde turbiditetsmålinger som ble gjennomført i Nederland i løpet av 1980-tallet og 1990-tallet. Disse målingene er offentlig tilgjengelige i Pennekamp m.fl., (1996). Senere har det blitt utført flere turbiditetsmålinger under sugemudring i Storbritannia og Australia (Becker m.fl., 2015). I tillegg har litteratur om mudring-indusert turbiditet fra USA og Sverige blitt konsultert (Anchor, 2003; Collins, 1995; DHI, 2015; Gordon, 1974; Schroeder, 2009; Truitt, 1988; U.S.ACE, 2015).

Mudring forårsaker nesten alltid resuspensjon av mudret materiale. Utstrekningen dette skjer i avhenger ikke bare av den brukte mudringsteknikken, men påvirkes også av samspillet mellom følgende tre faktorer som definerer den faktiske turbiditetskilden under mudring:

- Mudreteknikk:
 - o Utgravningsmetoden (mekanisk, hydraulisk eller en kombinert metode); måten vertikal og horisontal transport av mudret materiale blir utført på.
 - o Utslippsmetoden; måten mudringsaktivitetene faktisk utføres på, det vil si operasjonelle innstillinger som hvilken type mudringsapparat, størrelse, produksjonshastighet og mudringsmetode som er valgt.
- Sediment:
 - o Spesielt følsomheten til det mudrede materialet for resuspensjon og innblanding, det vil si hvor lett det mudrede sedimentet vil bli resuspendert eller innblandet i vannsøylen. Dette styres av partikkelstørrelsesfordeling, vanninnhold, kohesiv styrke, tetthet, innhold av organisk materiale og skrot.
- Vann og bunnforhold:
 - o Karakteristikkene til overflatevannet og mudringsstedet, med aspekter som: vanndybde og den hydrodynamiske situasjonen (for eksempel bølgeaktivitet, strømhastighet, saltinnhold, temperatur, lagdeling, tidevann, bakgrunnskonsentrasjoner, etc).
 - o Bunnforholdene på mudringsstedet; tilstedeværelse av ulike strukturer.

Oversikten over viser at det ikke finnes noen perfekt deterministisk måte å forutsi en sikker verdi for turbiditeten. For eksempel, det første kulepunktet som omhandler mudringsteknikken: Erfaring viser at måten mudringsaktiviteten faktisk utføres på har stor betydning for den genererte turbiditeten. En dårlig innstilling/utførelse kan øke turbiditeten kraftig, mens nøyaktig den samme teknikken med riktig innstilling/utførelse som er tilpasset den spesifikke mudringslokaliteten kan minimere turbiditeten. Derfor må turbiditetsstyring under mudring alltid inneholde et operativt overvåkingsprogram, og da spesielt i nærheten av sårbare områder.

Det er viktig å kombinere de ovenfor nevnte momentene når man skal forsøke å gi et best mulig estimat av turbiditeten som vil bli satt opp av mudringsoperasjonene. Dette er basert på erfaringer og empiriske data fra tilsvarende mudringsoperasjoner.

Det første kulepunktet (påvirkning av mudringsteknikk) er basert på erfaring og empiriske resultater. Valget av mudringsteknikker (bakgraver, sugemudrer) er et resultat av dette. Det er benyttet erfaringer fra tidligere prosesser ved å bruke det beste tilgjengelige, målfokuserte og operative oppsettet.

Det andre kulepunktet (påvirkning av sedimentet) er basert på resultatene av den omfattende prøvetakingen og testingen av sjøbunnen som har vært utført. Erfaring og resultater fra turbiditetsmålinger som er gjort i forbindelse med mudringsoperasjoner gjennom de siste tre tiårene i Nederland, England og Australia (Becker m.fl., 2015) har blitt benyttet for disse vurderingene.

For det tredje kulepunktet (påvirkning av vannsituasjonen) benyttes en numerisk partikkelspredningsmodell som den beste tilgjengelige løsningen for modellering av spredning under mudringsoperasjoner.

Totalt sett bør disse tre kulepunktene, med sine spesifikke variasjoner i delvis avhengige prosesser, ende i en felles overordnet prosess.

3.2 Ulike turbiditetskilder ved sugemudring ved Borg havn

Mudringsaktiviteten til en sugemudrer innebærer forskjellige kilder som kan forårsake resuspensjon av mudret materiale. Det er fastslått at overløpsfasen i lastesyklusen er den største kilden til turbiditet (overstrømmingen, som skjer på slutten av lastesyklusen, har til hensikt å øke nyttelastet til sisterna). Dette er vanligvis ansvarlig for ca. 75 % av turbiditetskilden. Derfor kan ikke overstrømming tillates, og da spesielt ikke ved mudring av forurenset sediment.

Selv om overstrømming ikke er tillatt, vil det fremdeles være noen få kilder til turbiditet igjen. Disse vil variere i intensitet i henhold til arbeidets operasjonelle innstillinger. Manipulasjon med sugehodet på sjøbunnen er en av dem. Denne kilden til resuspensjon kan fanges opp av returstrømmen under og rundt sugemudrerens, og kan dermed forårsake større spredning. I tillegg kan propellstrålen bidra til ytterligere spredning. Det er åpenbart at riktig og samvittighetsfull bruk av utstyret vil ha stor betydning for omfanget av bidragene fra disse kildene.

Det er også velkjent at et stort bidrag til omfanget av turbiditet ved mudring er forekomsten av søppel og skrot. Bortsett fra å hindre den normale mudringsrutinen, genererer fjerning av søppel og skrot vanligvis mye ekstra turbiditet. Heldigvis vil dette medføre mindre bekymring i Borg havn, da det ikke er registrert store mengder skrot i dette området.

Det finnes turbiditetsmålinger som gir god sammenligning med oppsettet for Borg havn på alle tre styringsfaktorer (Pennekamp m.fl., 1996, Becker m.fl., 2015). De innebærer vedlikeholds- og hovedmudring i havneområder og nær elvemunninger, hvor det heller ikke ble tillatt med overstrømming av sisterna. Størrelsen på sisterna til sugemudrerens, hydrodynamikk, vanddyp og kvaliteten på sjøbunns materialet er rimelig sammenlignbare. På bakgrunn av dette antas turbiditeten å være 2 % av massestrømmen av faste stoffer. Denne verdien er mye mindre enn når overstrømming av sugemudrer er tillatt. Når overstrømming har funnet sted under mudringssyklusen, er det rapportert å være 5 % av massestrømmen av faststoff som spres.

3.3 Ulike turbiditetskilder fra bakgraver ved Borg havn

Turbiditeten som er forårsaket av bakgraver er ekstremt avhengig av utførelsen av mudringsaksjonene. For eksempel kan graving av større volumer enn skuffen kan holde, skape turbiditet som er mye større enn når forsiktige og velkontrollert graving utføres. Et annet eksempel er hvordan full skuffe blir trukket gjennom vannet til overflaten. Med toppmoderne systemer som nå er tilgjengelige for mudring med bakgraver, kan disse spredningskildene elimineres uten mye reduksjon av optimal produksjonshastighet. Igjen påpekes det at turbiditetsgenerasjonen er ekstremt avhengig av måten mudringen utføres på og ikke nødvendigvis et gitt mudringskonsept.

Mekaniske mudringskonsepter, som for eksempel bakgraver, har en fordel i forhold til hydrauliske mudringskonsepter, som for eksempel mudring av større reduserer mengden av finpartikulært materiale som blir tilgjengelige for spredning. Likevel er turbiditeten som genereres generelt større enn for sugemudring uten overfylling. Graveskuffen som beveger seg opp gjennom vannkolonnen vil kunne avsette sediment som har festet seg til skuffen under mudring.

Det er tilgjengelige turbiditetsmålinger som tillater rimelig sammenligning med Borg havns innstillinger på alle tre styringsfaktorer (Pennekamp m.fl., 1996, Becker m.fl., 2015). Igjen involverer de vedlikeholdsmudring og vandybdeutvidelse i havneområder og nær kysten. I Pennekamp m.fl., (1996), refereres det også til et mangfold av mekaniske mudringskonsepter som er sammenlignbare med bakgraver, f.eks. kabelgravemaskin. Hydrodynamikk, vanddyb og kvaliteten på sjøbunns materialet er rimelig sammenlignbare. Ved å bruke S-parameteren gir disse referansene kilden til turbiditeten til å være i størrelsesorden 5 % av massestrømmen av faste stoffer.

3.4 Ulike turbiditetskilder ved utslipp fra sugemudrere, lektene og diffusorer i Borg havn-prosjektet

Generelt er turbiditetskilden for utslipp av mudret materiale i åpent vann avhengig av dybden som det mudrede materialet slippes ut i samt utslippsraten. Åpenbart vil utslipp nær vannoverflaten skape den største muligheten for finpartikulært materiale til å løsrive seg og spre seg over et større område

Partikler med lav tetthet kan skille seg fra det ytre laget av mudret materiale og skape en kvasi-stasjonær turbiditet i det øvre vannlaget. Utskillingen av finpartikulært materiale vil kun skje ved det ytre laget av massestrømmen av mudret materiale. Det finpartikulære materialet innad i massestrømmen vil holdes innlagret og vil synke ned til sjøbunnen uten å skape turbiditet. Fallhastigheten til massene (som øker mye med dybden) og den lokale strømhastigheten har stor innflytelse på turbiditeten. For Borg havn er genereringen av lavtetthets-turbiditet ansett som minimal med hensyn til den lave mengden organisk materiale i det mudrede materialet.

På grunn av effekten av strålen av mudrede masser som treffer sjøbunnen, vil det mudrede materialet sette opp en bølge langs bunnen som gir en kilde til resuspensjon. Mengden kinetisk energi som det mudrede materialet har oppnådd regulerer størrelsen på denne turbiditeten. Alle kjente oversikter over deponering i sjø (Truitt, 1988) rapporterer at turbiditeten som er forårsaket av denne bølgen er mer eller mindre bundet til vannbassengområdet i veldefinerte lag. Alle rapportene er i samsvar med konklusjonen (Gordon, 1974) at bare en liten mengde suspendert sediment vanligvis transporteres bort fra strålen i den øvre vannkolonnen i utløpsfasen. Hovedtransportmekanismen på utslippsstedet er bunnstrømmen eller tetthetsstrømmen. Kontrolltiltak som utslipp i depresjon, som i Borg havn-prosjektet, kan være effektive for å redusere denne transporten.

I litteraturen (Truitt, 1988; Becker, 2015) kan man finne verdier av suspendert sediment i vannkolonnen forårsaket av avrivning av silt og leire i vanddyb på 10 m eller mer. Verdiene varierer fra nesten 0 til 5 % av den totale massestrømmen. I disse målingene var utslippsdyb nær overflaten.

Alle disse turbiditetsgenererende prosessene er mer eller mindre operative ved utslipp fra sugemudrere, lektere og diffusorer, men ikke nødvendigvis i samme grad. For Borg havn-prosjektet vil turbiditetskilden bli redusert ved bruk av diffusor. To viktige turbiditetsgenererende prosesser blir dermed redusert. Innlagringen i vannkolonnen blir redusert ved at det benyttes et rør som slipper ut mudret materiale på et visst dyp. I tillegg vil den kinetiske energien til massestrømmen bli redusert ved bruk av diffusor. Frifalldynamikk starter dermed kun på større dyp, etter utløpet til diffusoren.

Basert på disse argumentene antas det at 5 % av den totale massen vil være tilgjengelig til spredning i vannkolonnen under deponering av de mudrede massene i Borg havn-prosjektet.

3.5 Karakteren til turbiditetskildene ved tidligere mudringskampanjer

Det har ved flere anledninger blitt utført feltmålinger under mudringskampanjer (Pennekamp m.fl., 1996, Becker m.fl., 2015). Turbiditetsmålingene bak de empiriske dataene fra disse kampanjene ble utført på en slik måte at man kunne beregne den totale mengden av tørrmateriale som ble tilgjengelig til spredning i vannkolonnen per kubikkmeter av mudret materiale (både mudring og påfølgende deponering).

Den totale mengden av spredning øker rundt mudringsarbeidene og består hovedsakelig av finpartikulært materiale. Fra typisk 50 m og lengre unna mudringsoperasjonen, ble det ikke funnet større partikler enn 63 μm . Følgelig representerer den turbiditetskilden den fraksjonen av materialet som er mindre enn 63 μm .

En forutsetning her er at Glomma-sedimentet tilsvarer sediment fra tidligere turbiditetsmålinger. Prøvetakskampanjene samt et besøk på stedet i 2014 med turbiditetsforsøk støtter denne antagelsen.

Denne tilnærmingen er også passende med hensyn til forurensningsbudsjettet, da hovedparten av det forurensede materialet vil feste seg til de minste partiklene.

Det finnes en annen erfaring som knytter innvirkning av kulepunkt 3 (vannet) til kulepunkt 2 (turbiditetskilden) beskrevet i kapittel 3.1. Alle feltmålinger indikerer at turbiditetsskyen generert av mudringsaktiviteter forsvinner (synker/sedimenterer) langt raskere enn man ville forventet ved å bruke Stokes lov eller hydraulisk drag. Dette skyldes hovedsakelig tetthetsstrømmer og flokkulering.

Med dette og situasjonen til Glommas elvemunning og farleden langs Borg havn i sikte anbefales det å benytte en fast partikkelstørrelse i modellen slik at man får den samme sedimenteringshastigheten som er funnet fra tidligere feltmålinger (det vil si 0,1 mm/s).

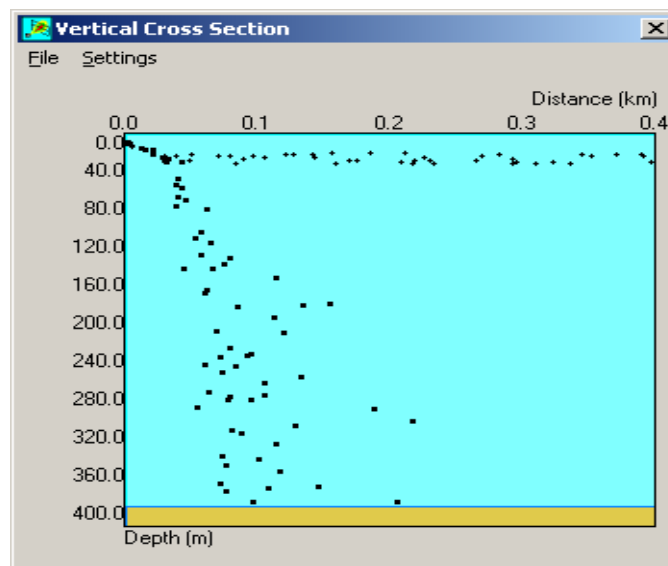
4 DREAM-modellen

Modellering av spredning av finpartikulært materiale har blitt utført med DREAM-modellen (*Dose related Risks and Effects Assessment Model*). Denne modellen er utviklet og anvendt for produsert vann og boreutslipp i offshoreindustrien (Rye m.fl., 1998, 2006, 2008; Singsaas et al., 2008; Smit m.fl., 2008). Modellen benytter en lagrangsk partikkelbasert tilnærming. Partikler som genereres ved utslippspunktet, transporteres med strøm og turbulens i sjøen. Ulike egenskaper, som massen av forskjellige forbindelser, tetthet og størrelse, er forbundet med hver partikkel. Modellpartikler kan også representere ulike faser som gassbobler, dråper, oppløst materiale og fast stoff. For utslipp av borekaks og slam, vil sedimentpartikler, organisk materiale, metaller festet til partikler og oppløst materiale være av særlig interesse. Formlene anvendt til spredning i vannsøylen er gitt i Reed og Hetland (2002).

Generelle egenskaper for beregning av utslipp. En mer pålitelig beskrivelse av boreutslippets oppførsel er gjort ved å inkorporere tilleggsmoduler i modellsystemet. Disse inkluderer en nærsone-sky (Johansen, 2003), synkehastigheter til partikler som sedimenterer på havbunnen og partikkelstørrelsesfordelinger spesifisert for hver partikkelgruppe.

Synking av partikler til havbunnen. Figur 4.1 viser et vertikalt tverrsnitt av en undervannssky på nedstrømsiden av utslippstedet beregnet med DREAM-modellen. Denne figuren viser dette prinsipielt, og representerer ikke operasjonene som er modellert i dette prosjektet. Innlagingsdypet i dette tilfellet er på ca 20 m dybde (utslippsdyp er ca 5 m). På dette dypet deler undervannsskyen seg i to:

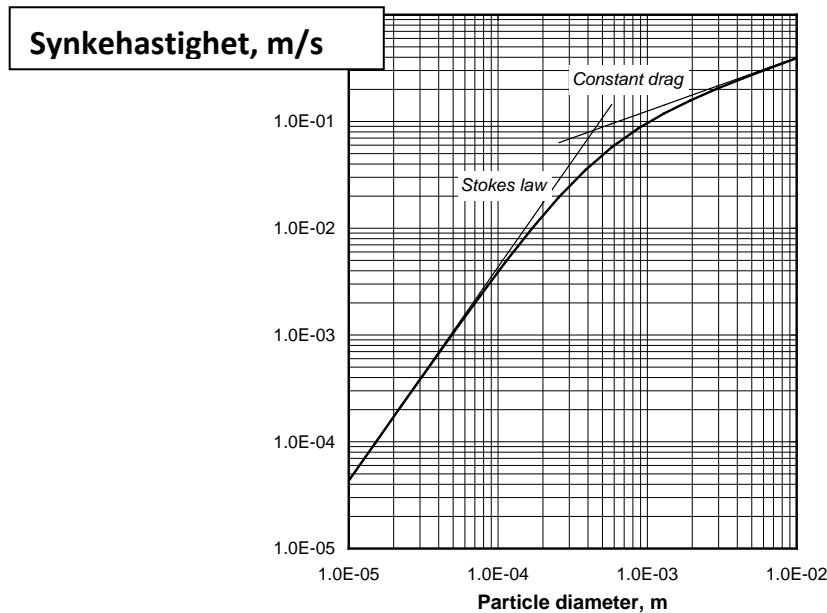
1. En del sprer seg horisontalt i fangstedypet. Denne delen består av oppløste forbindelser (synker ikke) og av faste partikler som er så små i diameter at synkehastigheten avbrytes av Brownsk bevegelse.
2. Den andre delen av utslippet ser ut til å synke ned til havbunnen. Denne delen kan bestå av større partikler med kjemikalier festet til dem.



Figur 4.1 Et konseptuelt eksempel som illustrerer det vertikale tverrsnittet av nærsone-plumen og sedimentering av partikler på havbunnen. Utslippspunktet er i det øverste venstre hjørnet av figuren. Havbunn ligger på ca 400 m dyp for dette eksemplet.

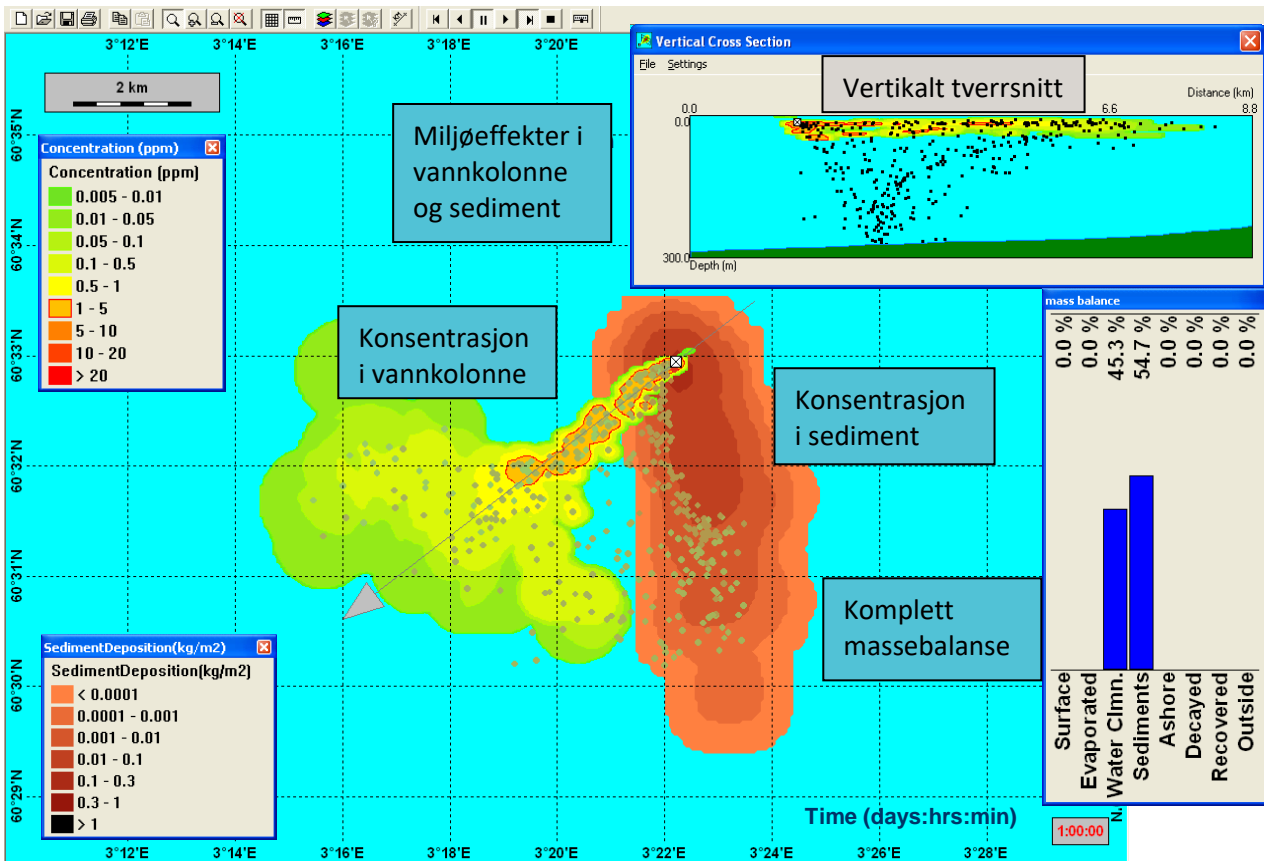
En grafisk presentasjon av synkende hastigheter av frie partikler i DREAM er vist i Figur 4.2. For partikler med liten diameter er synkehastigheten lav, og de vil bli transportert av strømmen over en lengre distanse. Vi

legger vekt på at i de foreliggende modelleringene med å simulere spredning fra mudring og deponeringsoperasjoner, har det blitt brukt en fast synkehastighet på 0,1 mm/s. Dette er basert på flokkuleringspotensialet for sedimentene som har blitt analysert av Deltares.



Figur 4.2 Partikkelstørrelsesavhengig variasjon i synkehastigheten til mineralpartikler i sjøvann. Tetthet som er brukt i dette eksempelet er $2\,500\text{ kg/m}^3$, som ligner borekakspartikler.

Figur 4.3 viser de grunnleggende egenskapene til modellen for å beregne skjebnen til et utlipp. Konsentrasjoner i vannsøylen og sedimentering på havbunnen er illustrert i dette eksempelet. Partiklene i modellen har blitt spredt i vannet med havstrømmer og turbulens. Vær oppmerksom på at figuren som er vist nedenfor representerer et generelt utslippsscenario, og representerer ikke den faktiske planlagte mudringen/deponeringen i dette prosjektet.

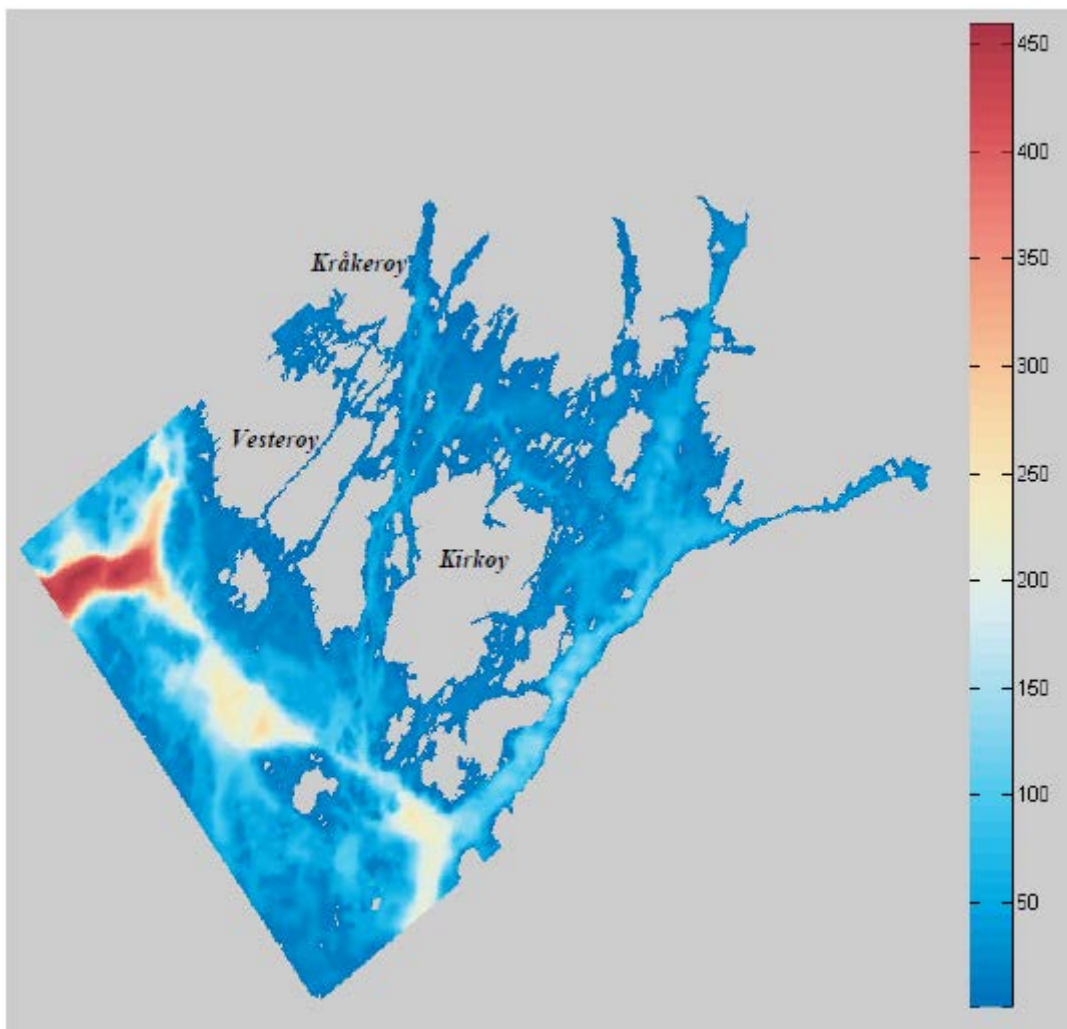


Figur 4.3 En konseptuell visualisering av skjebnen til et utlipp. Vær oppmerksom på at sedimenteringenn i dette eksemplet er gitt i kg/m² i stedet for millimeter tykkelse som brukt i det nåværende studiet. Konsentrasjonen i vannkolonnen som brukes i det nåværende studiet er ppm (andeler per million).

5 Modellert strømdata fra SINMOD

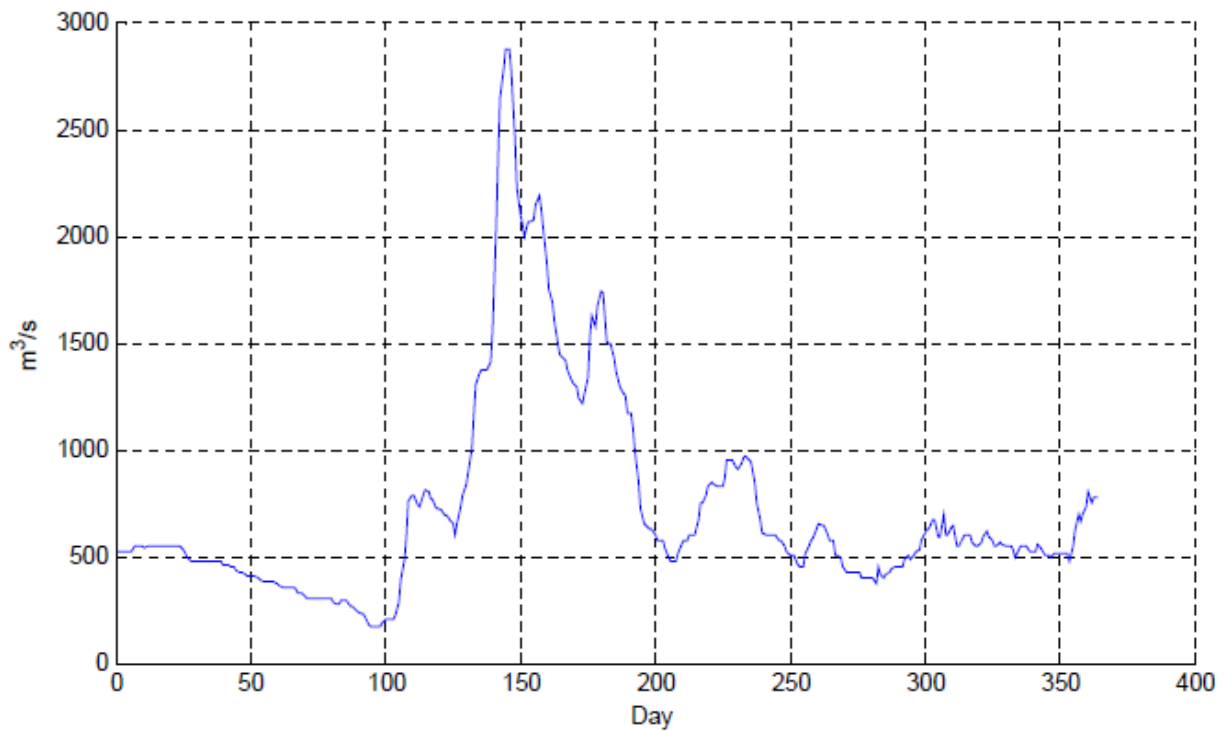
Strømdataene som ble brukt i dette prosjektet, er modellert med SINMOD. SINMOD er et nøstet 3D-modellsystem som kombinerer fysiske og biologiske prosesser i havet. Det har vært i kontinuerlig utvikling og bruk de siste 30 årene. En storskalamodell med 20 km gridoppløsning som dekker deler av Nord-Atlanterhavet, Nordsjøen og Arktis utgjør grensebetingelsene til et mindre domene med 4 km oppløsning. Denne modellen vil da produsere grensebetingelsene til et domene med 800 m oppløsning, som igjen produserer grensebetingelsene til et domene med 160 m oppløsning.

Dette prosjektet har benyttet en enda finere horisontal oppløsning på grunn av de mange små øyene i området. Strømmodellen ble satt opp med en romlig oppløsning på 53,5 m. Strømmdatsettet dekker perioden fra 1. april til 8. oktober 2013. Modellområdet er vist i Figur 5.1. Se Michelsen og Alver (2015) for en fullstendig beskrivelse av dette datasettet.



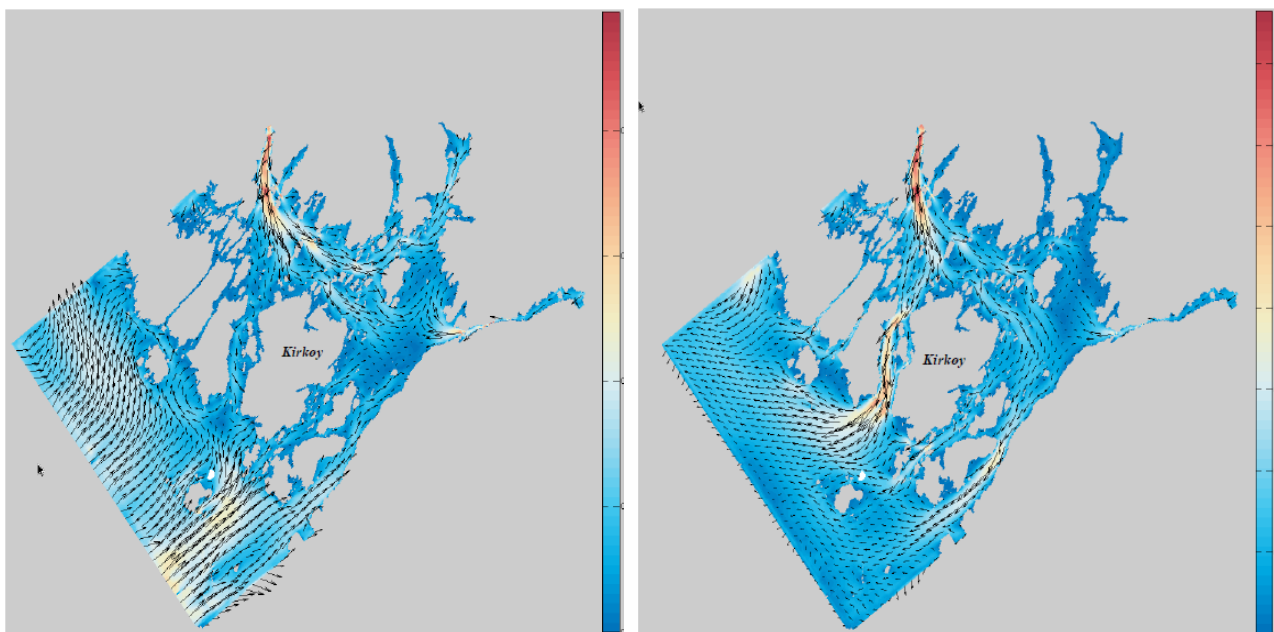
Figur 5.1 Modellområdet til SINMOD med bunntopografi (m) som er brukt i dette prosjektet (fra Michelsen og Alver, (2015)).

Vannføringen til Glomma i 2013 er vist i Figur 5.2. Figuren viser at den høyeste vannføringen i Glomma er i perioden mai – august.

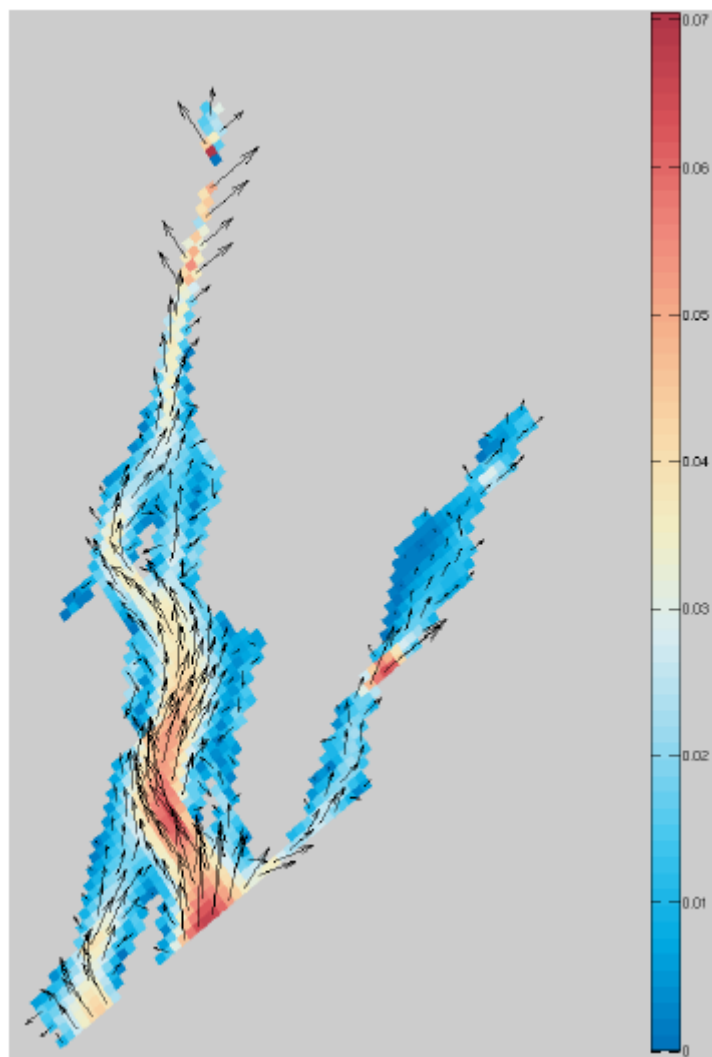


Figur 5.2 Vannføringen i Glomma som har blitt brukt som en inngangsparameter i SINMOD. Dag 0 er 1. januar 2013. (Fra Michelsen og Alver, (2015)).

Den modellerte gjennomsnittsstrømmen i overflaten i april og mai er gitt i Figur 5.3. Det kan sees at utstrømning fra Glomma kan gå enten mot sørøst (som i april), eller mot sør (som i mai). Dette strømningsregimet endres uregelmessig. I de dypere lagene er det en kompenserende innstrømning av vann, som vist i Figur 5.4.



Figur 5.3 Modellert gjennomsnittsstrøm (m/s) for april (til venstre) og mai (til høyre) 2013. (Fra Michelsen og Alver, (2015)).



Figur 5.4 Modellert gjennomsnittstrøm i Røsvikrenna i 9 m dyp i april 2013. (Fra Michelsen og Alver, (2015)).

6 Inngangsdata til modellen og modellresultater

6.1 Betraktninger angående inngangsparametre til modellen

Inngangsparametrene til alle simuleringer vedrørende mudring og utslippsoperasjoner er levert av Van 't Hoff Consultancy og Deltares. Bare faste stoffer har blitt sluppet i simuleringene, og da kun de massene som er fri til å spre seg i vannsøylen er inkludert (beregnet av Deltares). Argumentet for denne beslutningen er at feltmålinger utført av Deltares har vist at turbiditetsøkningen rundt mudringsområdet (den totale turbiditetsskyen) utelukkende besto av finpartikulært materiale ($< 63 \mu\text{m}$). Spesielt lenger bort fra mudringsområdet ($< 50 \text{ m}$), ble partikler større enn $63 \mu\text{m}$ ikke funnet. En forutsetning er selvsagt at Glomma-sedimentet mer eller mindre representerer sedimentene i målingene, noe det sannsynligvis gjør. Alle feltmålinger (Wit de L., 2015) og laboratorietester (Eekelen, 2007; Wit de L., 2015) indikerer at turbiditetsskyen generert av mudringsarbeid sedimenterer langt raskere enn forventet ved bruk av Stokes-loven. Dette skyldes hovedsakelig tetthetsstrømmer og, i mindre grad, flokkulering i mudringssonen og nærområdet. Med disse prosessene og situasjonen til Glommas elvemunning og innseilingen langs Borg havn i sikte, blir turbiditetskildene (dvs. de som representerer den finpartikulære delen av sedimentet i nærsonen) omgjort til en partikkelstørrelse som samsvarer med fallhastigheten som er målt i feltforsøkene.

Dette resulterte i en partikkelstørrelse som tilsvarer en fallhastighet på $0,1 \text{ mm/s}$ som er brukt i modelleringene av spredningen av det finpartikulære materialet. For å få modellen til å bruke denne fallhastigheten, ble det brukt en fast partikkelstørrelse og tetthet for alle simuleringer. Dette tar også hensyn til flokkulasjonspotensialet til sedimentene. Siden den samme partikkelstørrelsen har blitt brukt i alle simuleringene og turbiditetskilden er satt til å være en fast prosentandel av det totale volumet av mudret materiale, vil spredningen av finpartikulært materiale være mer konservativt for mudringsstedene lenger sør (f.eks. Duken) i Borg 2 siden sedimentene der består hovedsakelig av sand og grus.

Utslippsscenarioene ved Møkkalasset og Svaleskjær er satt opp for å modellere bare den fine fraksjonen som er fri til spredning (som for mudringsscenarioene). Hovedårsaken til denne tilnærmingen er å studere virkningen av utslippsoperasjonen på områder utenfor deponiene (Møkkalasset og Svaleskjær). Den rapporterte sediment-tykkelsen for utslippsoperasjonen i denne rapporten er således bare sedimentert tykkelse av finpartikulært materiale.

På grunn av mangel på strømndata i den nordligste delen av mudringsoperasjonene i Borg 1, er utslipps-/mudringspunktet for scenarioene med mudring i dette området blitt flyttet lenger sør til et område som er dekket av strømdatasettet. Dette betyr at spredning og sedimentering i den nordligste delen av Borg 1-området er undervurdert, mens de sørlige delene forventes å oppleve en lavere spredning og sedimentering enn det som rapporteres.

Utslippspunktene for mudringsoperasjonene ved Borg 1 er satt opp til å være ca $150\text{-}200 \text{ m}$ fra hverandre, (på grunn av modellbegrensninger), med konstant mudring i en viss tid (avhengig av total mudringsvarighet for hvert scenario). Mudringstiden på hvert sted i Borg 1 er det samme innen hvert scenario. Dette fører til sedimentkonsentrasjonsverdier som er på den konservative siden (mer deponering under hvert mudringssted), siden mudring ikke forekommer på nøyaktig samme sted, men vil i virkeligheten kontinuerlig bevege seg/skifte posisjon under operasjonen.

Alle mudringssimuleringer er satt opp som kontinuerlig (24/7) arbeid. Deponeringssimuleringene er satt opp med repeterende intervaller gjennom den totale simuleringens varighet. Et av mudringsscenarioene er satt opp med to bakgravere for å kunne modellere mudringsoperasjonen innen perioden som dekkes av gjeldende strømdatasett.

Totalt volum av mudrede og deponerte materialer er gitt i Tabell 6.1, og en beskrivelse av hvert mudrings-/deponeringsscenario er beskrevet i Tabell 6.2

Alle modellscenarier unntatt det første scenariet er satt opp med konfidensintervaller på både 80 % og 95 %. Det første scenariet modellerer mudring av *hele* det forurensede topplaget ved grunne delen foran kaien i Borg 1-området. Det er derfor ikke skilt mellom 80 % eller 95 % konfidensintervall.

Tykkelsen på sedimentert materiale er vist ved slutten av simuleringsperioden for alle modellkjøringene. Alle partikler som legger seg i sedimentet, forblir på samme sted resten av simuleringen (resuspensjon av deponert materiale på havbunnen er ikke inkludert i modelleringen). Dette betyr at maksimal tykkelse på sedimentert materiale vil være på slutten av simuleringen. Mudringen (og påfølgende spredning) av det sedimenterte materialet som allerede har blitt mudret før, tas ikke med i denne studien.

Vær også oppmerksom på at havbunnen i modellen i løpet av mudring/deponeringen ikke endres siden modellen ikke støtter dette. Strømdataene må også oppdateres kontinuerlig under operasjonene for å gi de nødvendige strømmer nær mudrings/deponeringsstedet i et slikt tilfelle.

Konsentrasjonen av finpartikulært materiale i vannkolonnen er vist for forskjellige tidspunkter for hvert scenario. Partiklene transporteres med strømmen på stedet, og de synker med den angitte sedimenteringshastigheten på 0,1 mm/s. Hvor mange partikler som forblir i vannsøylen under mudringsoperasjonen vil variere med strømmen og retningen til strømmen til ethvert tidspunkt. I denne rapporten vises et øyeblikksbilde for hver 10. dag for alle mudringsaktiviteter i Borg 1. Dette er gjort for å forsøke å vise noen av variasjonene samt vise at det under noen forhold kan være lite spredning av sedimenter (lav strømhastighet), mens andre ganger kan spredningen være større (høy strømhastighet). For Borg 2-områdene vises et øyeblikksbilde ved av slutten av mudringsoperasjonen på hvert sted.

Fortynningen av finpartikulært materiale i vannsøylen i perioden etter en mudringsoperasjon er ferdig er vist for ett scenario (mudring av ikke-forurensset materiale med grabb i wire med 80 % konfidensintervall).

Resultatene presenteres med en nedre terskelverdi på 0,1 mm tykkelse av sedimentert materiale (beregnet fra fast masse/areal ved bruk av sedimentets tetthet) og 3 ppm konsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen. Terskelverdien på 3 ppm for vannkolonnen representerer den nedre bakgrunnsverdien i Glomma og 0,1 mm sedimenttykkelse representerer omtrent en måned med naturlig sedimentering. Den øvre 24 mm-grensen for sedimenttykkelse representerer toleransen for bunnfunaen ved langvarig eksponering (seks måneder).

Tabell 6.1 Totalt mudret volum og volum tilgjengelig til spredning i vannsøylen.

| | Konfidensintervall | Mudret volum | Volum tilgjengelig til spredning |
|---|--------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Total mudret/deponert - forurensset masse | 80 % | 742 433 m ³ | 37 122 m ³ |
| | 95 % | 963 728 m ³ | 48 186 m ³ |
| Total mudret/deponert – ikke-forurensede masser | 80 % | 2 545 293 m ³ | 185 656 m ³ |
| | 95 % | 2 354 985 m ³ | 171 822 m ³ |
| Totalt volum mudret masse (inkludert over-mudring) og volum tilgjengelig til spredning | 80 % | 3 287 726 m ³ | 222 777 m ³ |
| | 95 % | 3 318 713 m ³ | 220 008 m ³ |

Tabell 6.2 Beskrivelse av volum som skal mudres/deponeres for hvert modellscenario.

| Scenariobeskrivelse | Område | Konfidensintervall | Volum som skal mudres/deponeres [m ³] | Volum tilgjengelig til spredning [m ³] | % tilgjengelig til spredning | Masser tilgjengelig til spredning (tørrstoff) |
|--|--|--------------------|---|--|------------------------------|---|
| Mudring av forurenset materiale med langtrekkende bakgraver | Borg 1 | 80 % | 6 175 | 309 | 5 % | 239 |
| Mudring av forurenset materiale med bakgraver | Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen) | 80 % 95 % | 736 258 957 553 | 36 813 47 878 | 5 % | 28 516 37 087 |
| Mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire | Borg 1 og Borg 2 | 80 % 95 % | 249 502 232 421 | 12 475 11 621 | 5 % | 16 784 15 635 |
| Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med grabb i wire | Møkkalasset | 80 % 95 % | 249 502 232 421 | 12 475 11 621 | 5 % | 16 784 15 635 |
| | Svaleskjær | 80 % 95 % | 249 502 232 421 | 12 475 11 621 | 5 % | 16 784 15 635 |
| Sugemudring med liten sugemudrer av ikke-forurenset materiale | Borg 1 | 80 % 95 % | 263 948 218 826 | 5 279 4 377 | 2 % | 7 102 5 888 |
| Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med liten sugemudrer | Møkkalasset | 80 % 95 % | 263 948 218 826 | 13 197 10 941 | 5 % | 17 756 14 720 |
| | Svaleskjær | 80 % 95 % | 263 948 218 826 | 13 197 10 941 | 5 % | 17 756 14 720 |
| Sugemudring med stor sugemudrer av ikke-forurenset materiale | Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen) | 80 % 95 % | 2 031 843 1 903 738 | 40 637 38 075 | 2 % | 54 672 51 225 |
| Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med stor sugemudrer | Møkkalasset | 80 % 95 % | 2 031 843 1 903 738 | 101 592 95 187 | 5 % | 136 681 128 063 |
| | Svaleskjær | 80 % 95 % | 2 031 843 1 903 738 | 101 592 95 187 | 5 % | 136 681 128 063 |

6.2 Mudring av forurenset materiale med langtrekkende bakgraver (Borg 1)

6.2.1 Volum av mudrede masser

Det første scenarioet som er modellert er mudring av forurensete masser i det øverste laget ved snuplassen i Fuglevika. Den beste metoden for denne operasjonen er foreslått å være mudring med en langtrekkende bakgraver. Totalvolumet av forurensete masser er 6 175 m³, både ved 80 % og 95 % konfidensintervall.

6.2.2 Modelloppsett

Det understrekes at det tilgjengelige datasettet for strøm dessverre ikke dekker det nordligste området der det skal mudres, inkludert snuplassen. Derfor er utslippet av finpartikulært materiale fra denne operasjonen flyttet sørover til en posisjon som er dekket av strømdatasettet.

Fra prøvetakingskampanjene beregnes volumene av sediment som skal mudres, se vedlegg A: "Mudringsvolum og inngangsdata til modelleringen". Med en antatt over all *in situ* tetthet på 1,5 tonn/m³, konverteres volumraten til en masserate.

Den gjennomsnittlige produksjonshastigheten for bakgraveren anslås til 13 tonn/time, og utslipp av finpartikulært materiale er satt til 5 % av produksjonsraten for mudring. Varigheten av operasjonen er 2,4 uker. Modellen er satt opp med kontinuerlig utslipp gjennom hele vannsøylen med en total utslippshastighet på 0,6 tonn/time.

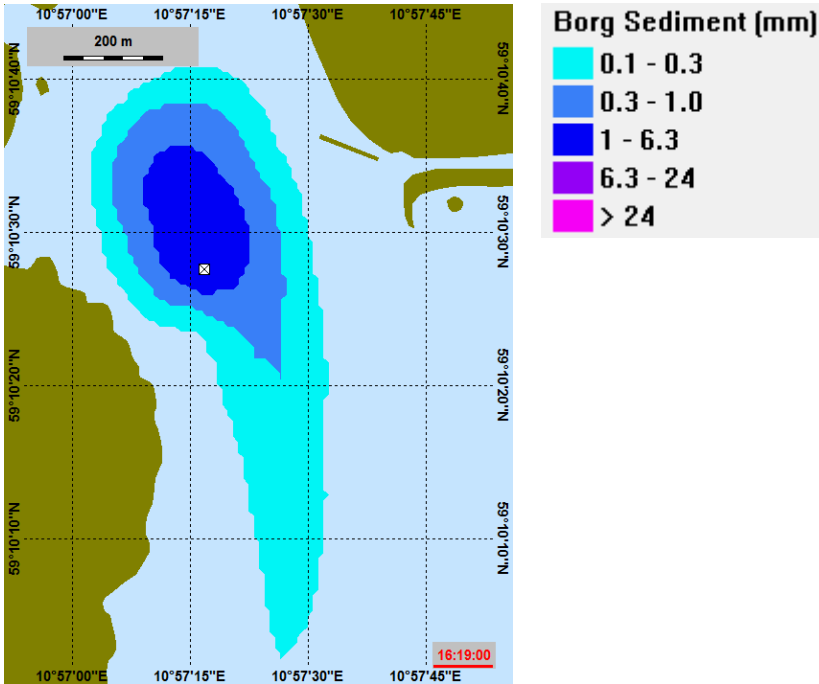
6.2.3 Modellresultat

Tykkelsen på det sedimenterte forurensete materialet på slutten av mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.1. Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten.

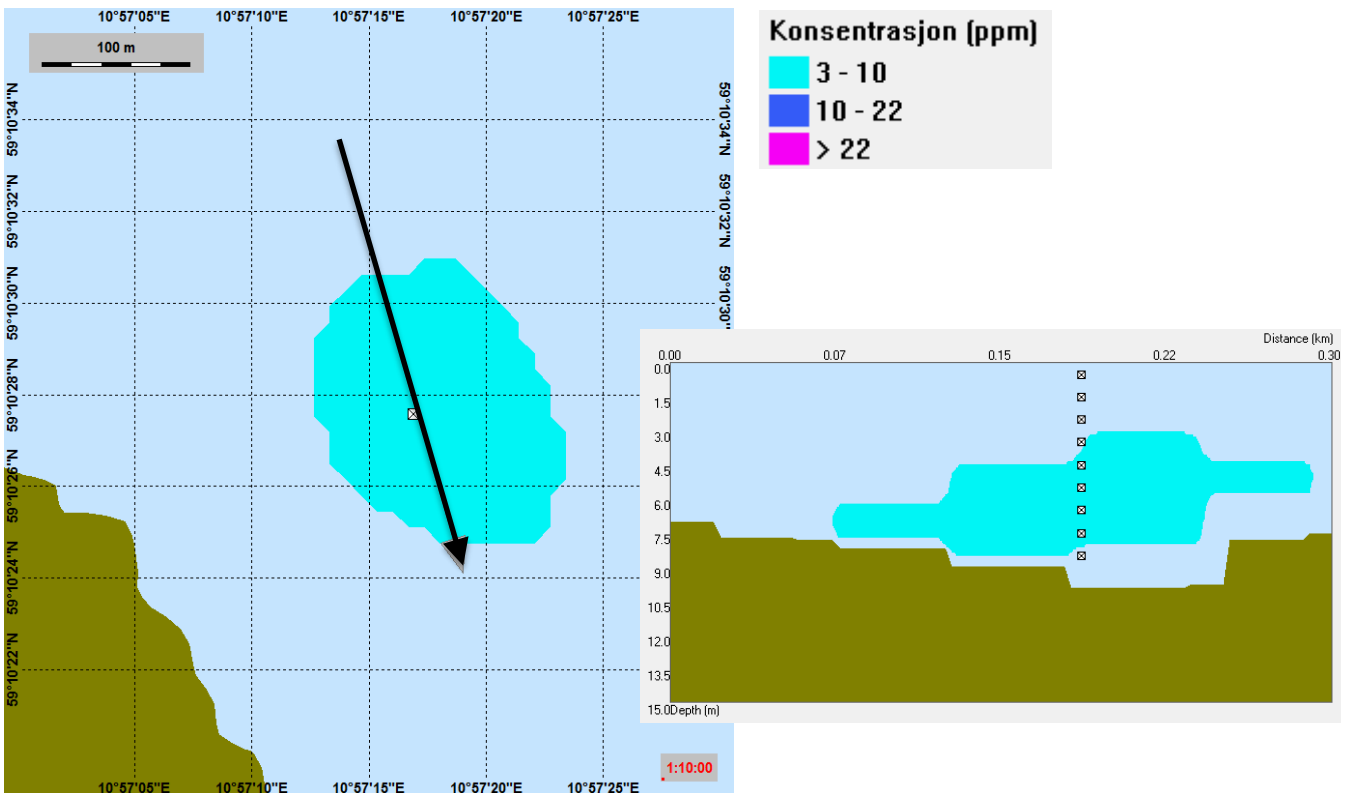
Figur 6.1 viser at utslipp av forurenset materiale ikke overskrider intervallet 1,0 - 6,3 mm under mudringsoperasjonen. Størrelsen på området med tykkeste utslipp er ca. 300 x 150 m.

Figur 6.2 og Figur 6.3 viser maksimal partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under mudringsoperasjonen ved to forskjellige tidspunkt (1 dag, 10 timer og 10 dager, 7 timer). Disse tallene viser at spredning av partikler i vannsøylen er begrenset til et lite område rundt mudringsstedet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen fortynnes til under terskelen på 3 ppm ganske fort når partikkelskyen transporteres bort fra mudringsstedet. Partikkelkonsentrasjonene i et vertikalt tverrsnitt (langs pilen i figurene) er også gitt. Disse tallene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øvre 3 m av vanddypet er under terskelverdien på 3 ppm.

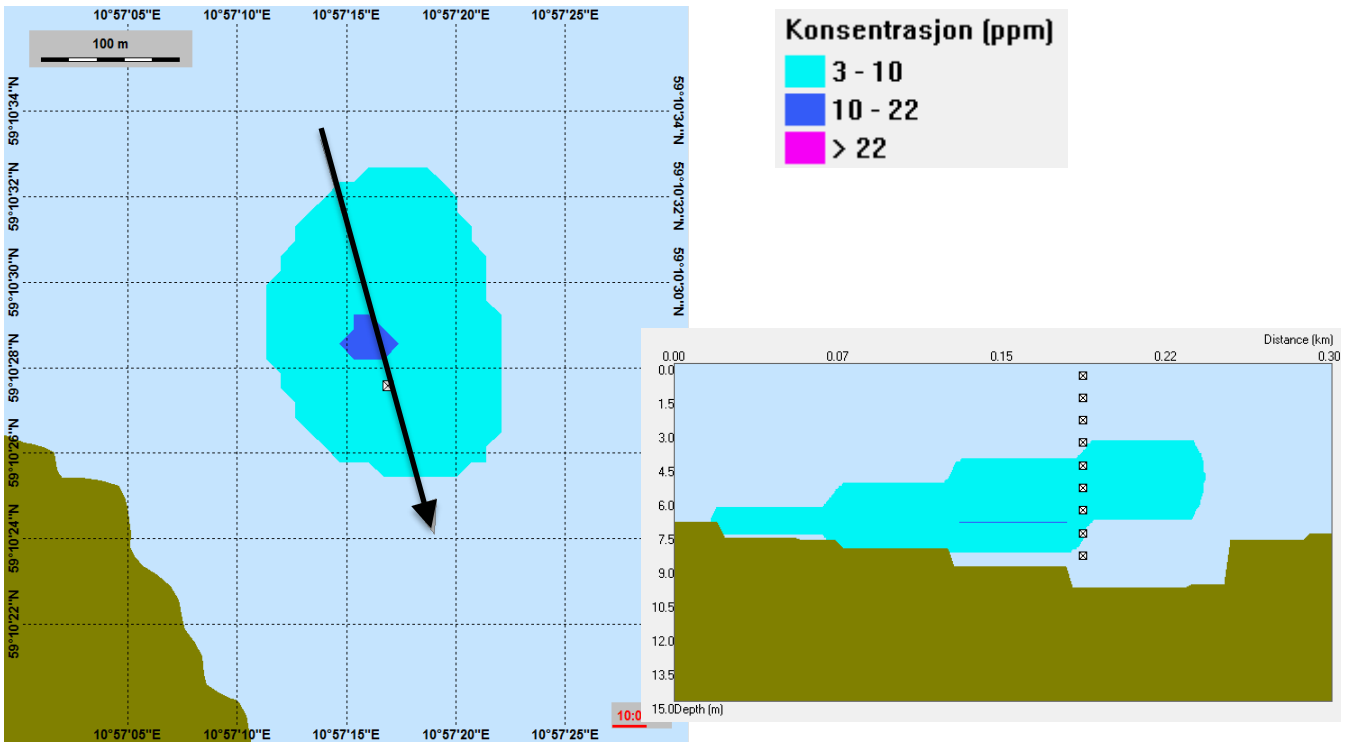
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.4. Den maksimale massen av suspendert materiale er 2,6 tonn og dette finner sted 12 dager og 7 timer inn i simuleringsperioden (Figur 6.5).



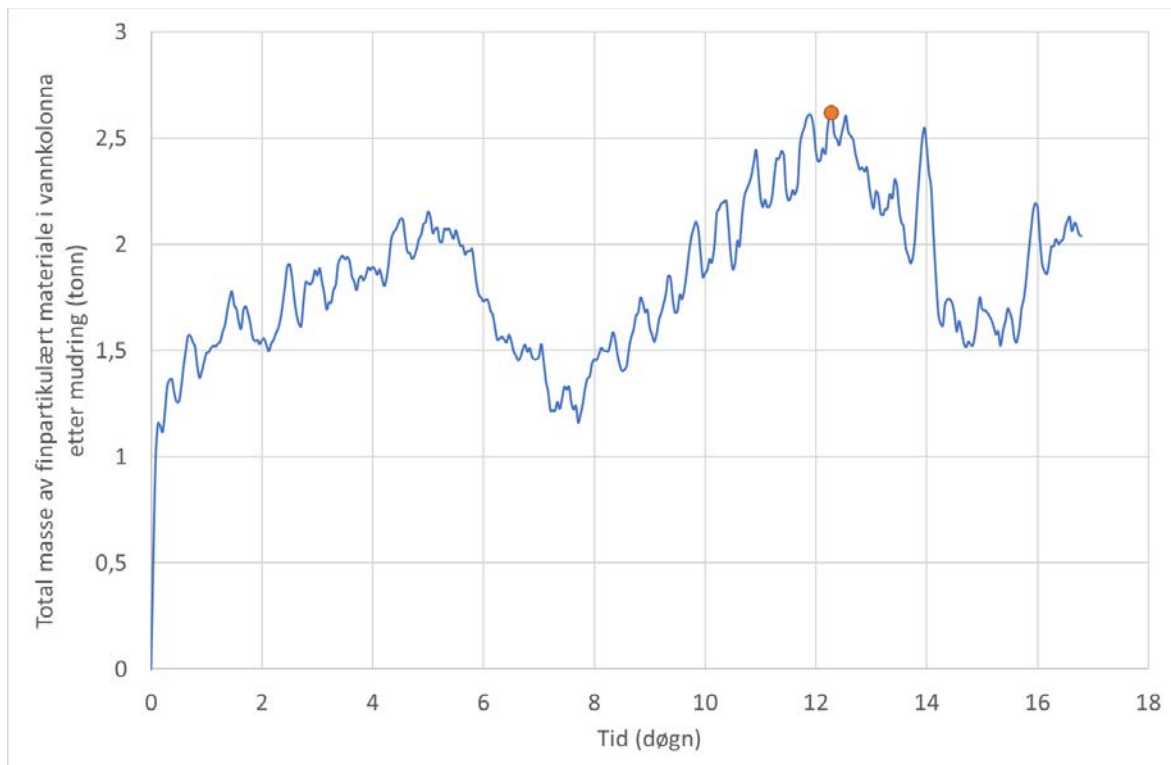
Figur 6.1 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med lang bakgraver ved snuplassen i Borg 1. Deponering av forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten.



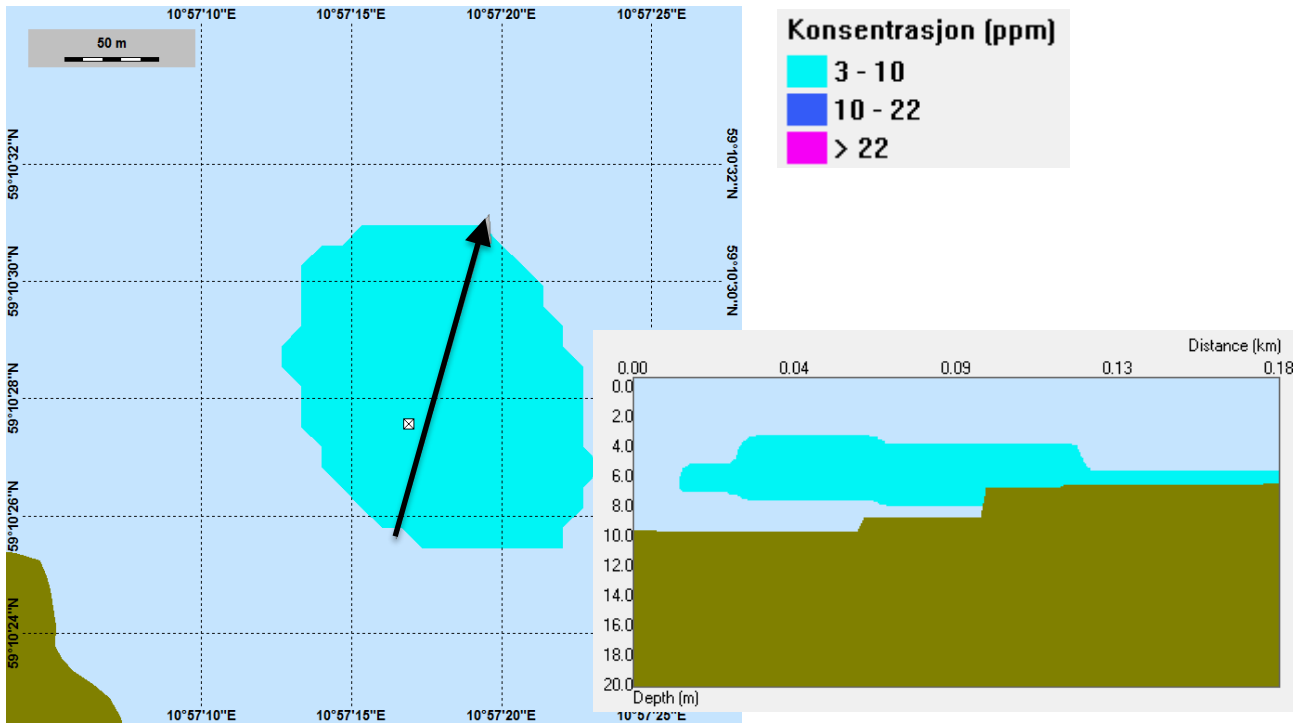
Figur 6.2 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 1 dag og 10 timer inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



Figur 6.3 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 dager og 7 timer inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



Figur 6.4 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modellingsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 12 dager og 7 timer, og total masse var da 2,6 tonn.



Figur 6.5 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 12 dager og 7 timer inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.

6.3 Mudring av forurensete masser med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 – Flyndregrunnen)

6.3.1 Volum av mudrede masser

Dette scenarioet simulerer mudring av forurensete masser med bakgraver ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen). Totalvolumet av forurensete masser med 80 % konfidensintervall er 736 258 m³, mens det er 957 553 m³ ved 95 % konfidensintervall.

6.3.2 Modelloppsett

Som for det første scenarioet (langtrekkende bakgraver), dekker ikke det tilgjengelige datasettet for strøm det nordligste området der det skal mudres. Derfor er utslippet av finpartikulært materiale fra den nordligste delen av Borg 1 (Røsvikrenna) flyttet sørover til området som er dekket av strømdatasettet.

Fra prøvetakingskampanjene beregnes volumene av sediment som skal mudres, se vedlegg A: "Mudringsvolum og inngangsdata til modelleringen". Med en antatt over all in situ tetthet på 1,5 tonn/m³, konverteres volumraten til en masserate.

Den gjennomsnittlige produksjonshastigheten for bakgraveren anslås til 101 tonn/time, og utslipp av finpartikulært materiale er satt til 5 % av produksjonsraten for mudring. Mudreoperasjonen har blitt satt opp med to bakgraver gjennom hele perioden for å kunne modellere hele operasjonen i den perioden som er dekket av strømdatasettet. Mudreoperasjonen ved Borg 1 er satt opp med 22 ulike mudrelokasjoner med lik mudrelengde (to og to mudrelokasjoner benyttes da samtidig). Modellen er satt opp med kontinuerlig utslipp gjennom hele vannsøylen med en total utslippshastighet på 5 tonn/time. Modelloppsettet for både 80 % og 95 % konfidensintervall er gitt i Tabell 6.3.

Tabell 6.3 Modellparametere for mudring av forurenset materiale med bakgraver.

| Parameter | 80 % konfidensintervall | 95% konfidensintervall |
|---|-------------------------|--------------------------|
| Simuleringslengde | 18 uker (126 døgner) | 23.4 uker (163.8 døgner) |
| Utslippsrate (finpartikulært materiale) | 5 tonn/time | 5 tonn/time |
| Lengde på mudreoperasjonen ved Borg 1 | 118.5 døgner | 155.7 døgner |
| Lengde på mudreoperasjonen ved Borg 2 | 7.5 døgner | 8.1 døgner |

6.3.3 Modellresultat 80 % konfidensintervall

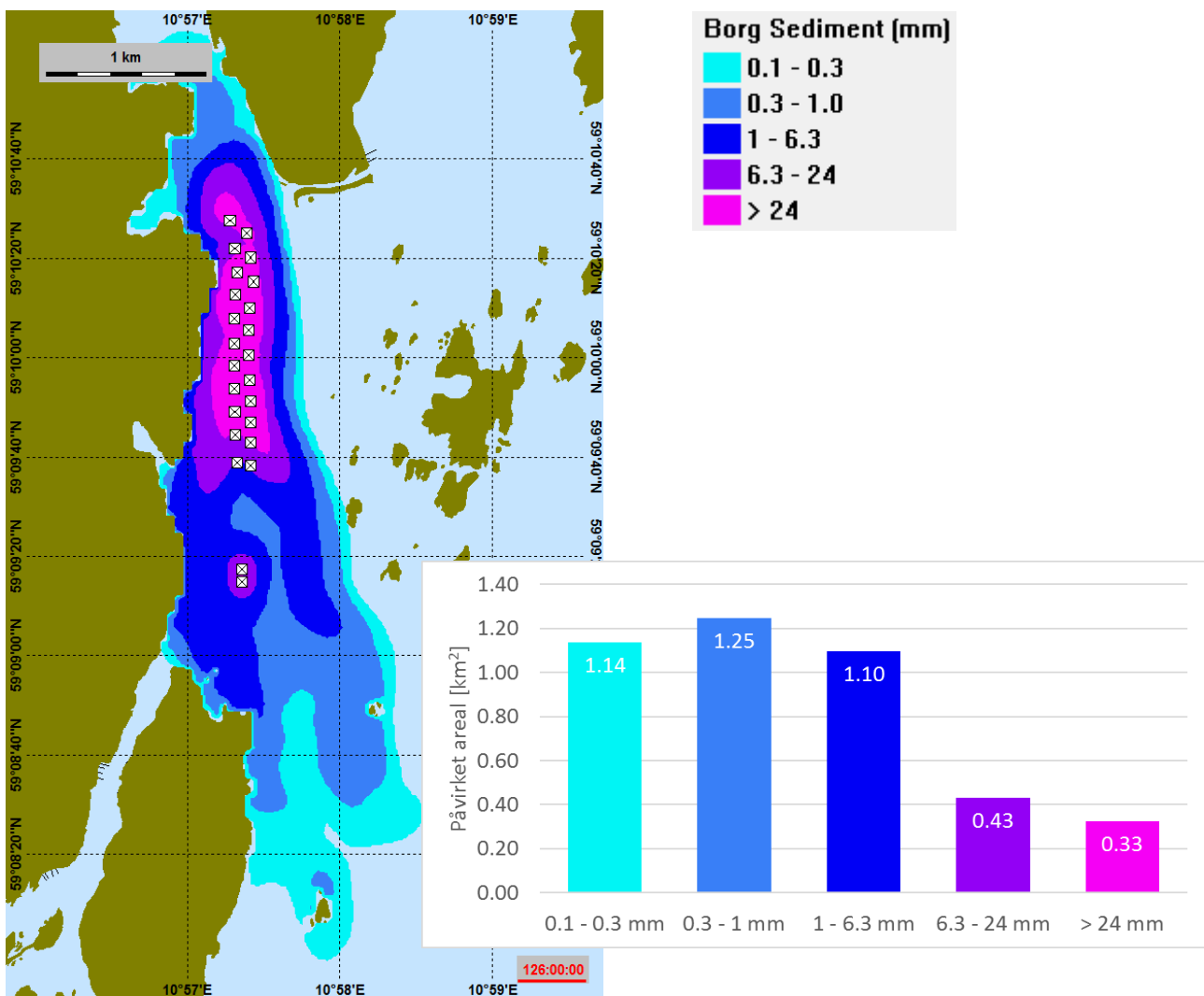
Tykkelsen på det sedimenterte forurensete materialet på slutten av den mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.6. Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet som viser at et areal på 4,24 km² rundt mudringsområdet er påvirket. Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten.

Figuren viser at sedimenteringen av forurenset materiale overstiger den øvre grensen på 24 mm under mudreoperasjonen. Dette skjer hovedsakelig nær området som blir mudret, og dette materialet vil sannsynligvis bli mudret igjen under mudreoperasjonen.

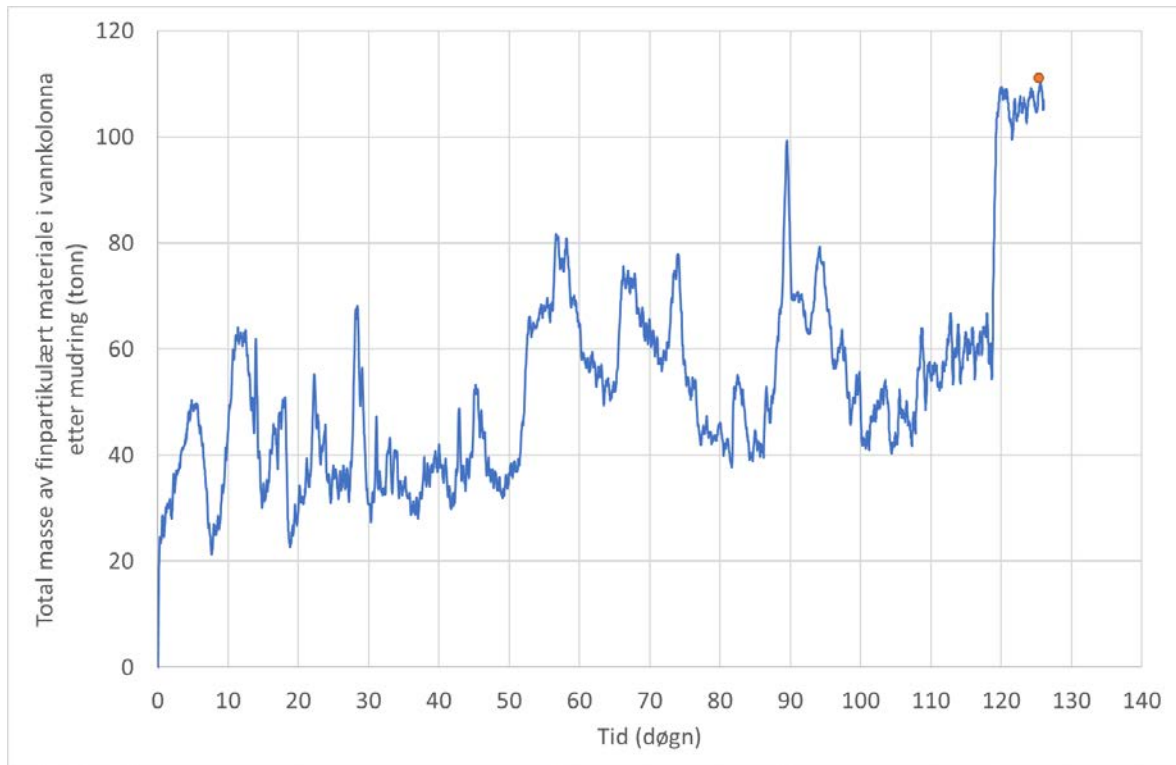
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.7. Den maksimale massen av suspendert materiale er 111 tonn og dette finner sted nær slutten av simuleringsperioden (Figur 6.8).

Figur 6.9 og Figur 6.10 viser maksimal partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under mudringsoperasjonen ved to forskjellige tidspunkt (50 døgn og 100 døgn), og Figur 6.11 viser det samme nær slutten av mudringsoperasjonen ved Borg 2, Flyndregrunnen. Disse tallene viser at spredning av partikler i vannsøylen foregår hovedsakelig nær eller sør for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen er vist i et vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er hovedsakelig under terskelen på 3 ppm. Likevel vil det kunne være tidspunkt under mudringen der vannlaget nær overflaten vil ha en høyere konsentrasjon av finpartikulært materiale. De øverste 3 meterne ved Borg 2, Flyndregrunnen viser en høyere partikkelkonsentrasjon nært mudringsstedet

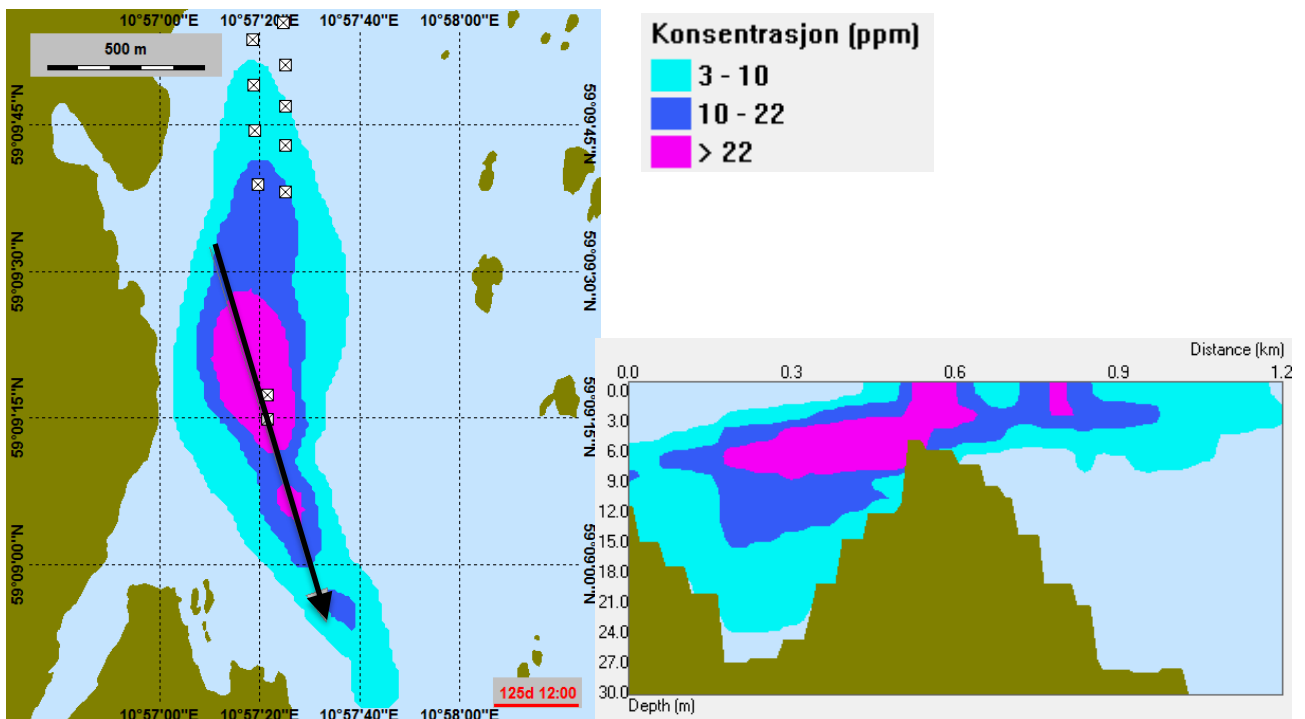
Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen ved Borg 1 og ved slutten av mudringsoperasjonen ved Borg 2 (Flyndregrunnen) er vist i Vedlegg B.1, Figur B. 1 – Figur B. 6.



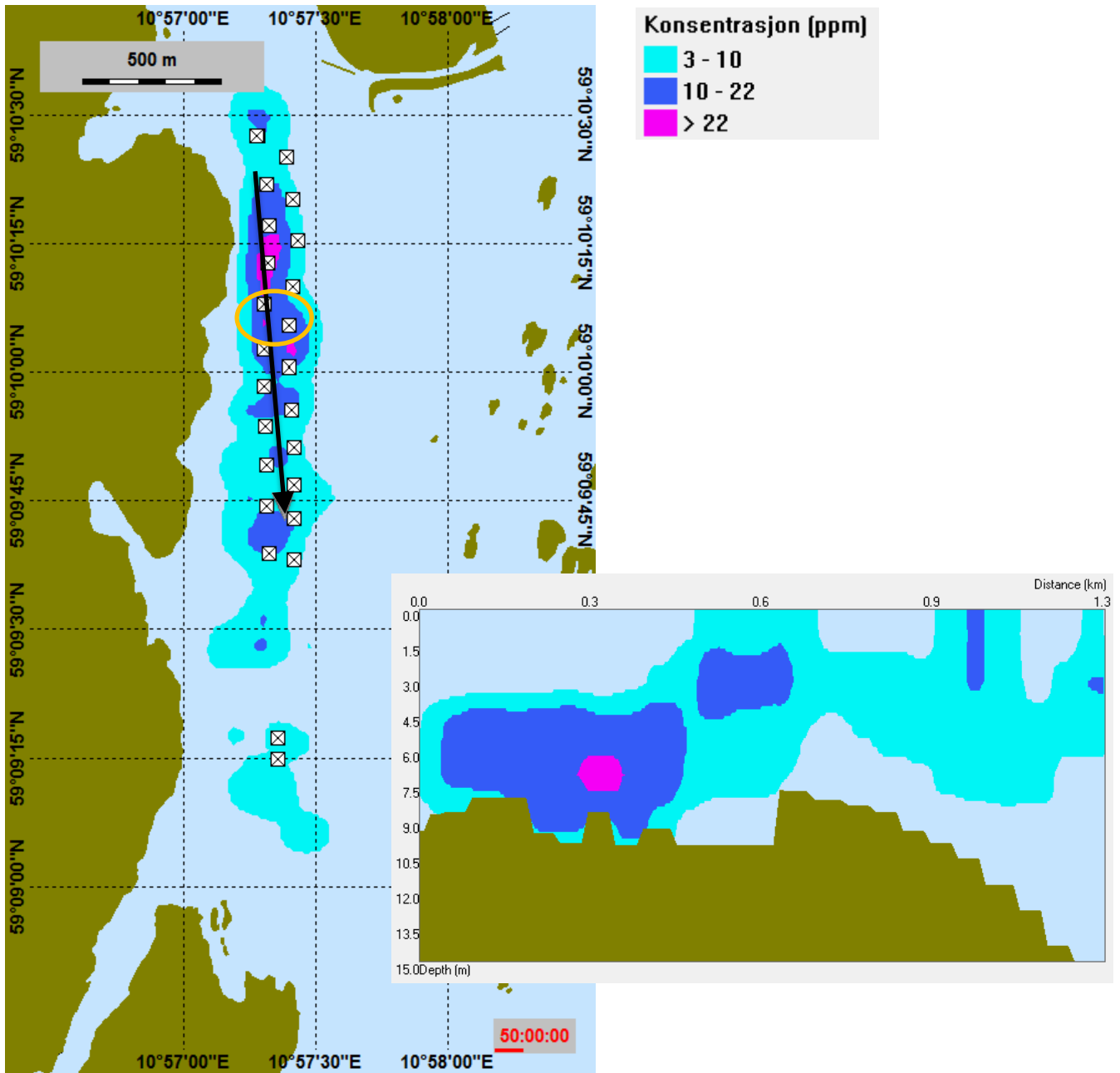
Figur 6.6 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med bakgraver ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen). Deponering av forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



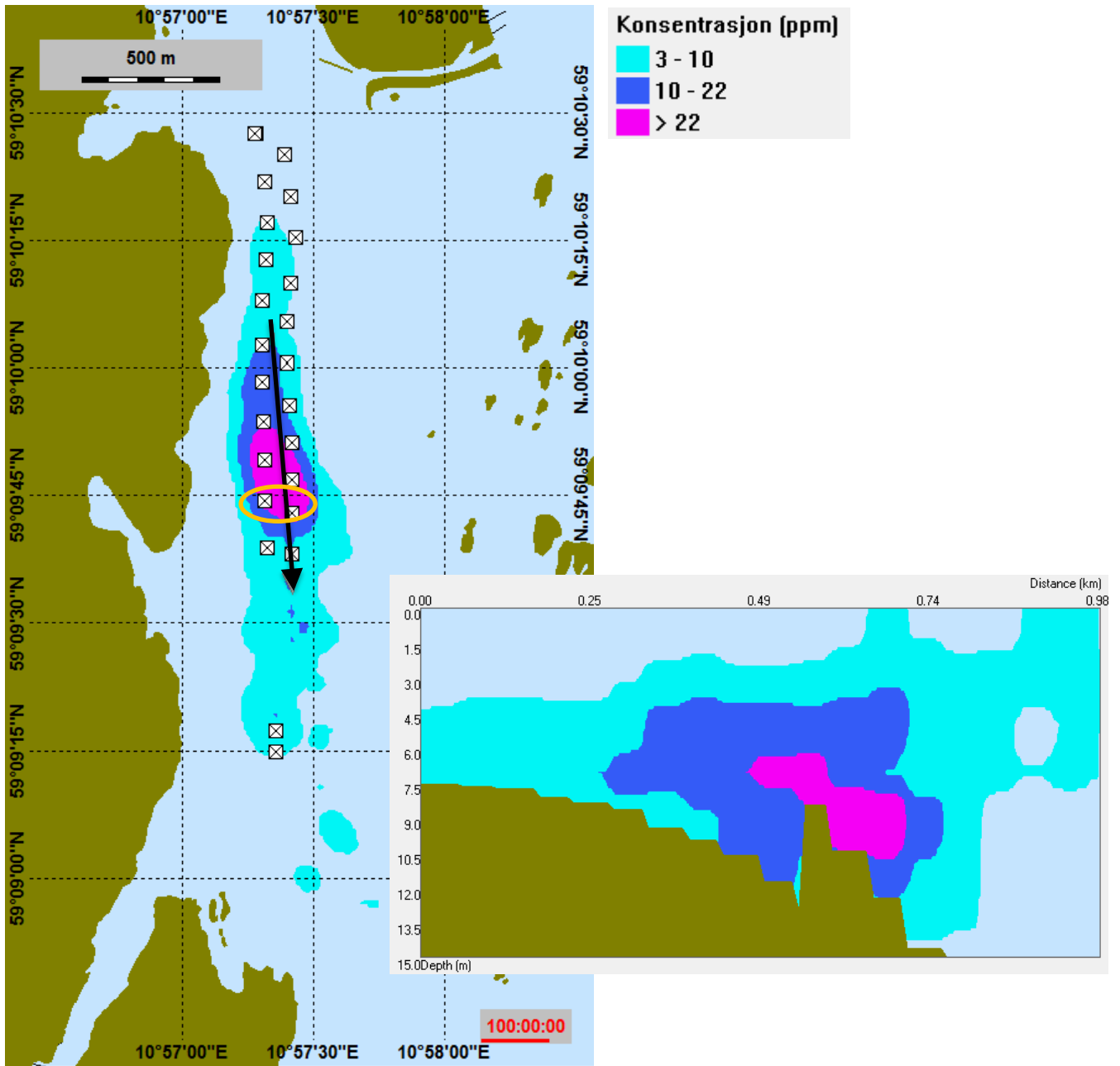
Figur 6.7 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 125 døgn, og total masse var da 111 tonn.



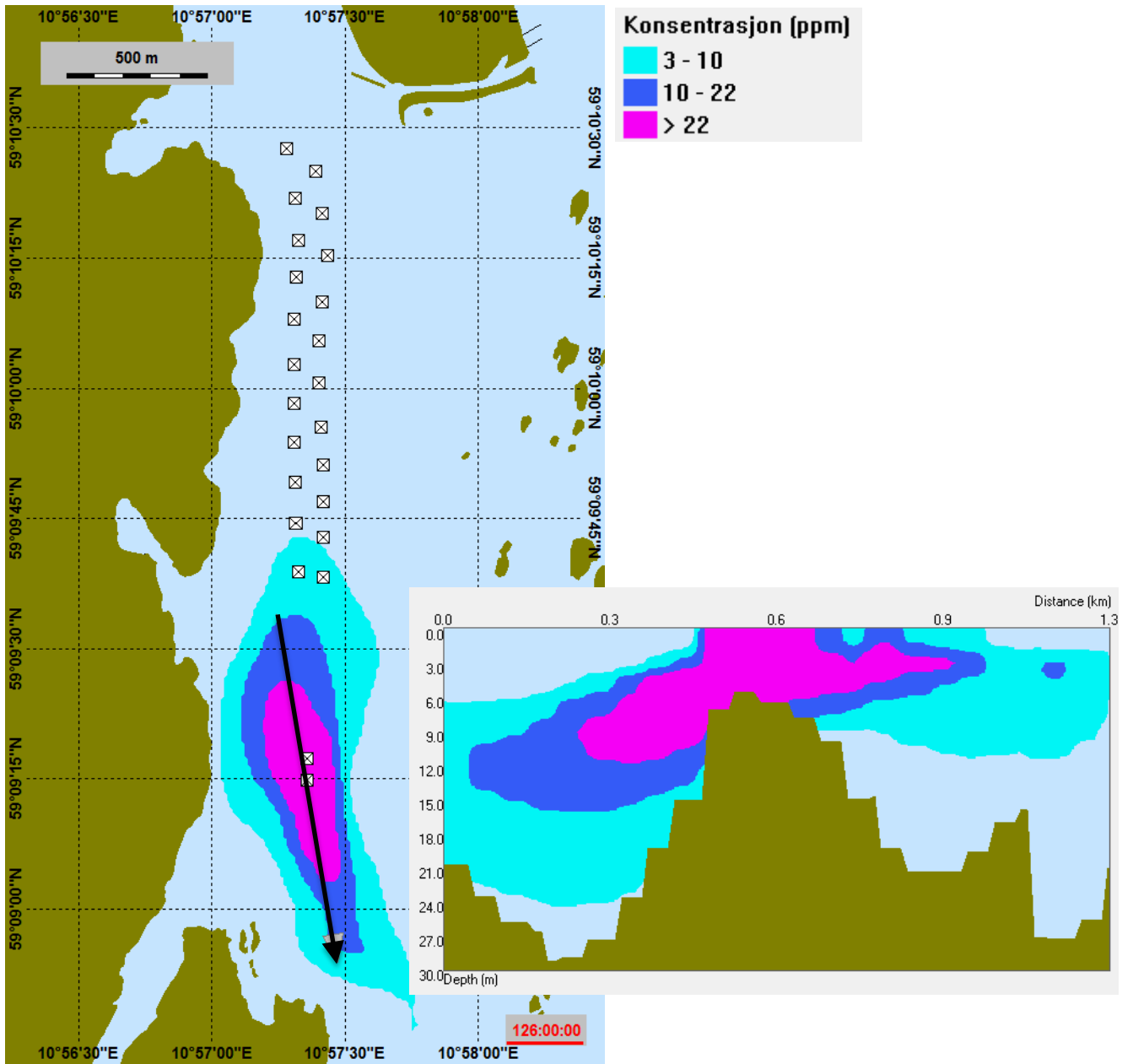
Figur 6.8 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 125 døgn og 12 timer inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



Figur 6.9 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



Figur 6.10 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 100 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



Figur 6.11 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved Borg 2 (Flyndregrunnen) 126 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall.

6.3.4 Modellresultat 95 % konfidensintervall

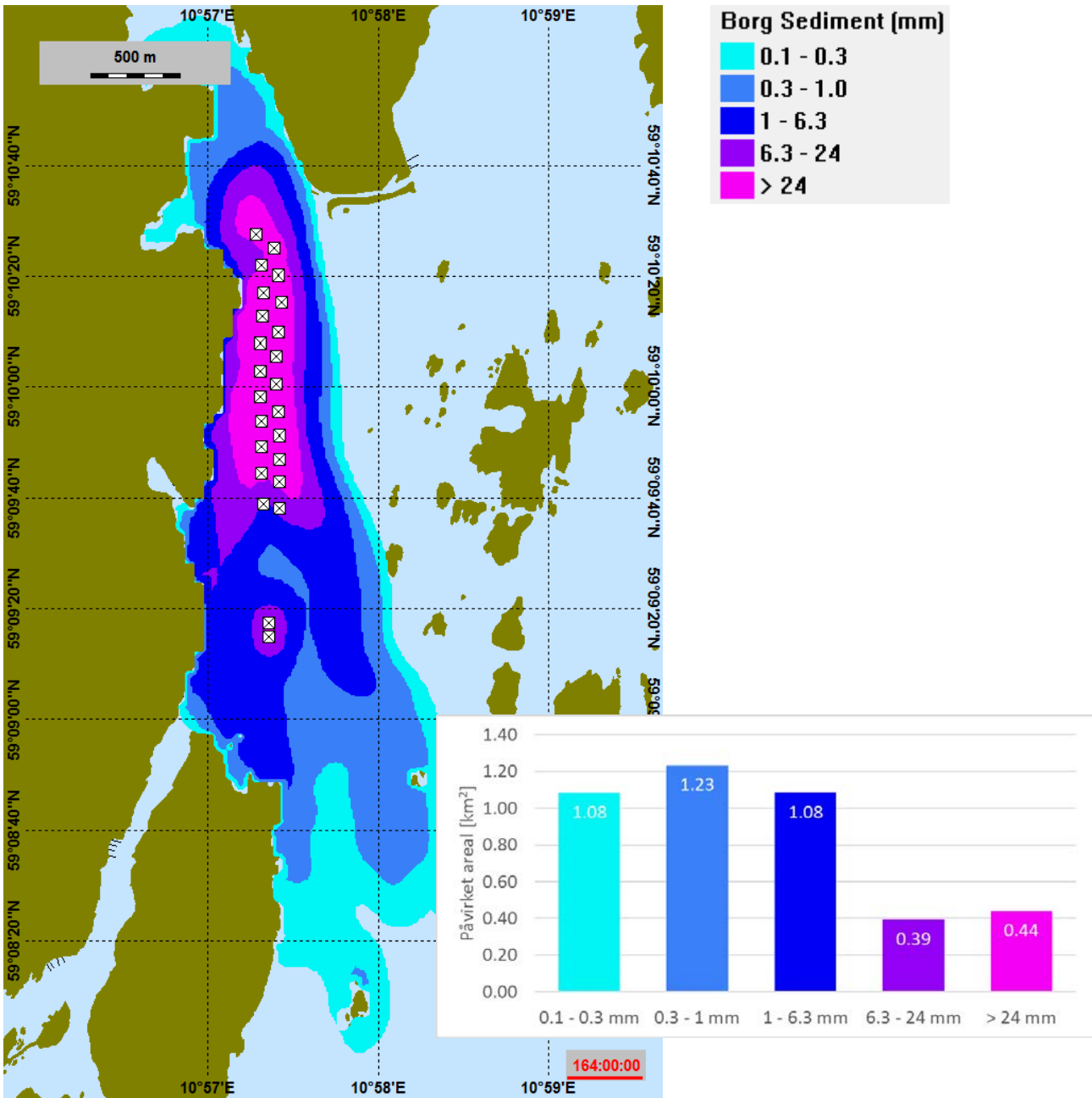
Tykkelsen på det sedimenterte forurensete materialet på slutten av den mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.12. Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet som viser at et areal på 4,23 km² rundt mudringsområdet er påvirket. Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten.

Figuren viser at sedimenteringen av forurenset materiale overstiger den øvre grensen på 24 mm under mudreoperasjonen. Dette skjer hovedsakelig nær området som blir mudret, og dette materialet vil sannsynligvis bli mudret igjen under mudreoperasjonen.

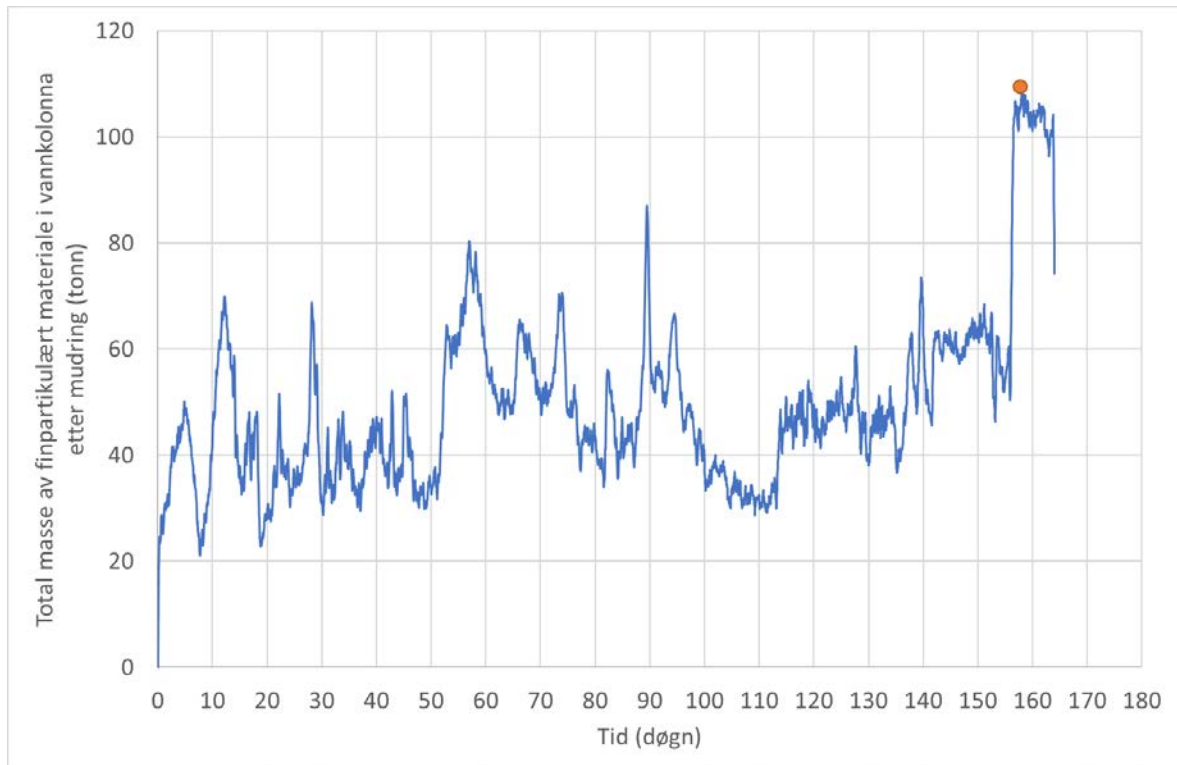
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.13. Den maksimale massen av suspendert materiale er 109 tonn og dette finner sted nær slutten av simuleringsperioden (Figur 6.14).

Figur 6.15 og Figur 6.16 viser maksimal partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under mudringsoperasjonen ved to forskjellige tidspunkt (60 døgn og 120 døgn), og Figur 6.17 viser det samme nær slutten av mudringsoperasjonen ved Borg 2, Flyndregrunnen. Disse tallene viser at spredning av partikler i vannsøylen foregår hovedsakelig nær eller sør for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen er vist i et vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er hovedsakelig under terskelen på 3 ppm. Likevel vil det kunne være tidspunkt under mudringen der vannlaget nær overflaten vil ha en høyere konsentrasjon av finpartikulært materiale. De øverste 3 meterne ved Borg 2, Flyndregrunnen viser en høyere partikkelkonsentrasjon nært mudringsstedet

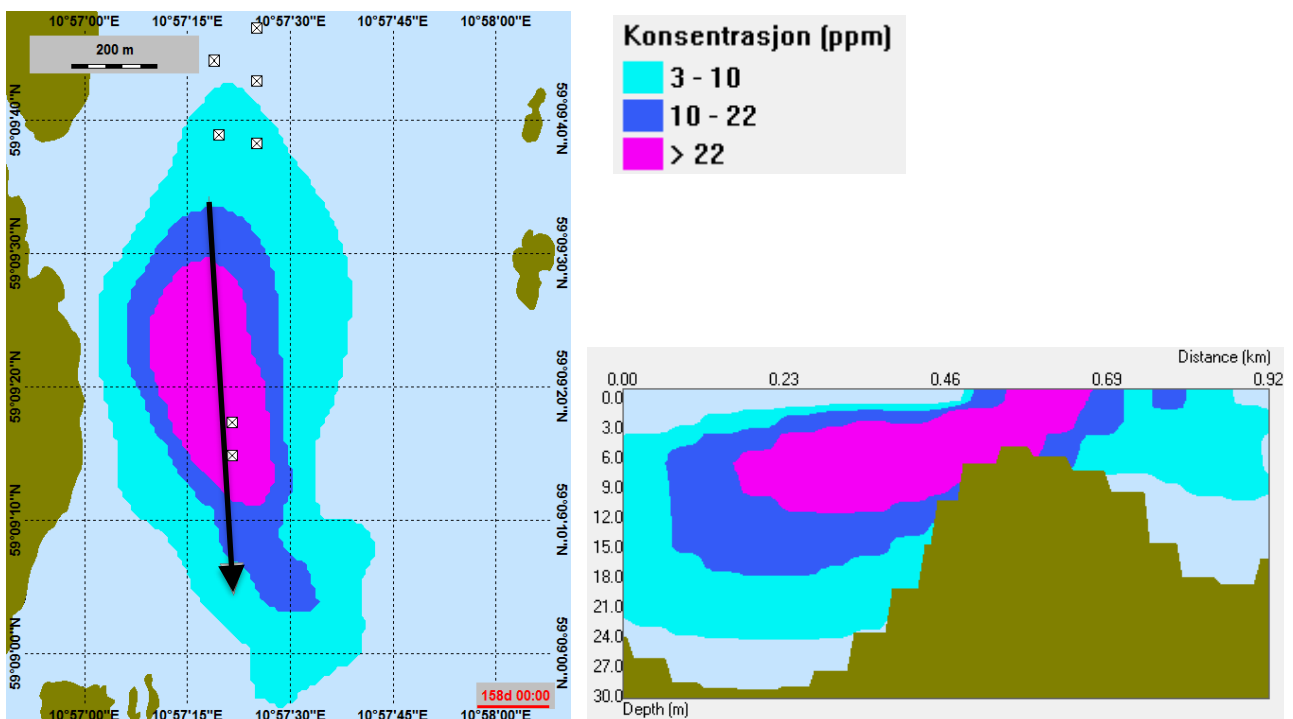
Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen ved Borg 1 og ved slutten av mudringsoperasjonen ved Borg 2 (Flyndregrunnen) er vist i Vedlegg B.2, Figur B. 7 – Figur B. 14.



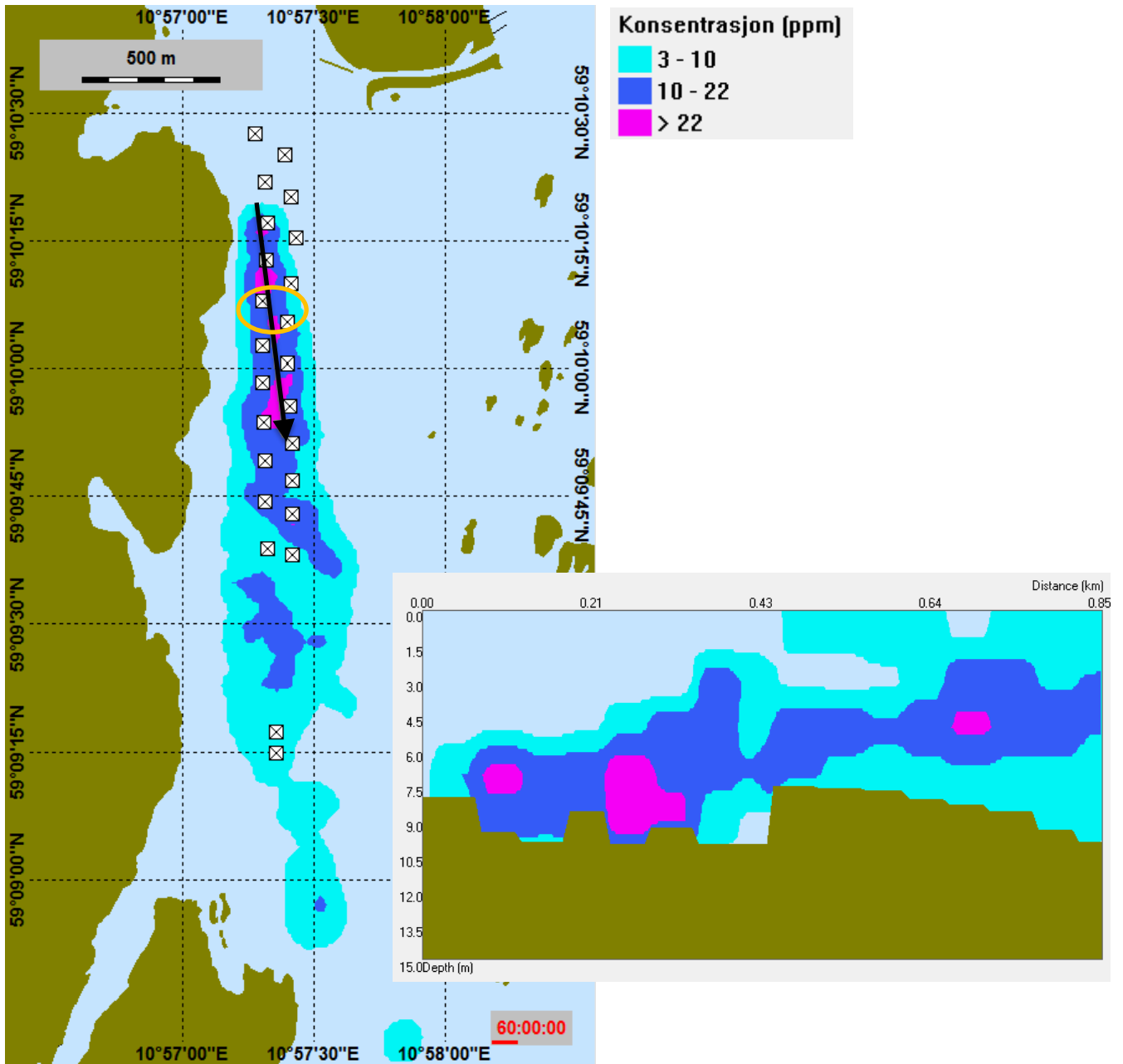
Figur 6.12 Sediment-tykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med bakgraver ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen). Deponering av forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



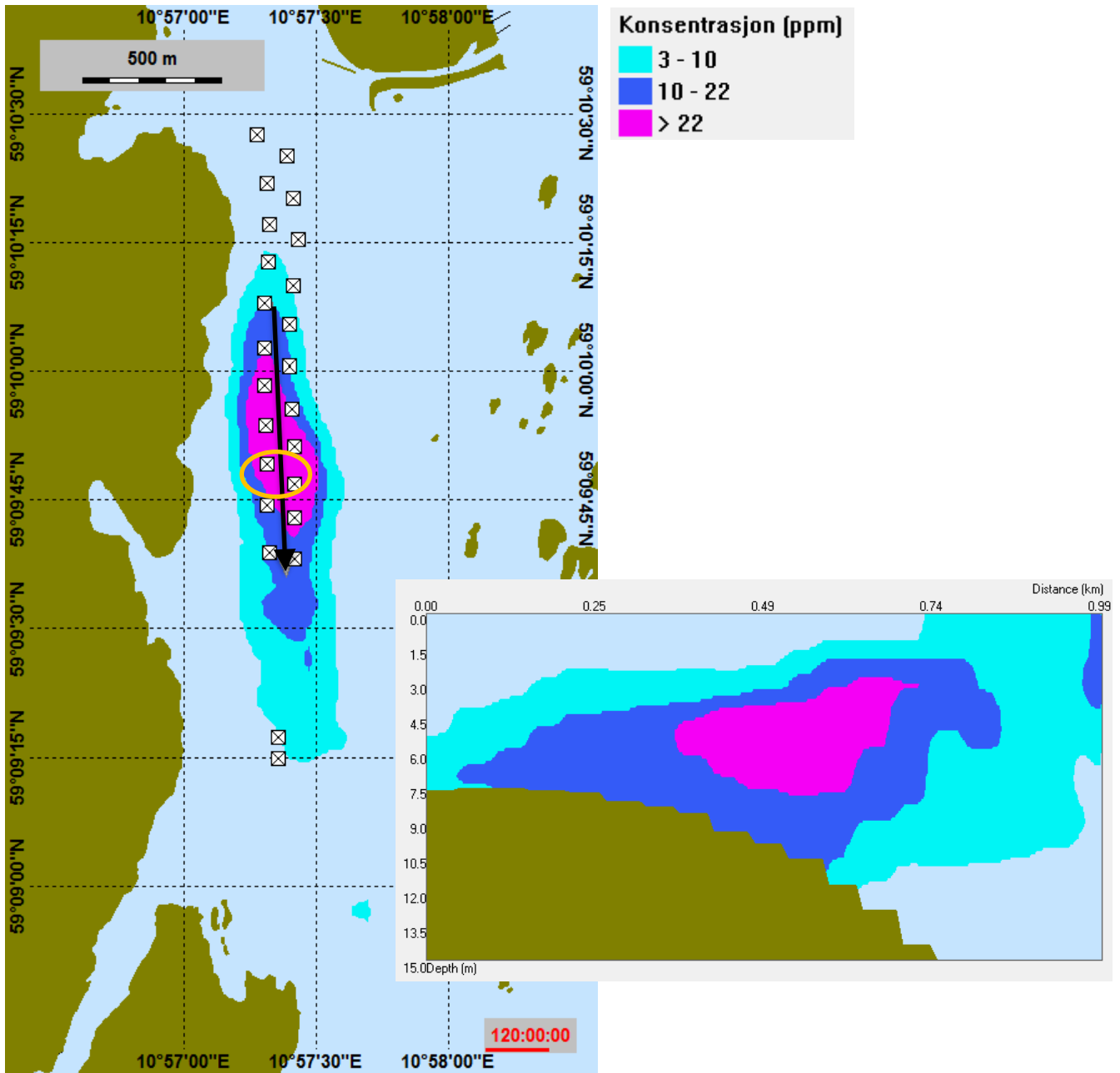
Figur 6.13 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 158 døgn, og total masse var da 109 tonn.



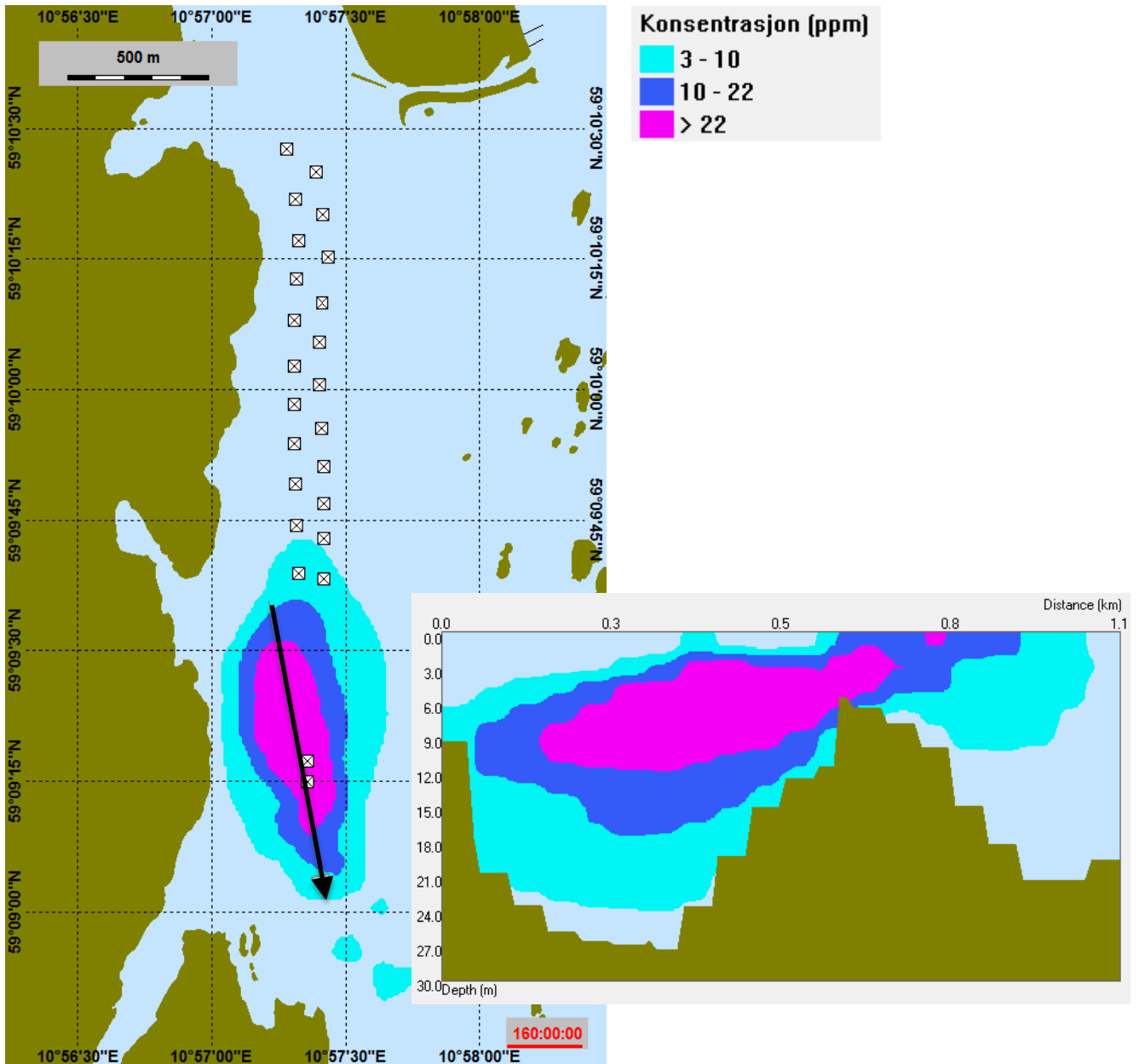
Figur 6.14 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 158 døgn inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonnen. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



Figur 6.15 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 60 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



Figur 6.16 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 120 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.*



Figur 6.17 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 160 døgn inn i mudreoperasjonen (Borg 2 Flyndregrunnen). Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.*

6.4 Mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire (Borg 1 og Borg 2)

6.4.1 Volum av mudrede masser

Dette scenariet beskriver mudring av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 (ned til -4,5 m, ref. sjøkartnull) og på Borg 2 (ned til -7 m, ref. sjøkartnull) med grabb i wire som en sett på som den mest hensiktsmessige mudringsteknikker for forholdene her. Det totale volumet for denne mudringsoperasjonen med 80 % konfidensintervall er 249 502 m³. For 95 % konfidensintervall er totalvolumet 232 421 m³.

6.4.2 Modelloppsett

Som for det de to foregående scenarioene, dekker ikke det tilgjengelige datasettet for strøm det nordligste området der det skal mudres. Derfor er utslippet av finpartikulært materiale fra den nordligste delen av Borg 1 (Røsvikrenna) flyttet sørover til området som er dekket av strømdatasettet.

Fra prøvetakingskampanjene beregnes volumene av sediment som skal mudres, se vedlegg A: "Mudringsvolum og inngangsdata til modelleringen". Med en antatt gjennomsnittlig *in situ* tetthet på 1,85 tonn/m³, konverteres volumraten til en masserate.

Den gjennomsnittlige produksjonshastigheten anslås til 210 tonn/time, og utslipp av finpartikulært materiale er satt til 5 % av produksjonsraten for mudring. Mudreoperasjonen ved Borg 1 er satt opp med 22 ulike mudrelokasjoner med lik mudrelengde. Modellen er satt opp med kontinuerlig utslipp gjennom hele vannsøylen med en total utslippshastighet på 10 tonn/time. Modelloppsettet for både 80 % og 95 % konfidensintervall er gitt i Tabell 6.4.

Tabell 6.4 Modellparametere for mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire.

| Parameter | 80 % konfidensintervall | 95% konfidensintervall |
|--|-------------------------|------------------------|
| Simuleringslengde | 14.8 uker (103.6 døgn) | 13.8 uker (96.6 døgn) |
| Utslippsrate (finpartikulært materiale) | 10 tonn/time | 10 tonn/time |
| Lengde på mudreoperasjonen ved Borg 1 | 48.5 døgn | 41.5 døgn |
| Lengde på mudreoperasjonen ved Borg 2: | | |
| – Duken | 4.8 døgn | 4.8 døgn |
| – Lubbegrunnen | 2.7 døgn | 2.7 døgn |
| – Løperungen | 1.7 døgn | 1.7 døgn |
| – Tjeldholmsten | 7.2 døgn | 7.2 døgn |
| – Vestre Fugleskjærsgrunnen | 38.7 døgn | 38.7 døgn |

6.4.3 Modellresultat 80 % konfidensintervall

Tykkelsen på det sedimenterte ikke-forurensete materialet på slutten av mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.18 and Figur 6.19 (kun Borg 1). Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet i begge figurene og viser at et totalt areal på 14,25 km² rundt mudringsområdet er påvirket (Figur 6.18). For kun Borg 1 (Figur 6.19) er arealet 2.57 m². Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten.

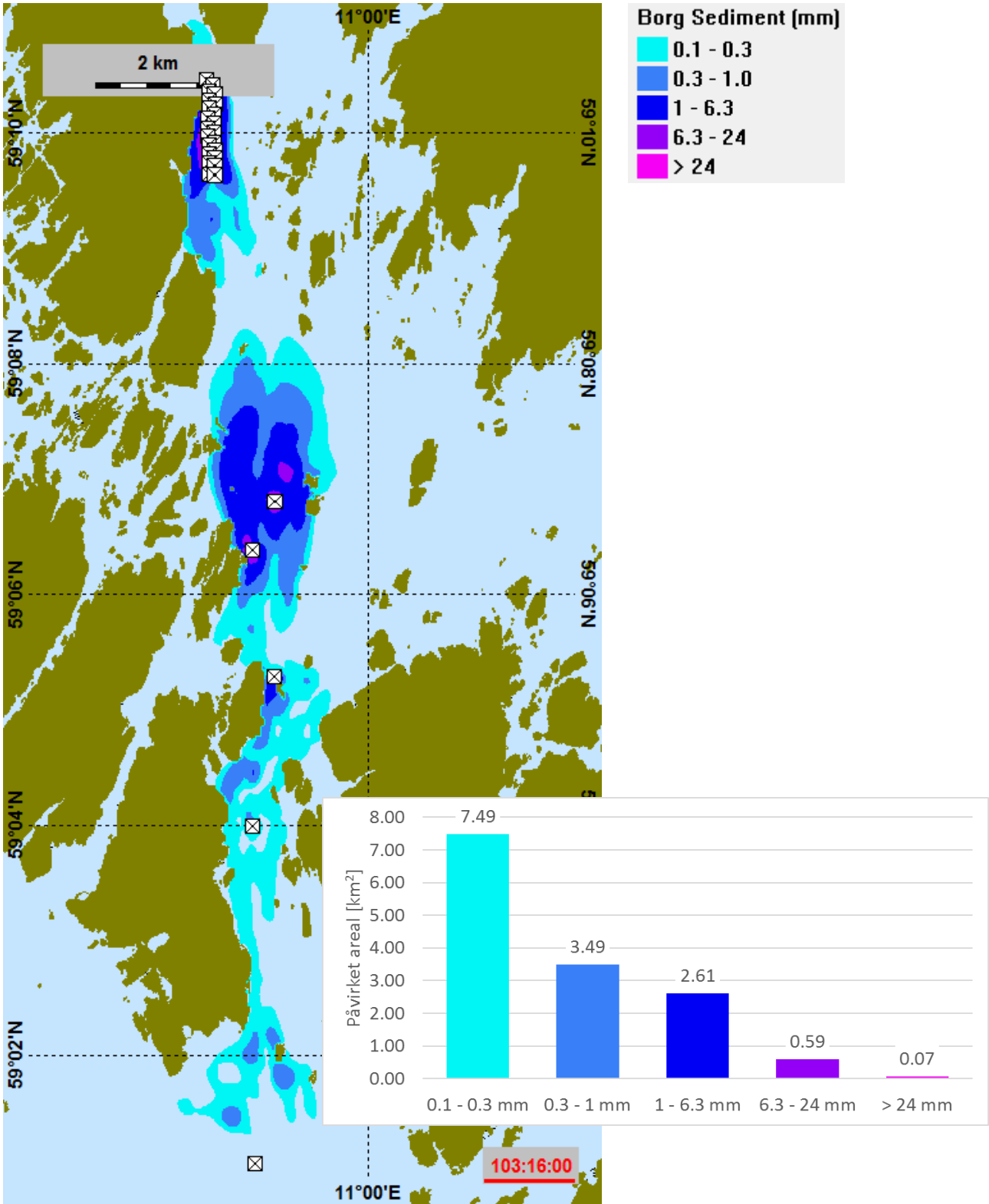
Figurene viser at sedimenteringen av ikke-forurenset materiale overstiger den øvre grensen på 24 mm under mudreoperasjonen. Dette skjer hovedsakelig nær området som blir mudret, og dette materialet vil sannsynligvis bli mudret igjen under mudreoperasjonen.

Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.20. Den maksimale massen av suspendert materiale er 293 tonn og dette finner sted 50 døgn og 18 timer inn i simuleringsperioden (Figur 6.21).

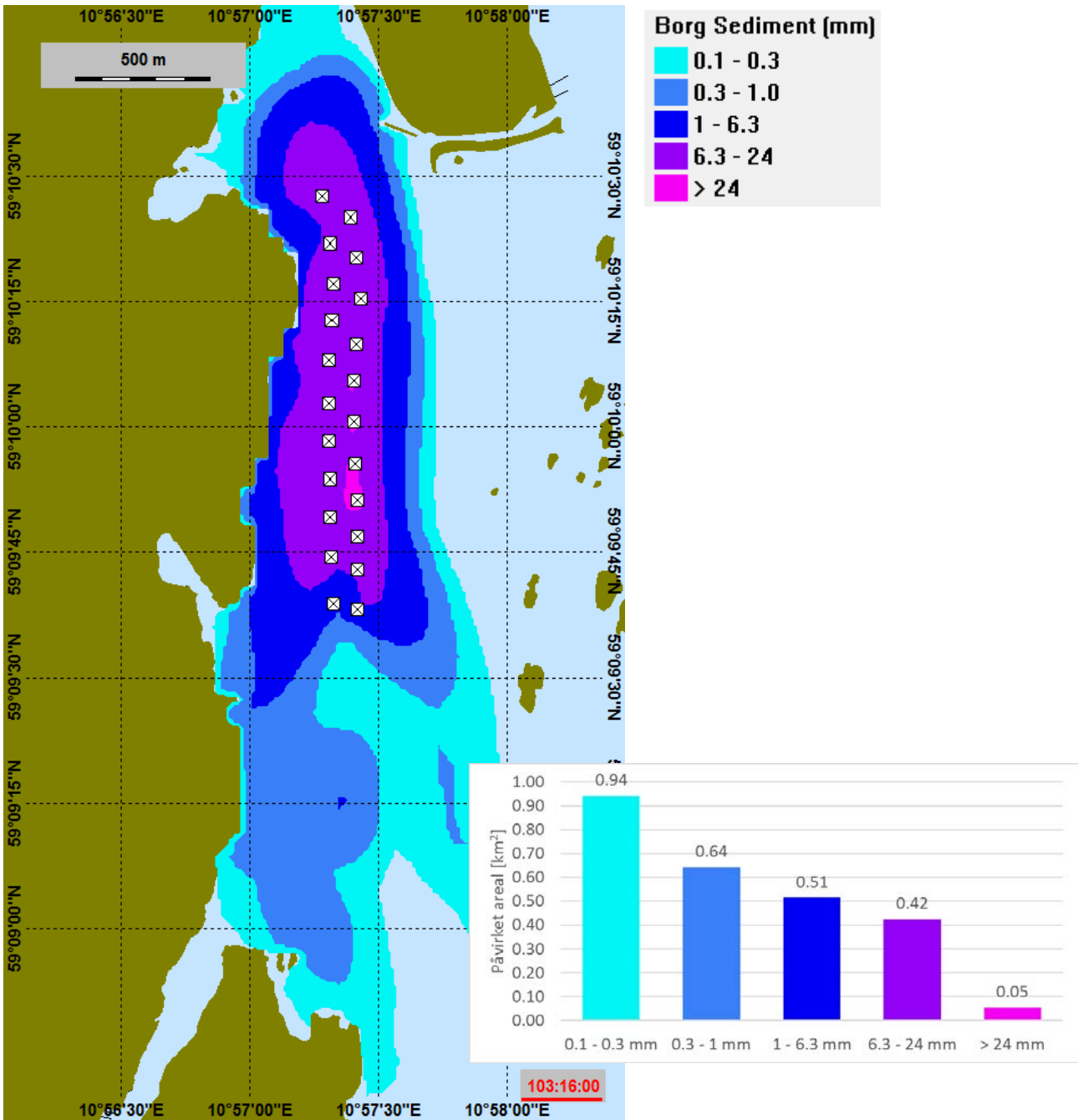
Den maksimale partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.22 til Figur 6.27 (Borg 1 (Figur 6.22), Tjeldholmsten (Figur 6.24), Løperungen (Figur 6.25), Lubbegrunden (Figur 6.26) og Duken (Figur 6.27)). Disse figurene viser at spredning av partikler i vannsøylen foregår hovedsakelig nær eller nedstrøms for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen er vist i et vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er hovedsakelig under terskelen på 3 ppm. Likevel vil det kunne være tidspunkt under mudringen der vannlaget nær overflaten vil ha en høyere konsentrasjon av finpartikulært materiale.

Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen ved Borg 1 og ved slutten av mudringsoperasjonen ved Borg 2 (Flyndregrunnen) er vist i Vedlegg B.3, Figur B. 15 og Figur B. 16.

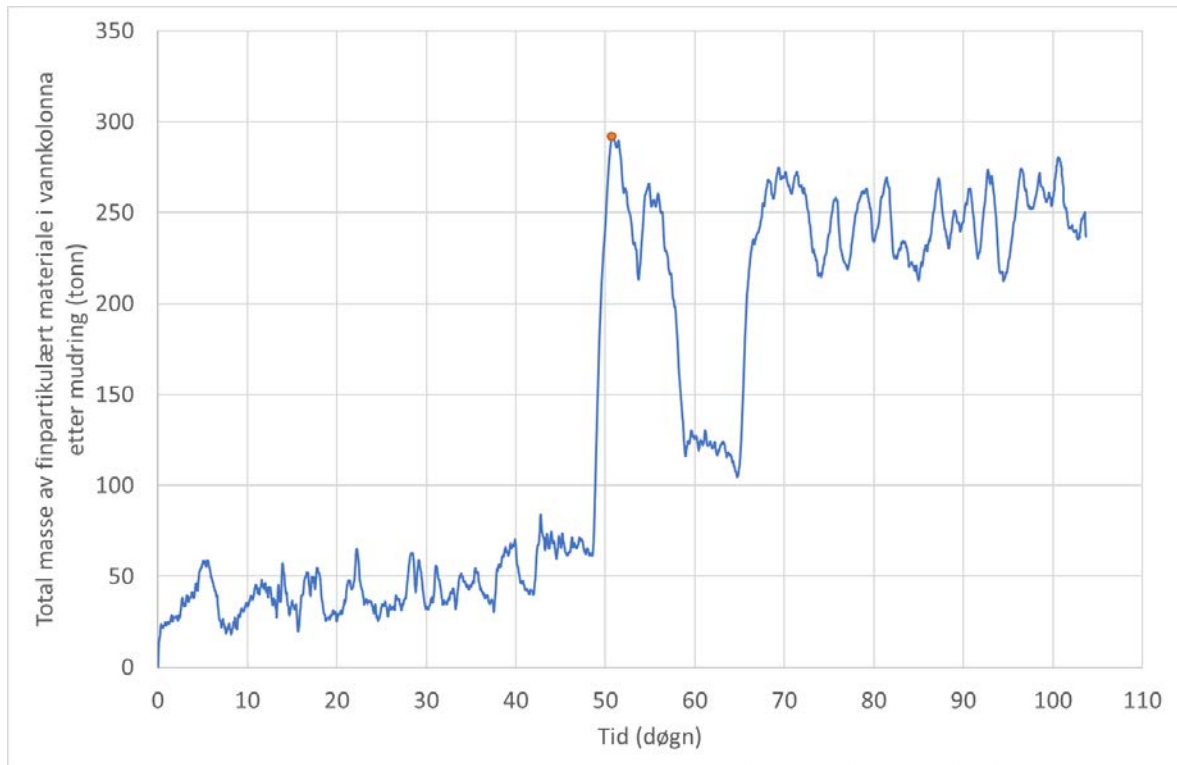
Spredningen av finpartikulært materiale i vannsøylen minker raskt etter at mudringsoperasjonen har stoppet. Et eksempel er vist i Figur 6.28. Det venstre kartet viser situasjonen ved slutten av mudringsaktiviteten, det midterste kartet 3 timer etter, og det høyre kartet 6 timer etter at mudring er ferdig på Borg 1. Det kan sees at konsentrasjonen i vannsøylen raskt reduseres etter at mudringen er ferdig.



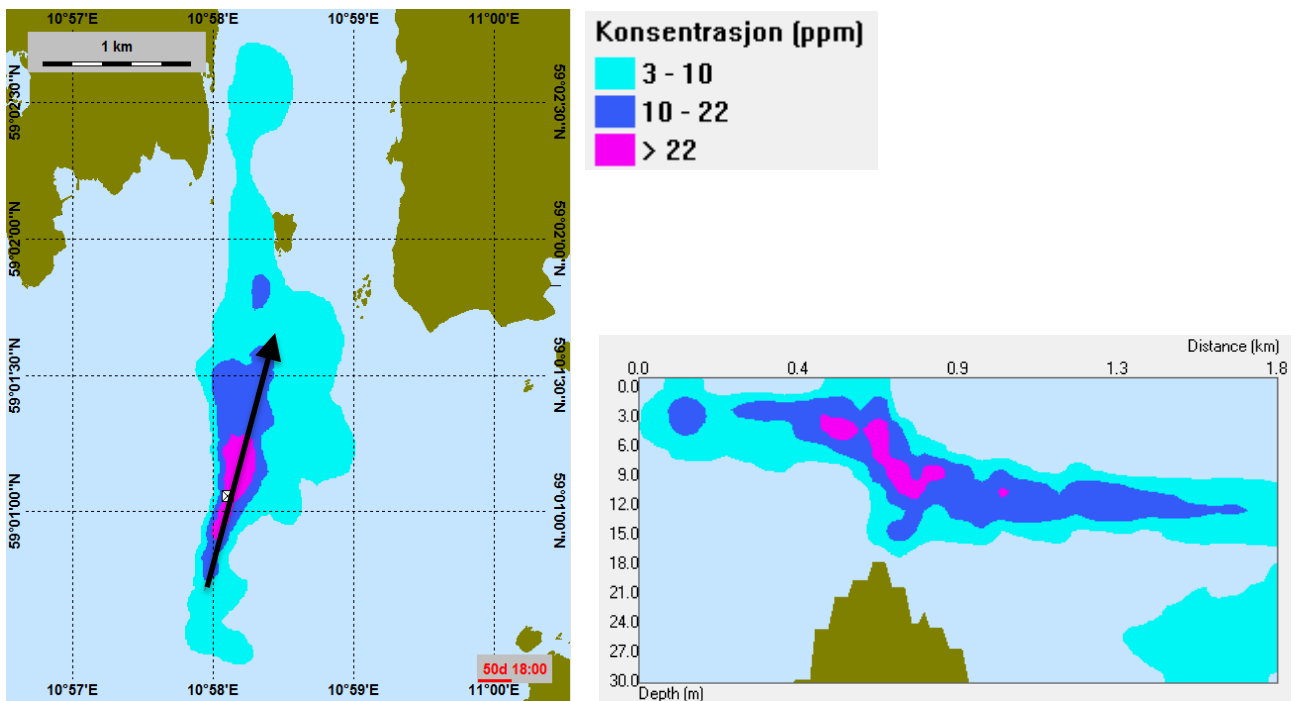
Figur 6.18 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med grabb i wire ved Borg 1 og Borg 2. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



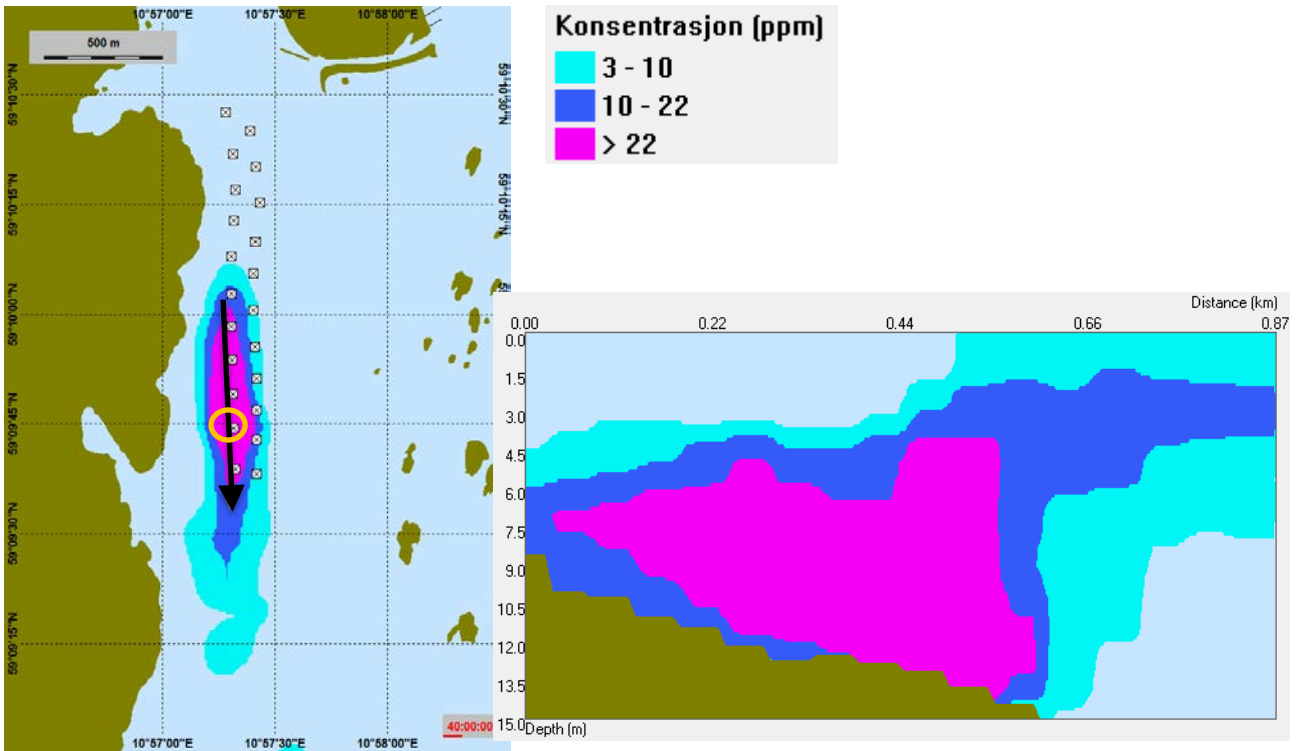
Figur 6.19 Sediment-tykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med grabb i wire ved Borg 1. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



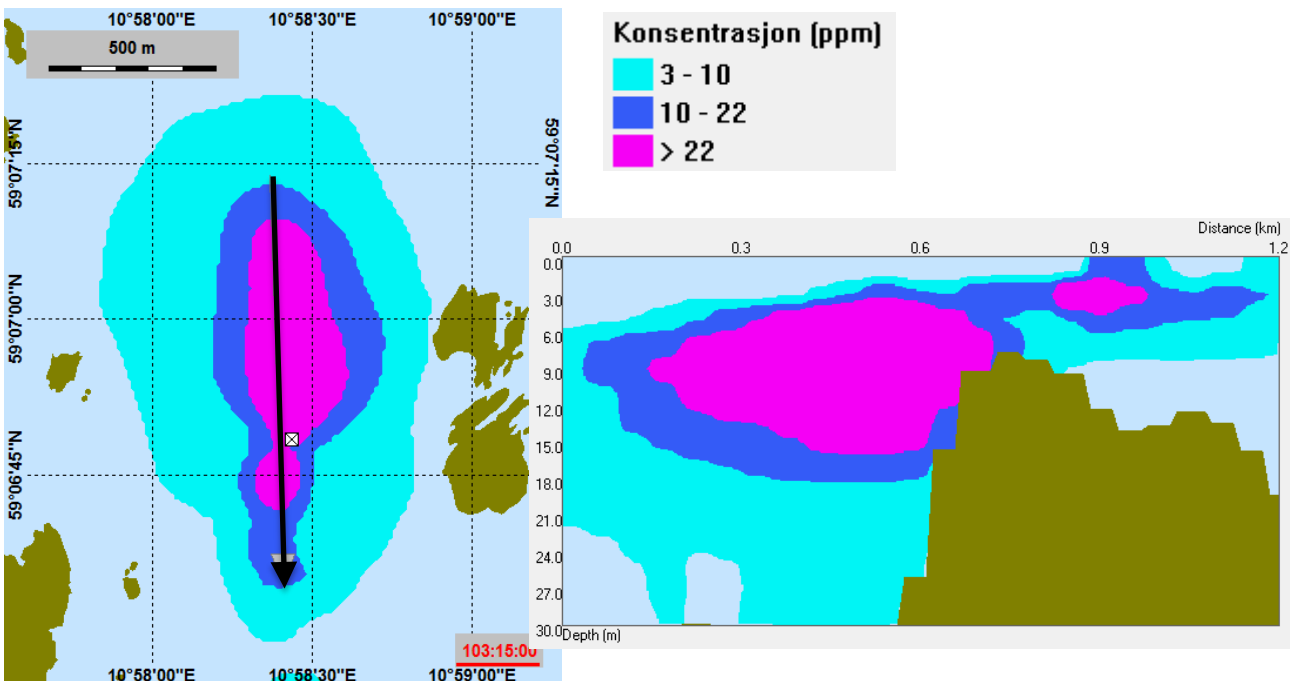
Figur 6.20 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 50 døgn og 18 timer. Totalmasse var da 293 tonn.



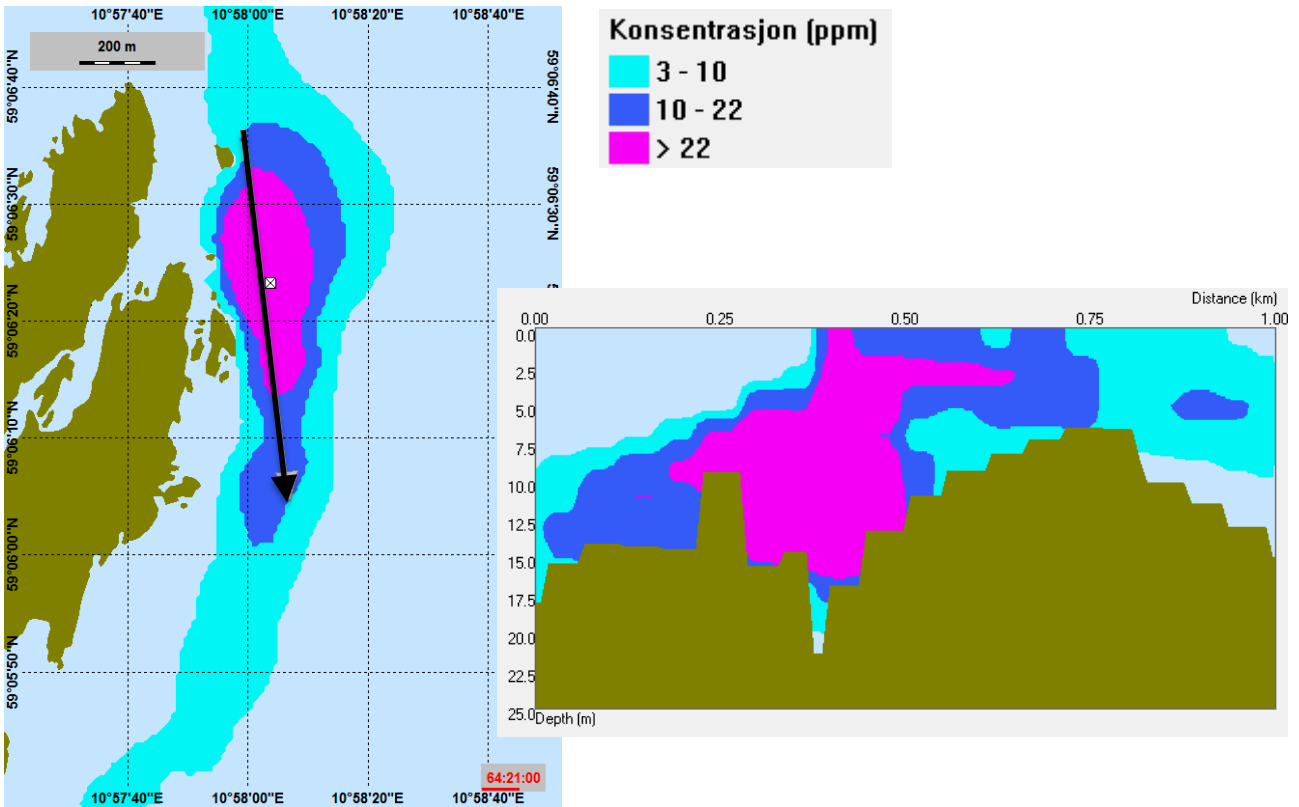
Figur 6.21 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgn og 18 timer inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



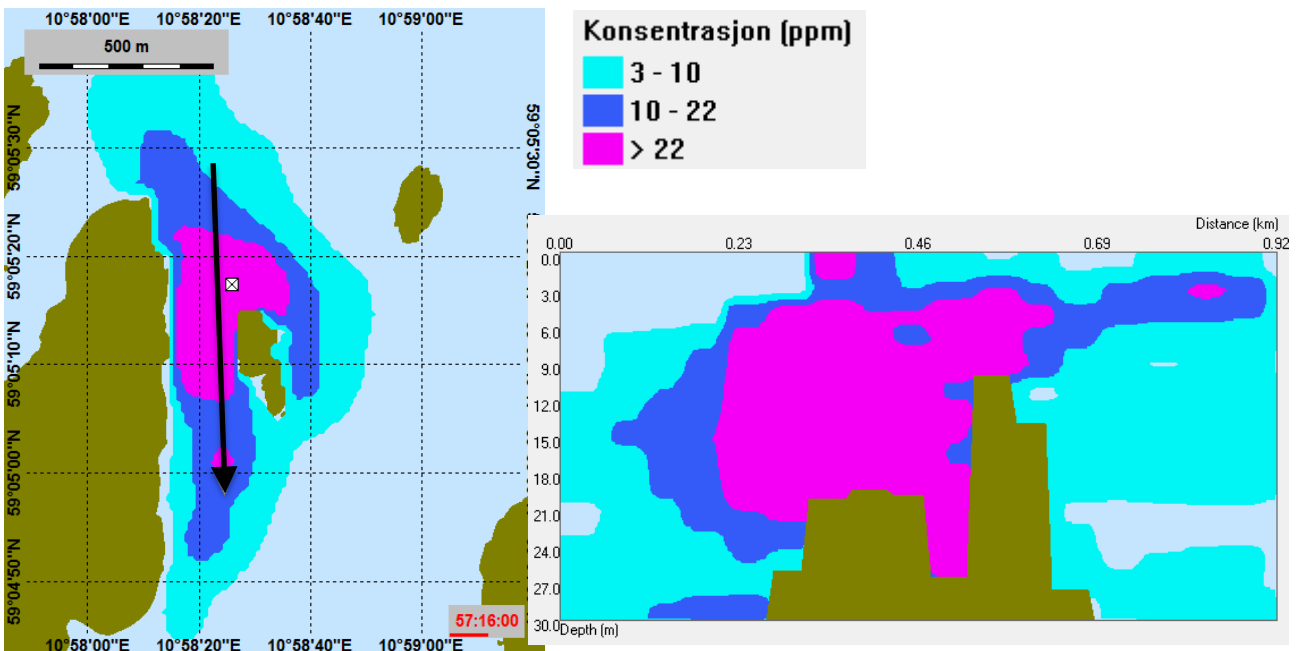
Figur 6.22 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 40 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



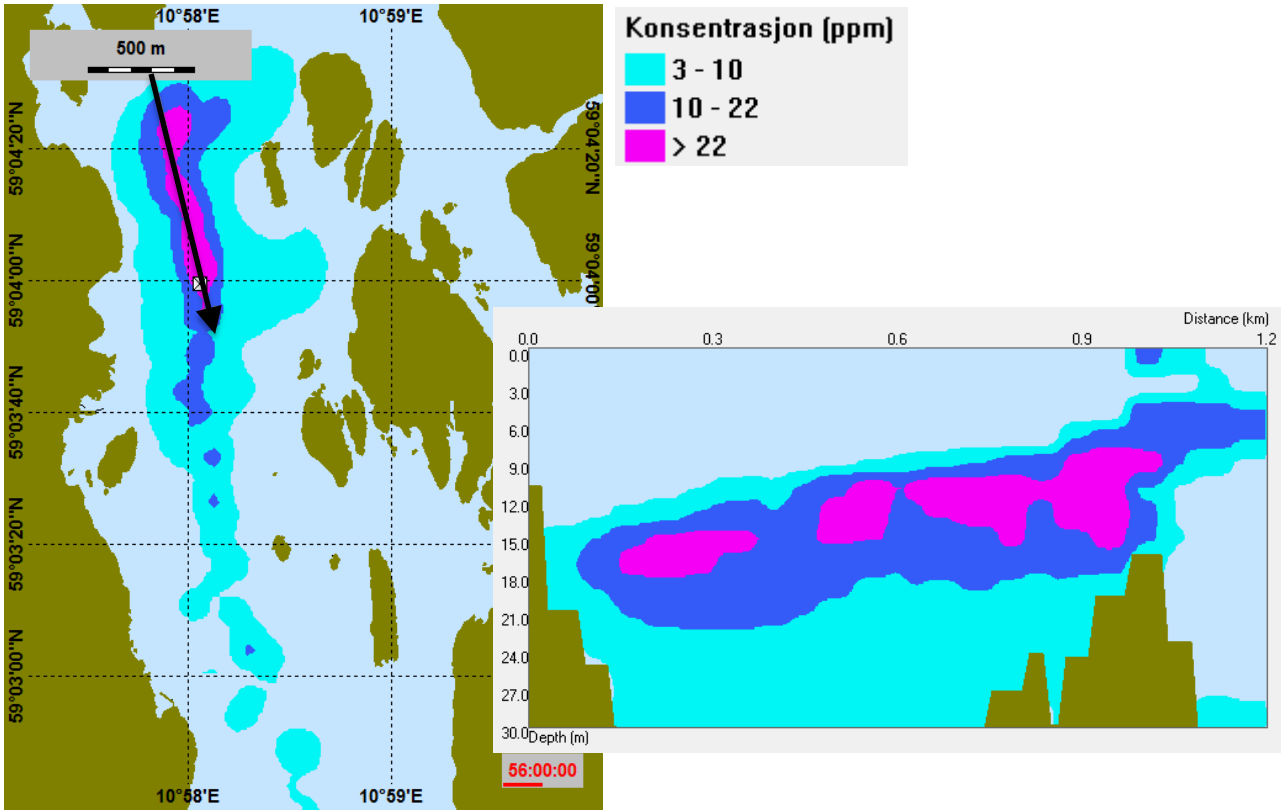
Figur 6.23 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Vestre Fugleskjærgrunnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall.



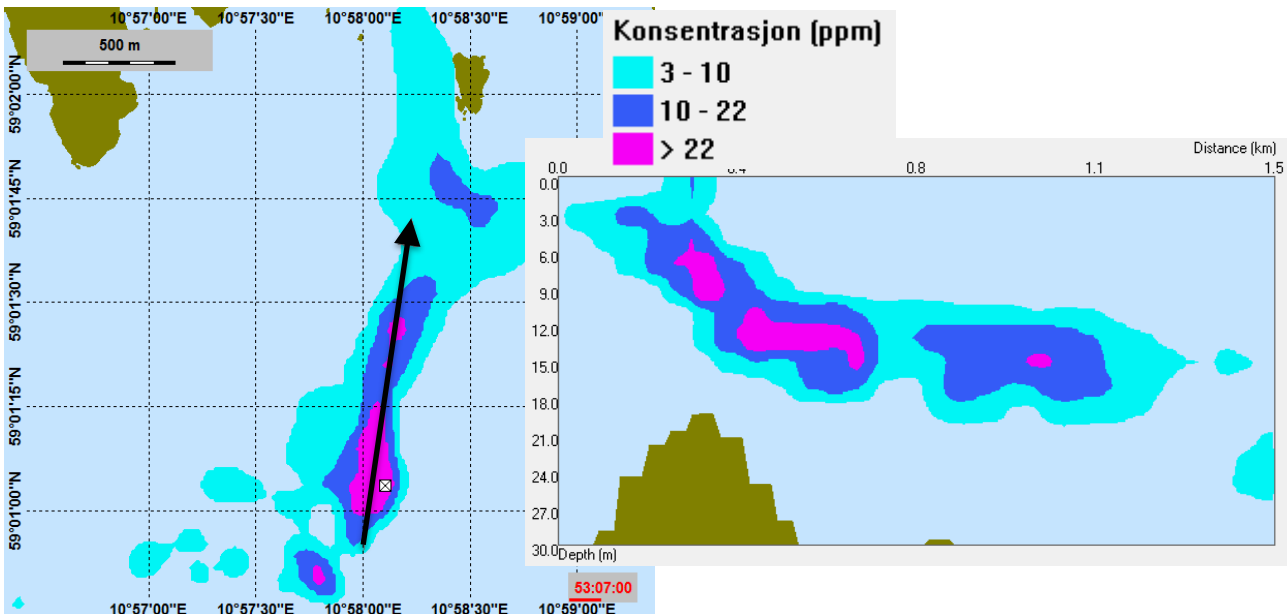
Figur 6.24 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Tjeldholmsten. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall.



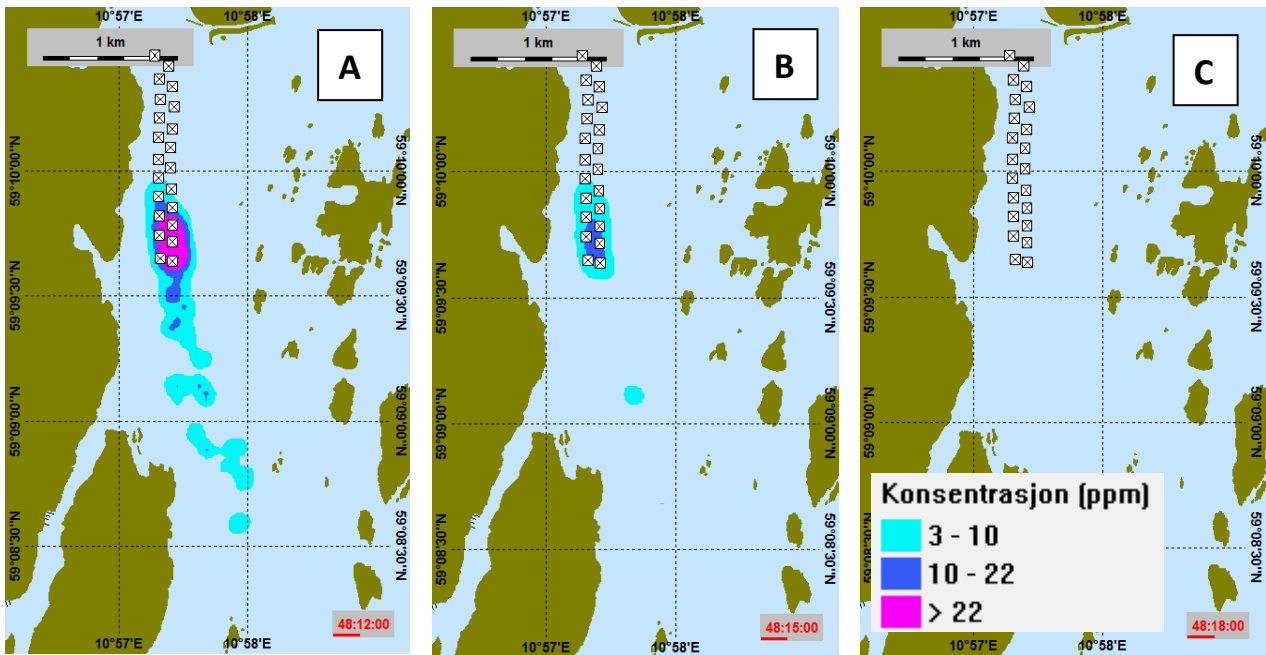
Figur 6.25 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Løperungen. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall.



Figur 6.26 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Lubbegrunnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall.



Figur 6.27 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Duken. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall.



Figur 6.28 Konsentrasjon av finpartikulært materiale i vannkolonnen ved A: slutten av mudringsoperasjonen, B: 3 timer etter og C: timer etter at mudringen er fullført.

6.4.4 Modellresultat 95 % konfidensintervall

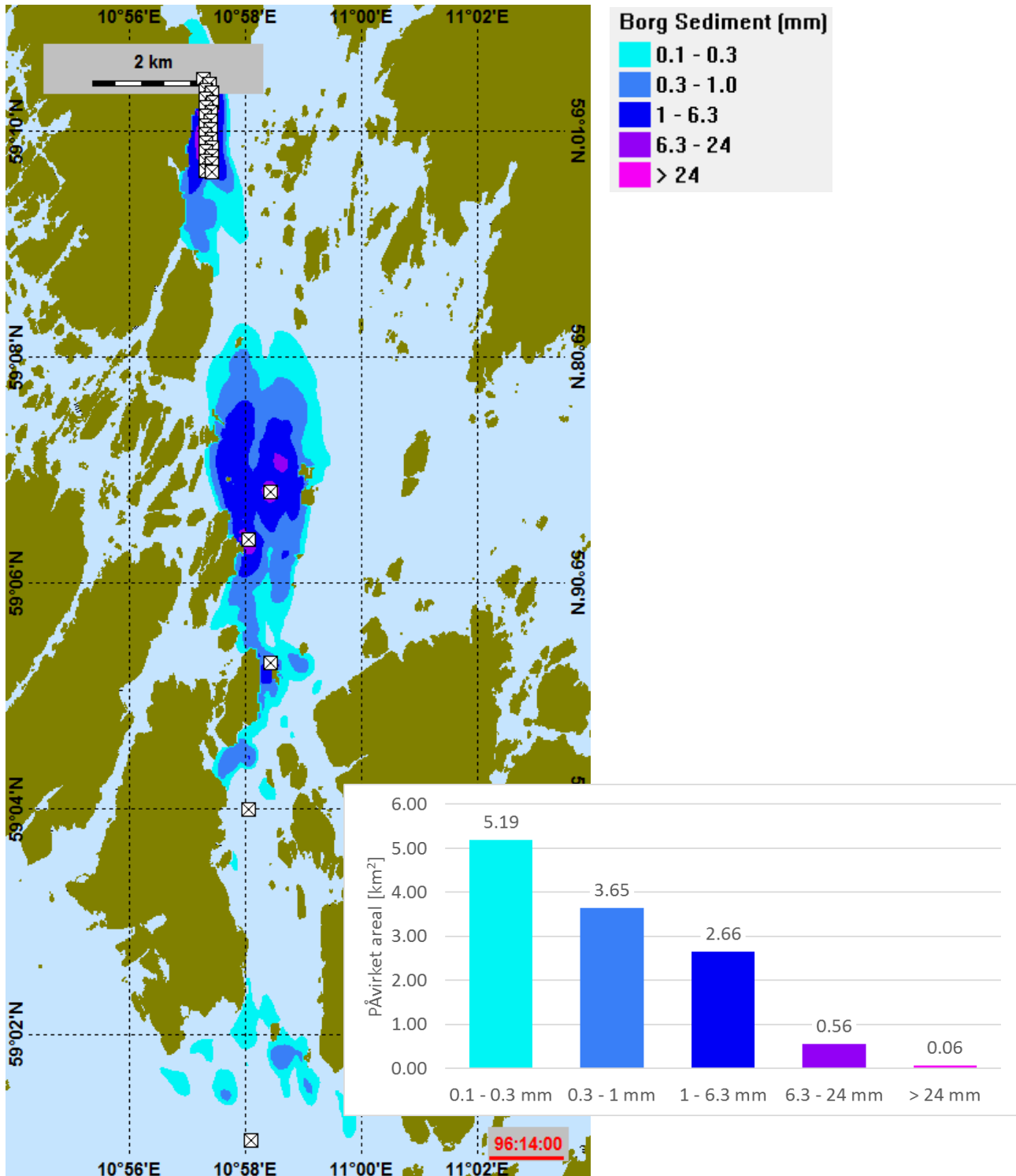
Tykkelsen på det sedimenterte ikke-forurensete materialet på slutten av mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.29 og Figur 6.30 (kun Borg 1). Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet i begge figurene og viser at et totalt areal på 12,11 km² rundt mudringsområdet er påvirket (Figur 6.29). For kun Borg 1 (Figur 6.30) er arealet 2,41 m². Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet i området som skal mudres, vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimentert på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten.

Figurene viser at sedimenteringen av ikke-forurenset materiale overstiger den øvre grensen på 24 mm under mudreoperasjonen. Dette skjer hovedsakelig nær området som blir mudret, og dette materialet vil sannsynligvis bli mudret igjen under mudreoperasjonen.

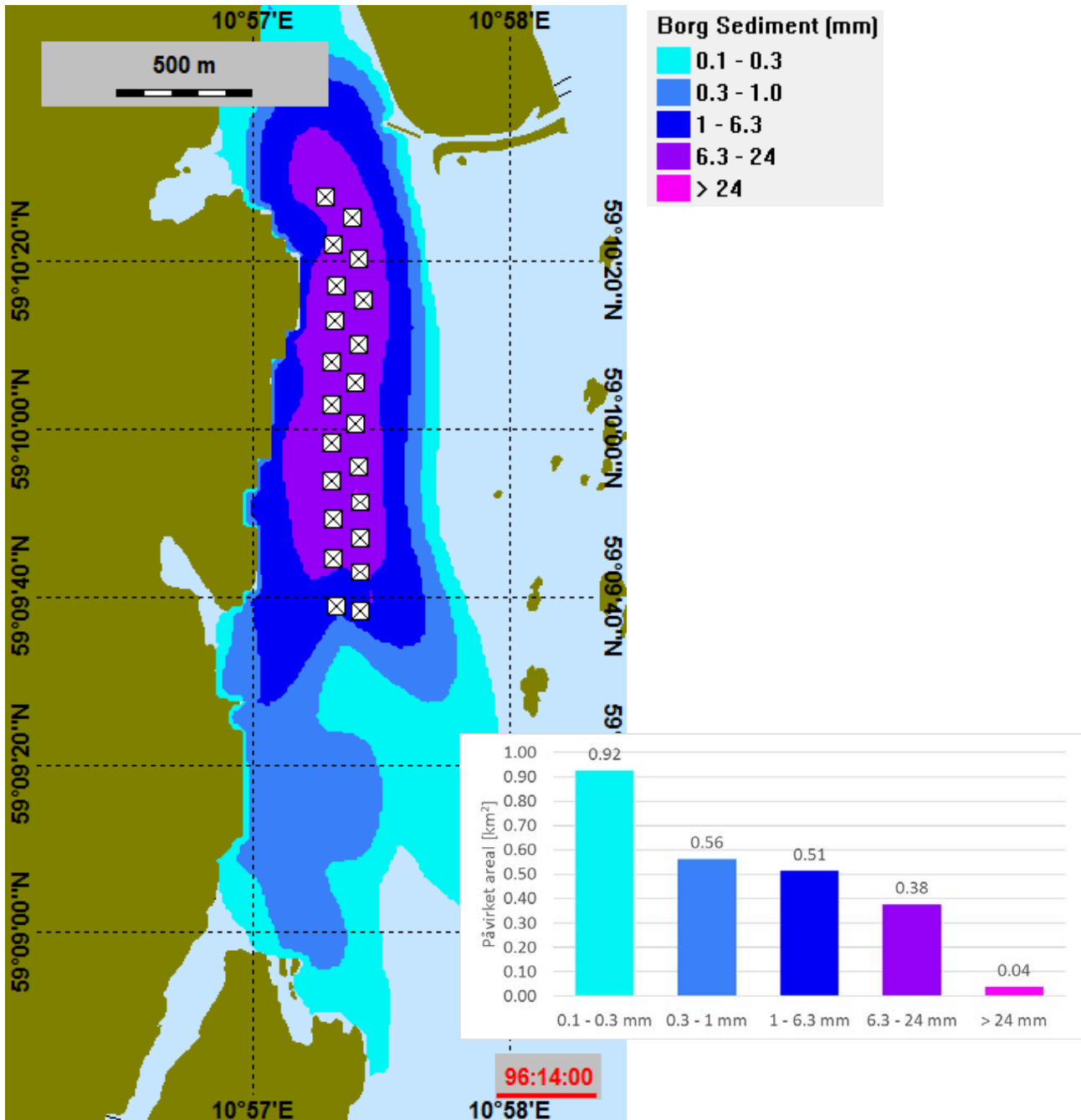
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.31. Den maksimale massen av suspendert materiale er 296 tonn og dette finner sted 47 døgn og 11 timer inn i simuleringsperioden (Figur 6.32).

Den maksimale partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.33 til Figur 6.38 (Borg 1 (Figur 6.33), Vestre Fugleskjærgrunnen (Figur 6.34), Tjeldholmsten (Figur 6.35), Løperungen (Figur 6.36), Lubbegrunnen (Figur 6.37) og Duken (Figur 6.38)). Disse figurene viser at spredning av partikler i vannsøylen foregår hovedsakelig nær eller nedstrøms for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen er vist i et vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er hovedsakelig under terskelen på 3 ppm. Likevel vil det kunne være tidspunkt under mudringen der vannlaget nær overflaten vil ha en høyere konsentrasjon av finpartikulært materiale.

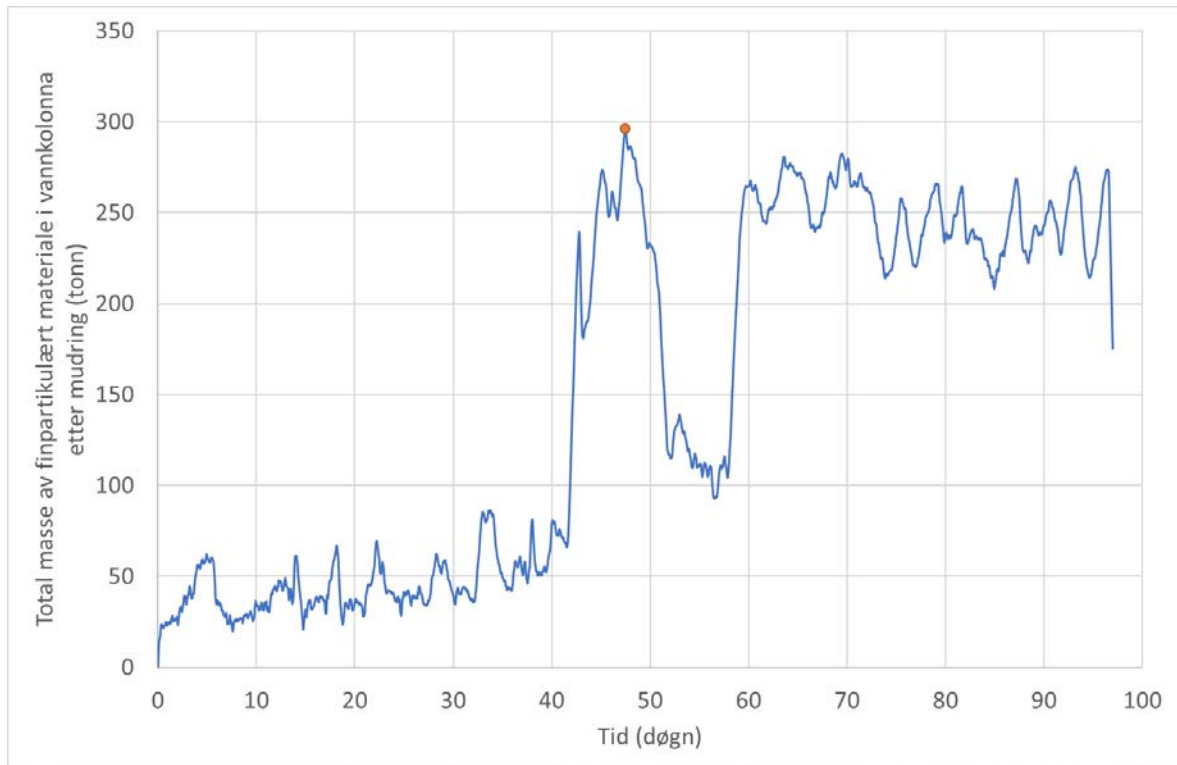
Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen ved Borg 1 og ved slutten av mudringsoperasjonen ved Borg 2 (Flyndregrunnen) er vist i Vedlegg B.4, Figur B. 17 and Figur B. 18.



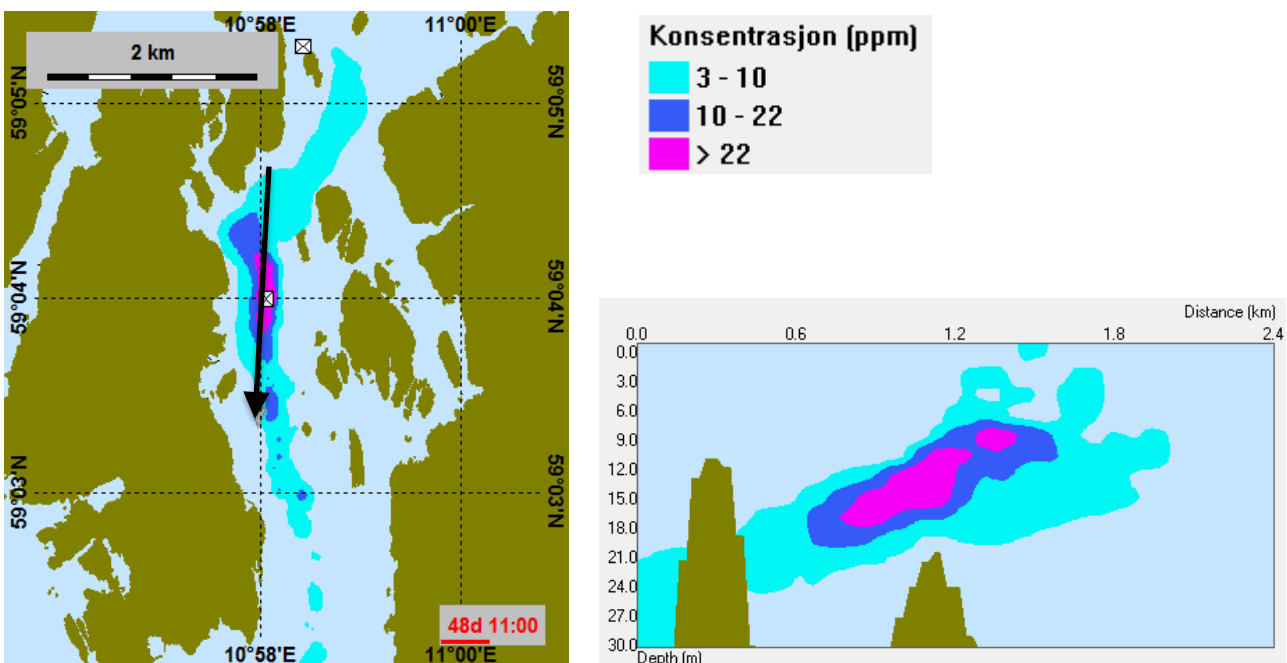
Figur 6.29 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med grabb i wire ved Borg 1 og Borg 2. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



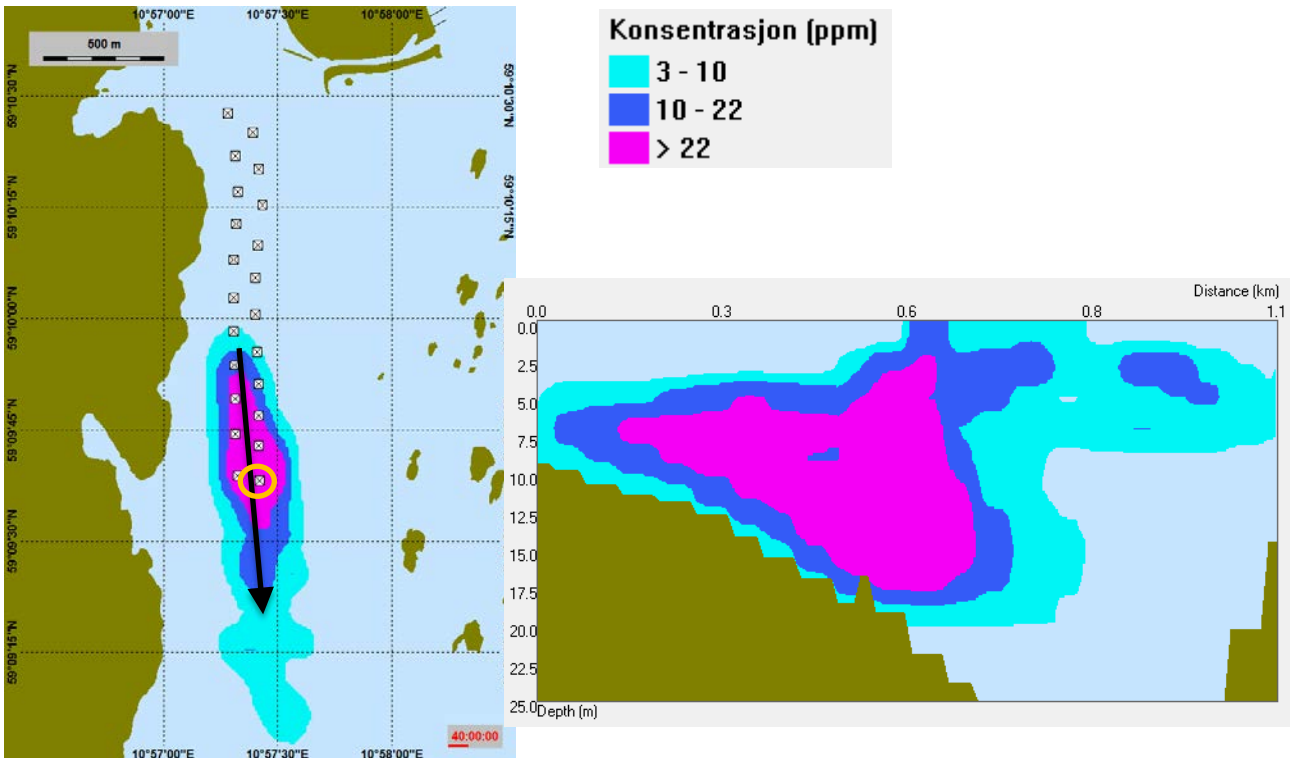
Figur 6.30 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med grabb i wire ved Borg 1. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



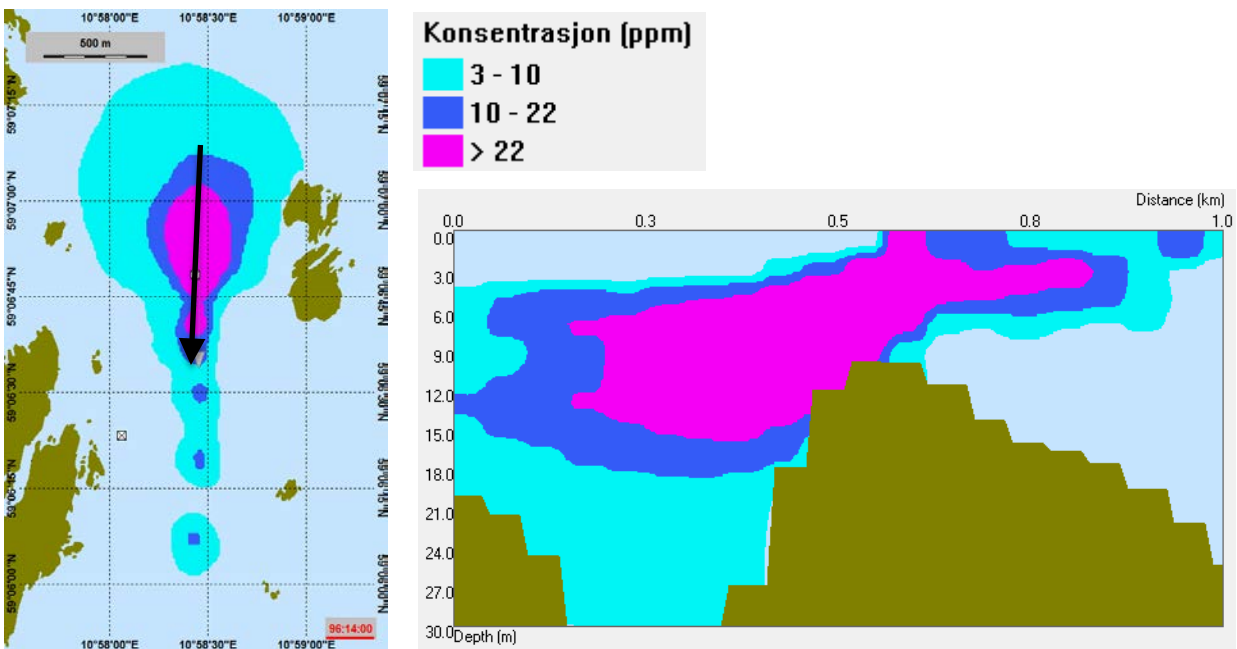
Figur 6.31 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 47 døgn og 11 timer. Totalmasse var da 296 tonn.



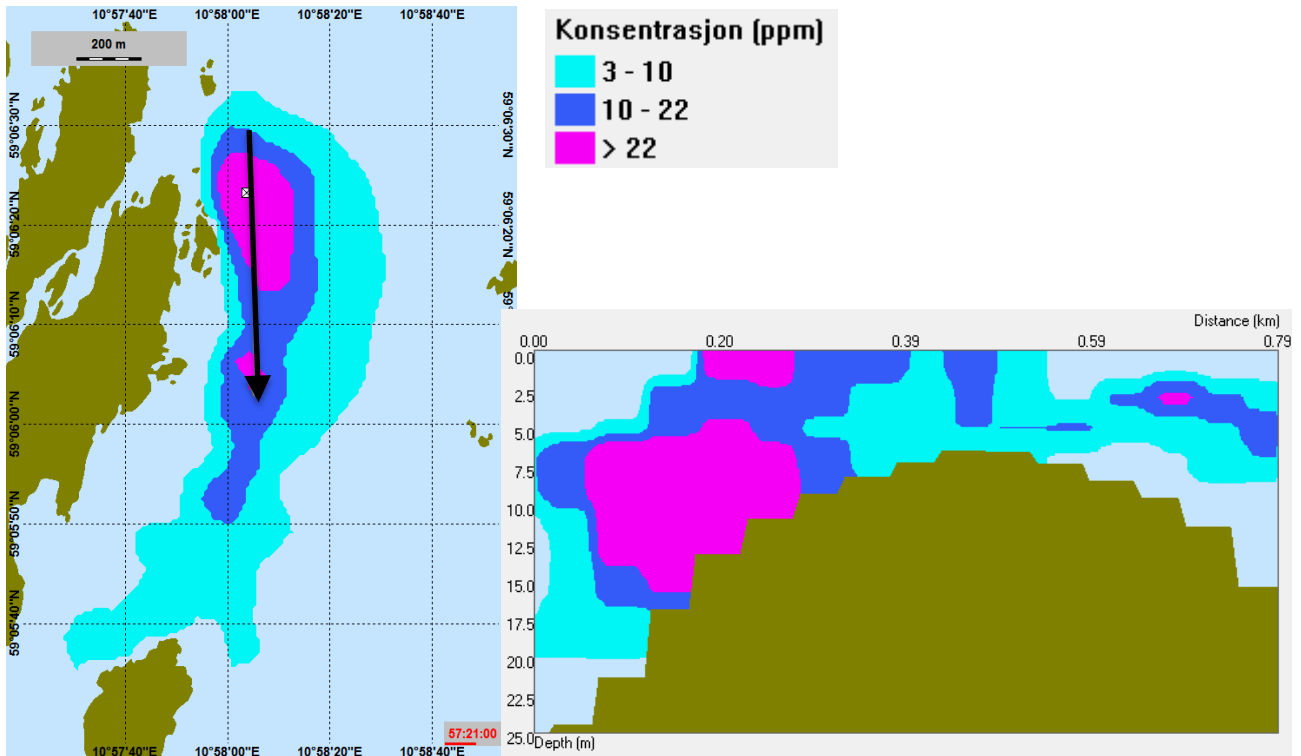
Figur 6.32 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 48 døgn og 11 timer inn i mudreoperasjonen (mudring ved Lubbegrunnen). Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



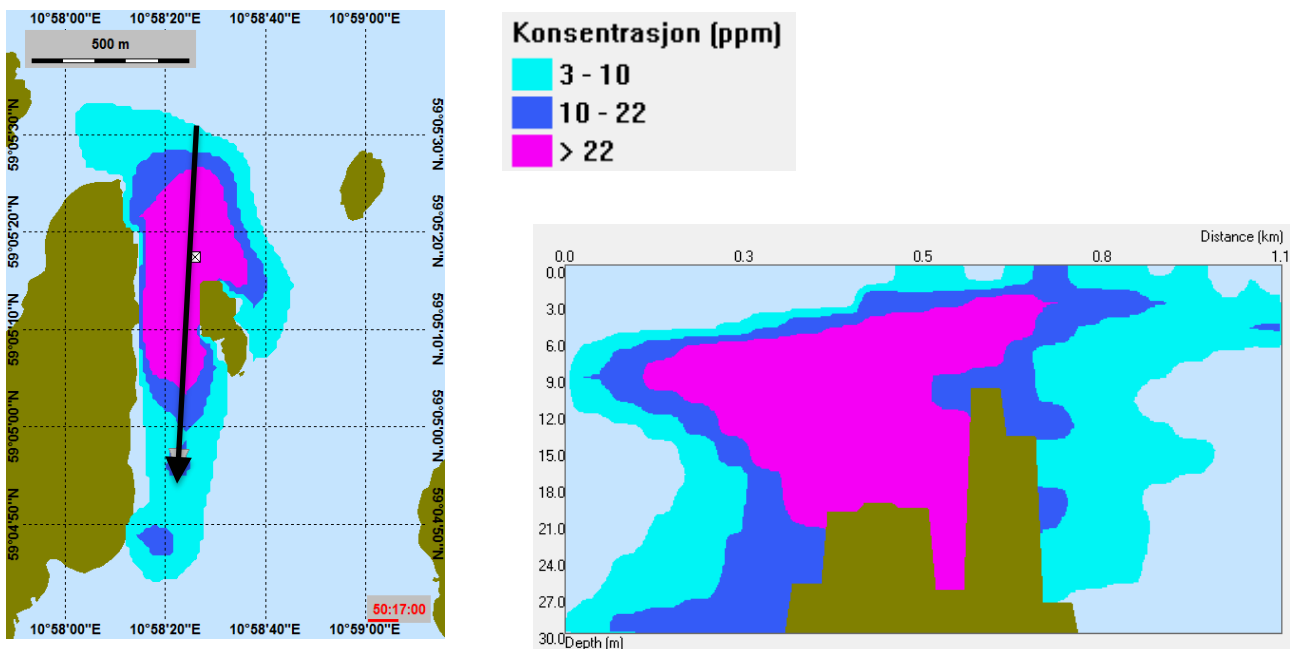
Figur 6.33 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 40 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



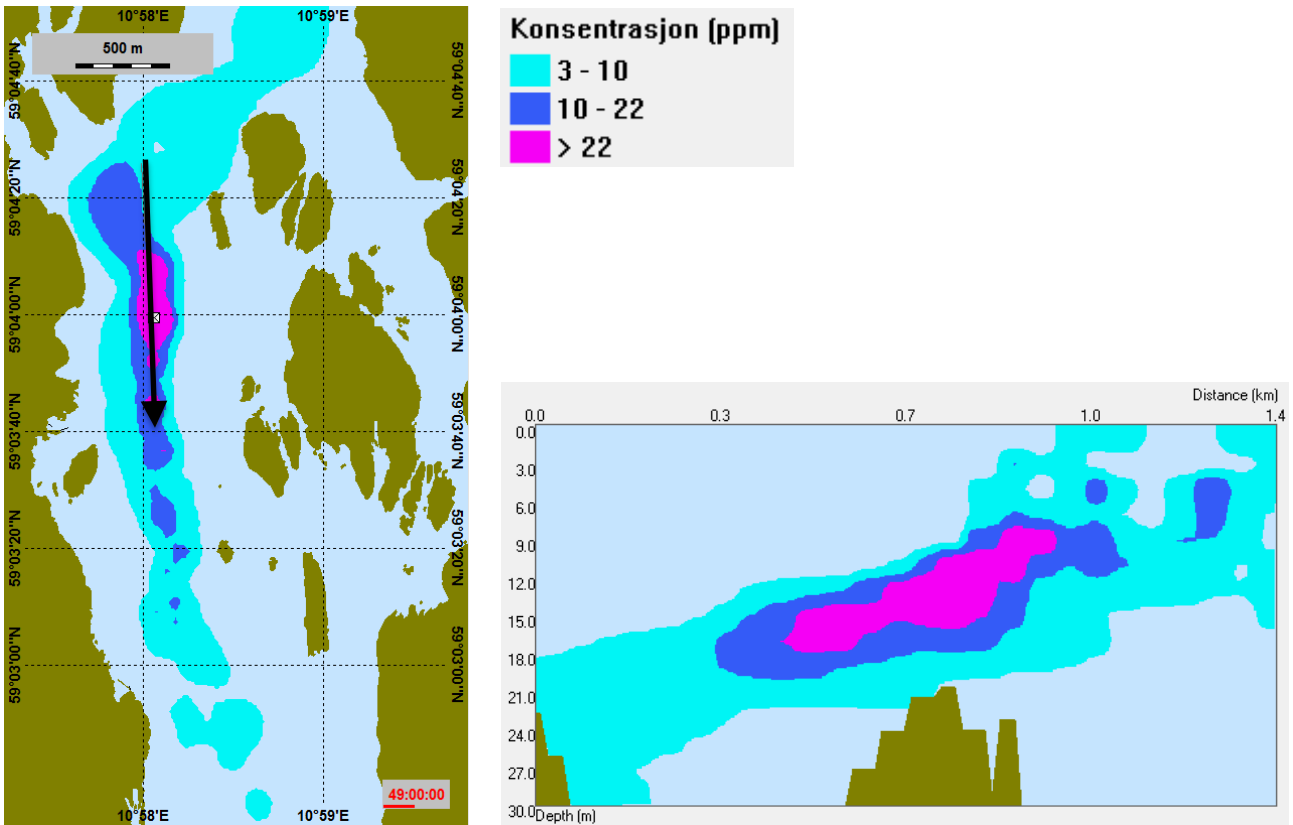
Figur 6.34 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Vestre Fugleskjærgrunnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.



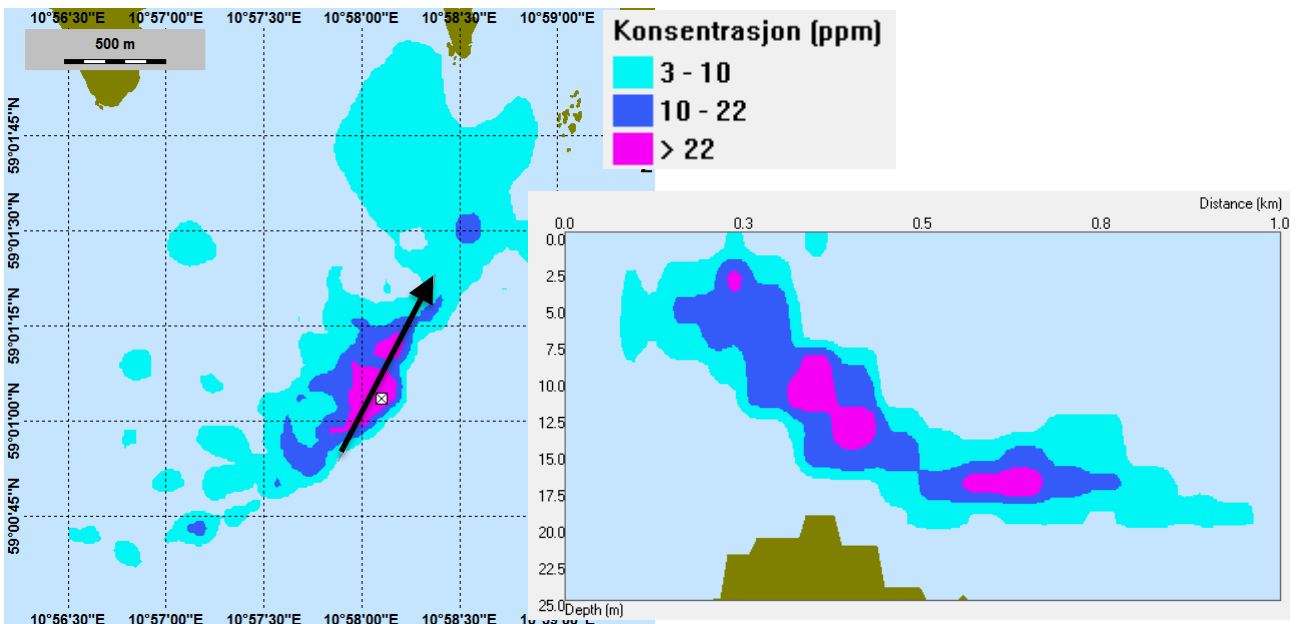
Figur 6.35 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Tjeldholmsten. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.



Figur 6.36 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Løperungen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.



Figur 6.37 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Lubbegrunnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.



Figur 6.38 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Duken. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.

6.5 Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med grabb i wire.

6.5.1 Volum av deponerte masser

Dette scenariet beskriver deponering av mudret ikke-forurenset materiale i Borg 1 (ned til -4,5 m, ref. sjøkartnull) og på Borg 2 (ned til -7 m, ref. sjøkartnull) som har blitt mudret med grabb i wire. Det totale volumet for denne operasjonen med 80 % konfidensintervall er 249 502 m³. For 95 % konfidensintervall er totalvolumet 232 421 m³. Deponeringen er modellert for to ulike deponi; Møkkalasset og Svaleskjær.

6.5.2 Modelloppsett

Modellen er satt opp med gjentatte sykluser gjennom hele simuleringsperioden. Mengden av deponert materiale som er tilgjengelig for dispensering i vannsøylen, starter å spre seg rett under diffusorenes utløp. Mengden masse som er tilgjengelig til spredning er satt til 5 %. Hovedmassen av det deponerte materialet vil falle til sjøbunnen som en tetthetsstrøm.

Utslippsraten for det deponerte materialet som kan spre seg i vannsøylen (5 % av totalvolum) er 83 tonn/time under utslippets varighet (0,73 timer). Det er en pause mellom hver utslipp på 5,83 timer. I simuleringene er utslippet av finpartikulært materiale fra deponeringen fordelt over vannsøylen under 25 m vanddyp (dypet til utslippsrøret). Samme oppsett har blitt brukt til både Møkkalasset og Svaleskjær. Modellparametrene for utslippet er oppsummert i Tabell 6.5.

Tabell 6.5 Modellparametre for deponering av ikke-forurensete masser etter mudring med grabb i wire.

| Parameter | 80 % konfidensintervall | 95% konfidensintervall |
|---|-------------------------|------------------------|
| Simuleringslengde | 14,8 uker (103,6 døgn) | 13,8 uker (96,6 døgn) |
| Utslippsrate (finpartikulært materiale) | 83 tonn/time | 83 tonn/time |
| Lengde på hvert utslipp | 0,73 timer | 0,73 timer |
| Tid mellom utslipp | 5,83 timer | 5,83 timer |
| Utslippsdyp (dypet til diffusoren) | 25 m | 25 m |

6.5.3 Modellresultat Møkkalasset

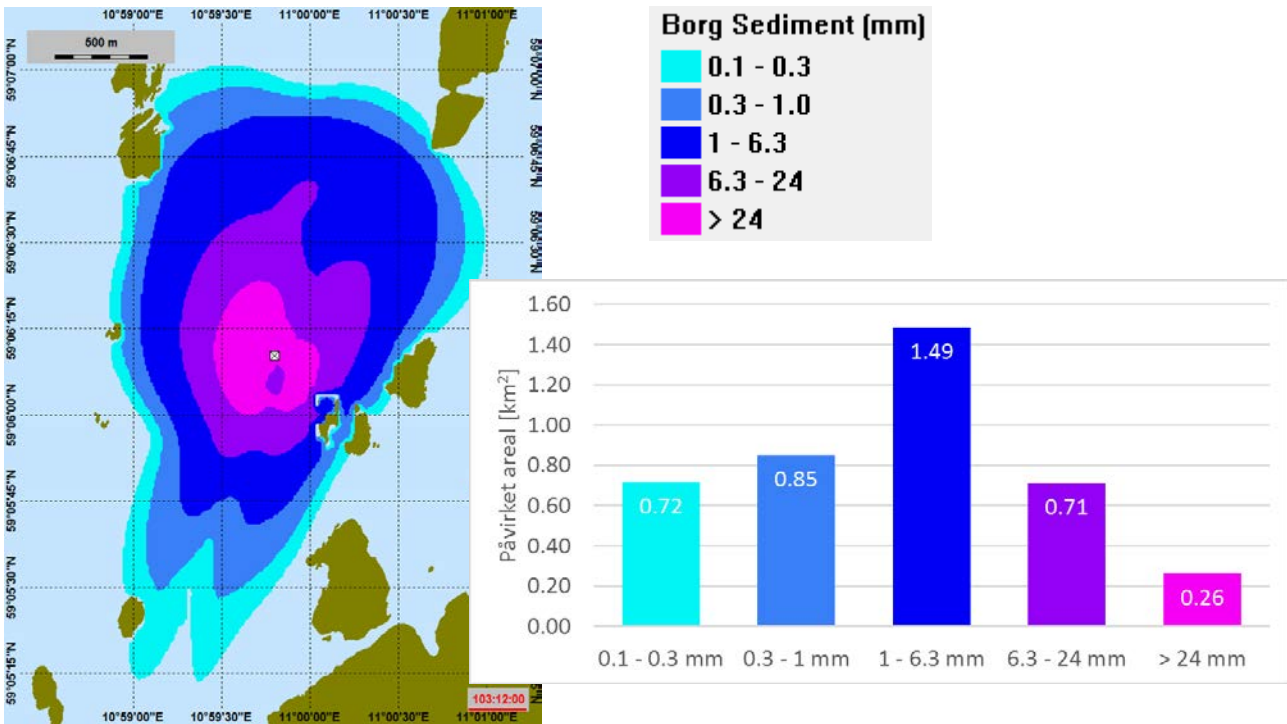
Sediment-tykkelsen og spredning av finpartikulært materiale som er forbundet med deponeringen ved Møkkalasset etter mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire ved Borg 1 og 2, er vist i Figur 6.39. Sediment-tykkelsen er gitt ved slutten av modellperioden for 80 % konfidensintervall. Det berørte området for hvert intervall er vist i diagrammet. Dette diagrammet viser at et maksimumsareal på 4,03 km² rundt utslippsområdet er påvirket.

Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.40. Maksimal masse av suspendert materiale er 247 tonn og opptrer 5 dager og 12 timer inn i simuleringsperioden.

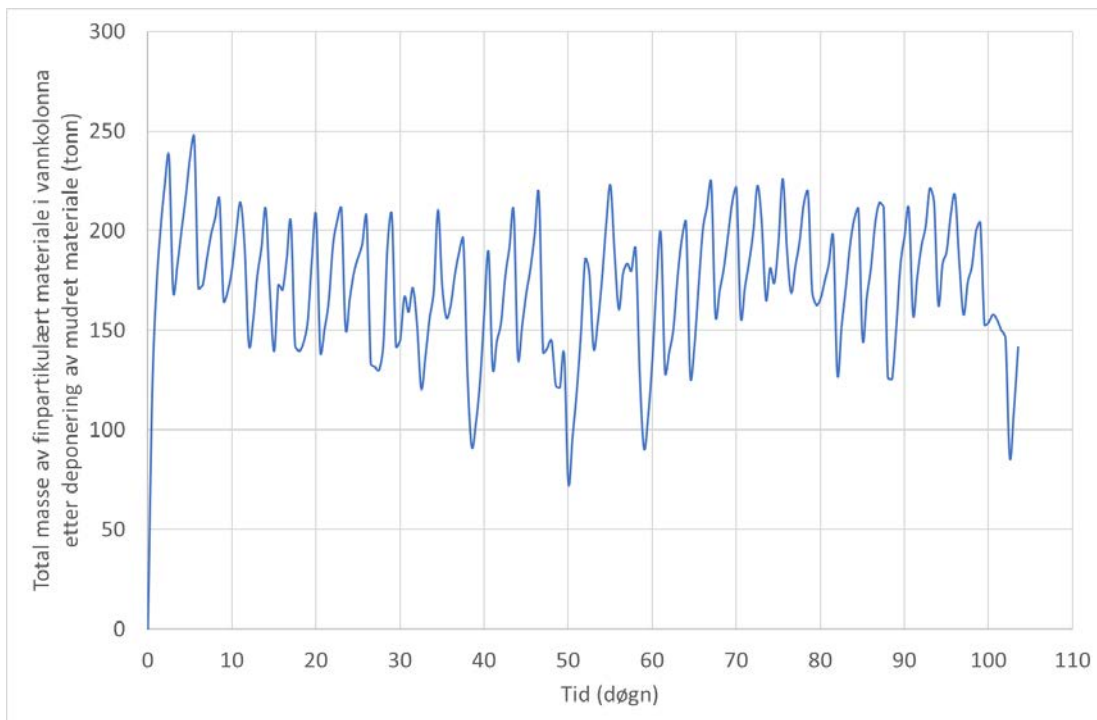
Spredningen i vannsøylen er vist i Figur 6.41. Denne figuren viser at spredningen av finpartikulært materiale kun skjer i nedre vannkolonne (under ca. 15 m).

Figur 6.42, Figur 6.43 og Figur 6.44 viser det samme som de tre foregående figurene, men for 95 % konfidensintervall. Diagrammet i Figur 6.42 viser at det berørte området for 95 % konfidensintervall er

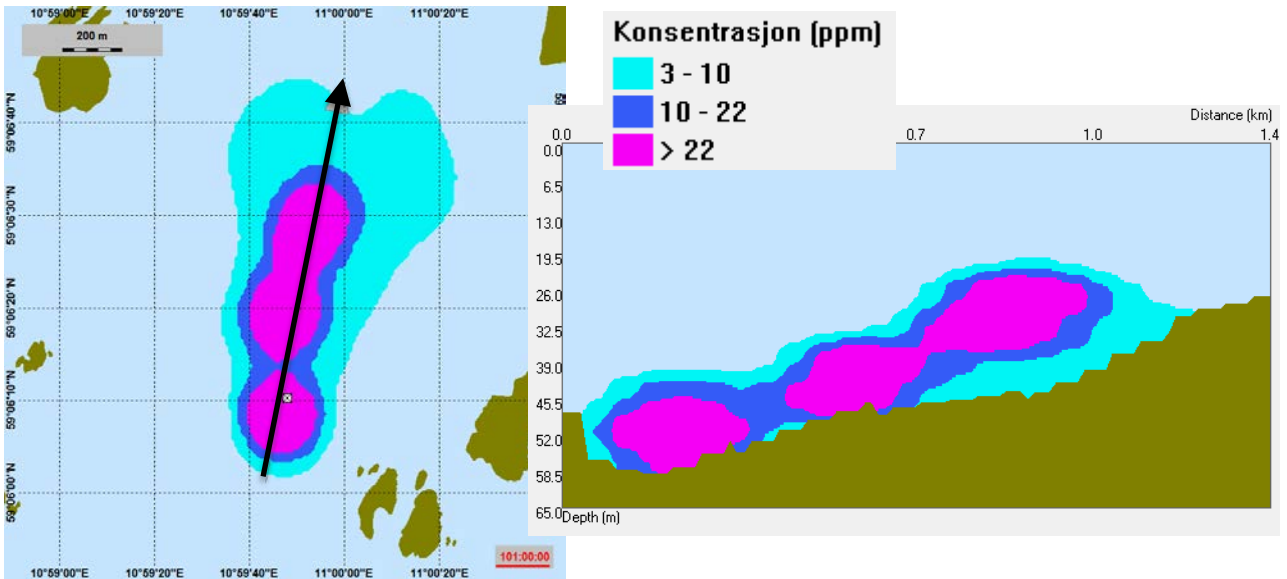
3,98 km², og er nesten identisk med 80 % konfidensintervallet. Figur 6.43 viser at maksimal masse av suspendert materiale er 248 tonn og er 5 dager og 12 timer i simuleringssperioden.



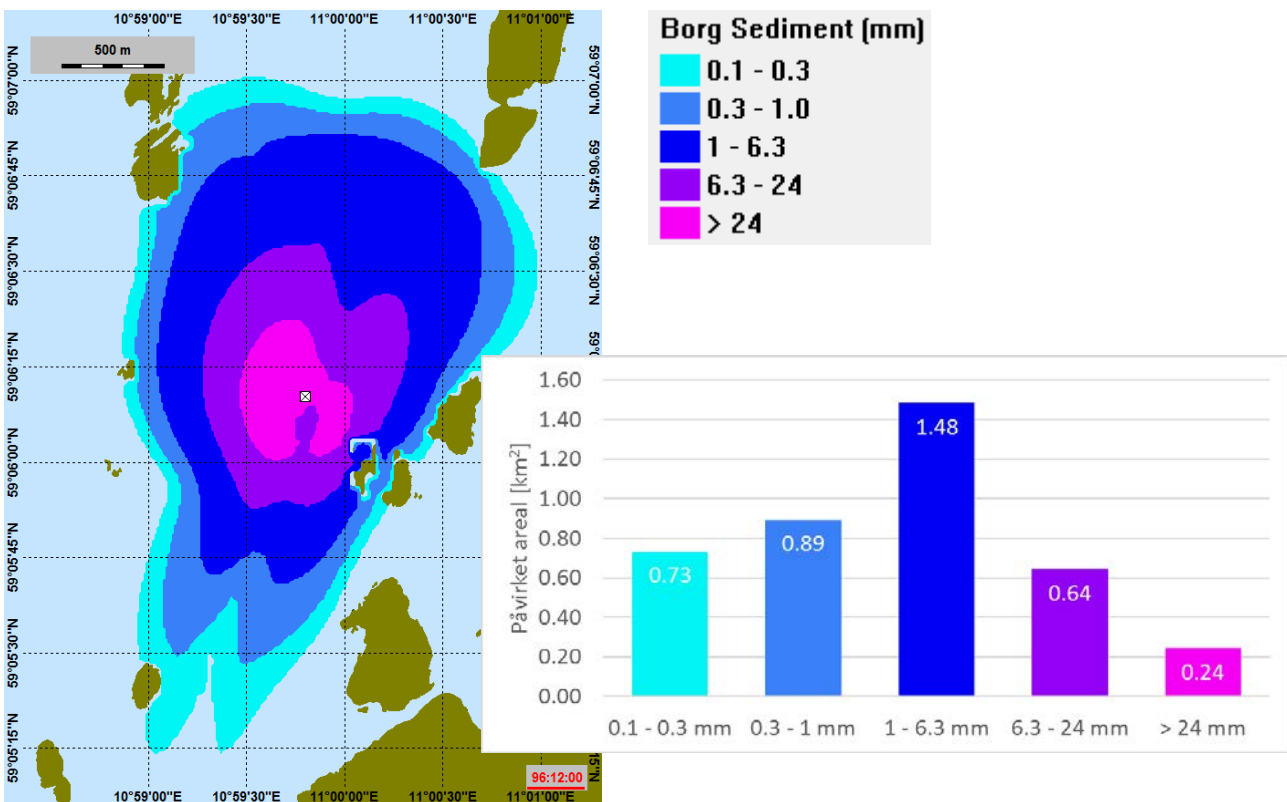
Figur 6.39 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset etter mudring med grabb i wire i Borg 1 og Borg 2. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 80 % konfidensintervall.



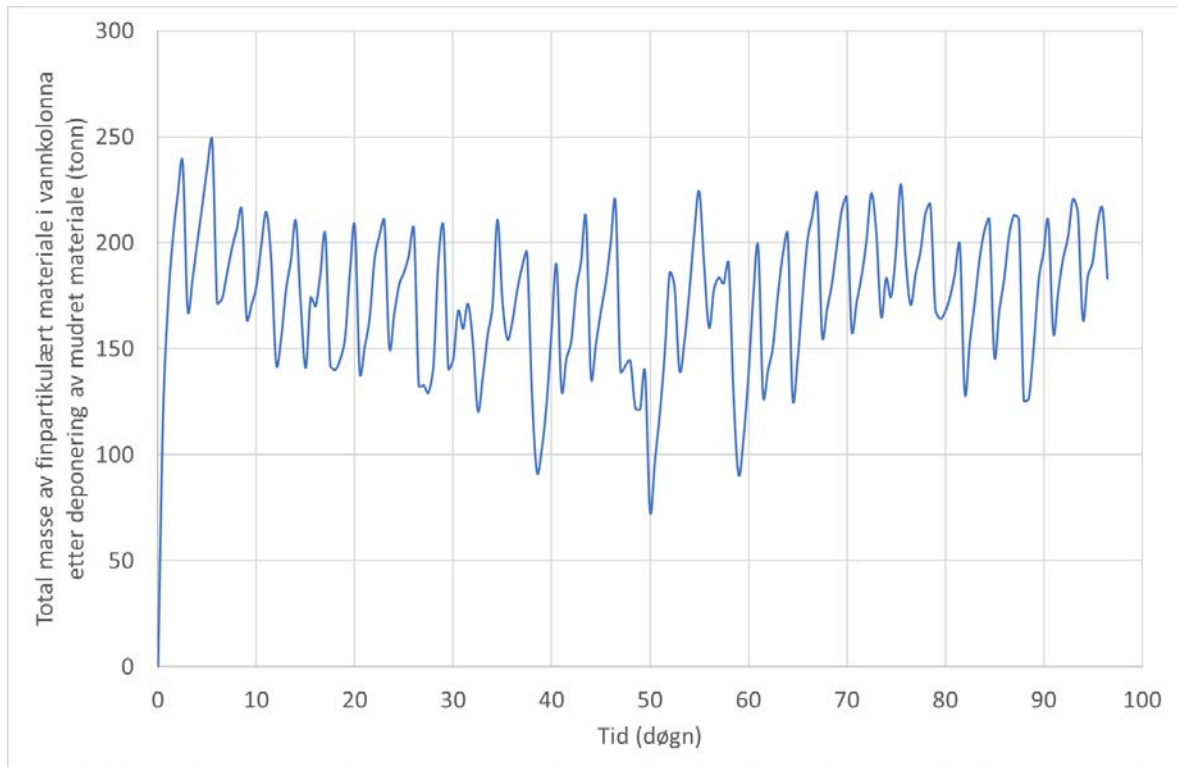
Figur 6.40 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



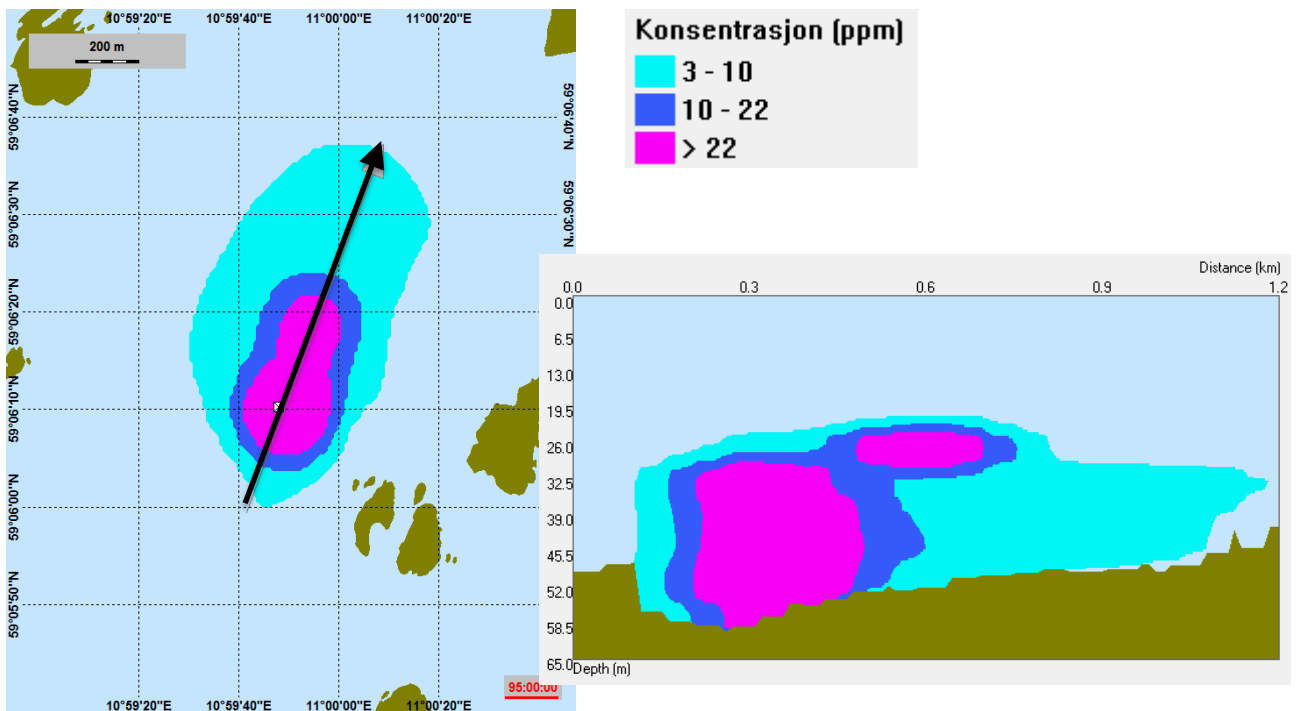
Figur 6.41 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



Figur 6.42 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset etter mudring med grabb i Borg 1 og Borg 2. Deponering av ikke-forurensete masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 95 % konfidensintervall.



Figur 6.43 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



Figur 6.44 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.

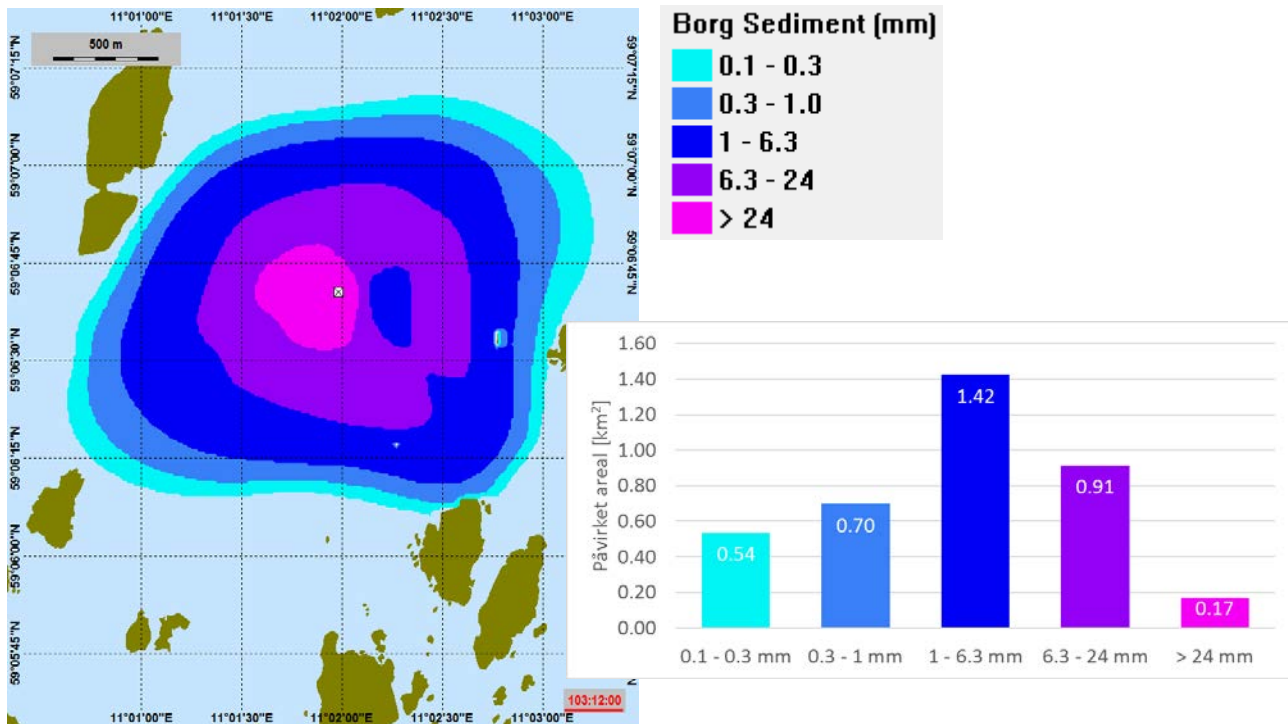
6.5.4 Modellresultat Svaleskjær

Sediment-tykkelsen og spredning av finpartikulært materiale som er forbundet med deponeringen ved Svaleskjær etter mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire i Borg 1 og 2, er vist i Figur 6.45. Sediment-tykkelsen er gitt ved slutten av modellperioden for 80 % konfidensintervall. Det berørte området for hvert intervall er vist i diagrammet. Dette diagrammet viser at et maksimumsareal på 3,74 km² rundt utslippsområdet er påvirket.

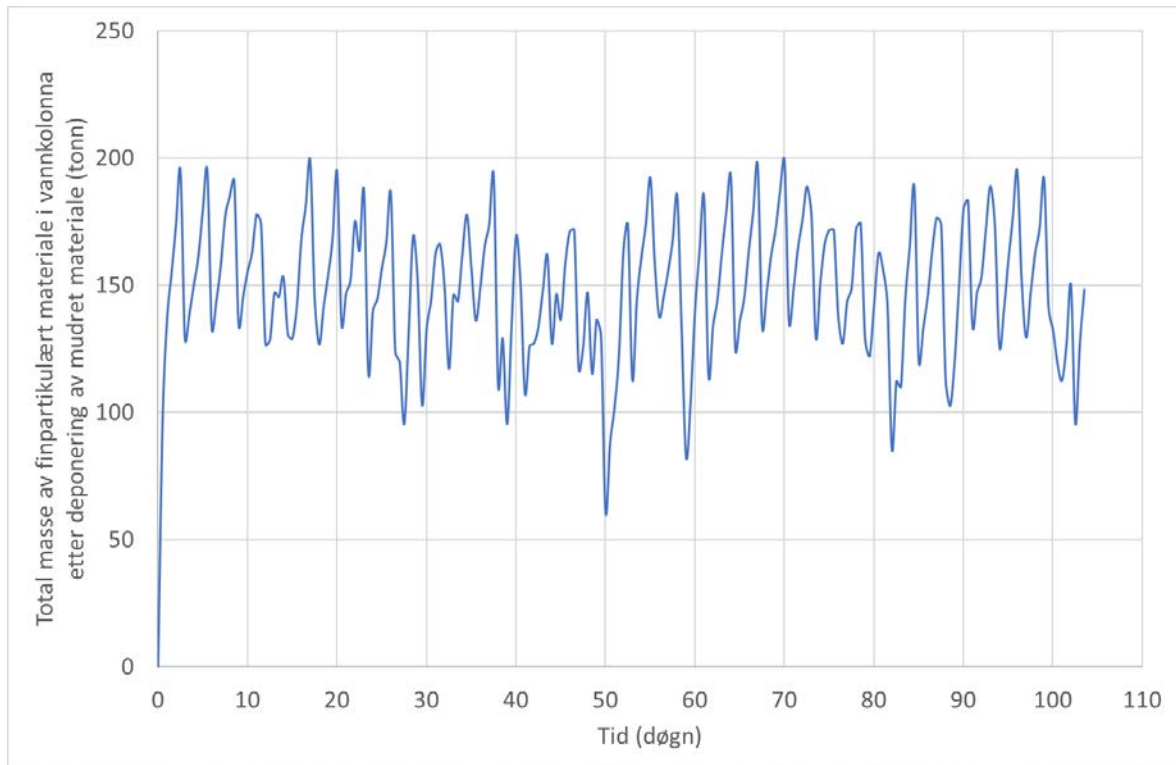
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringssperioden er gitt i Figur 6.46. Maksimal masse av suspendert materiale er 199 tonn og inntreffer 70 døgn inn i simuleringssperioden.

Spredningen i vannsøylen er vist i Figur 6.47. Denne figuren viser at spredningen av finpartikulært materiale kun skjer i nedre vannkolonne (under ca. 15 m vanddyb).

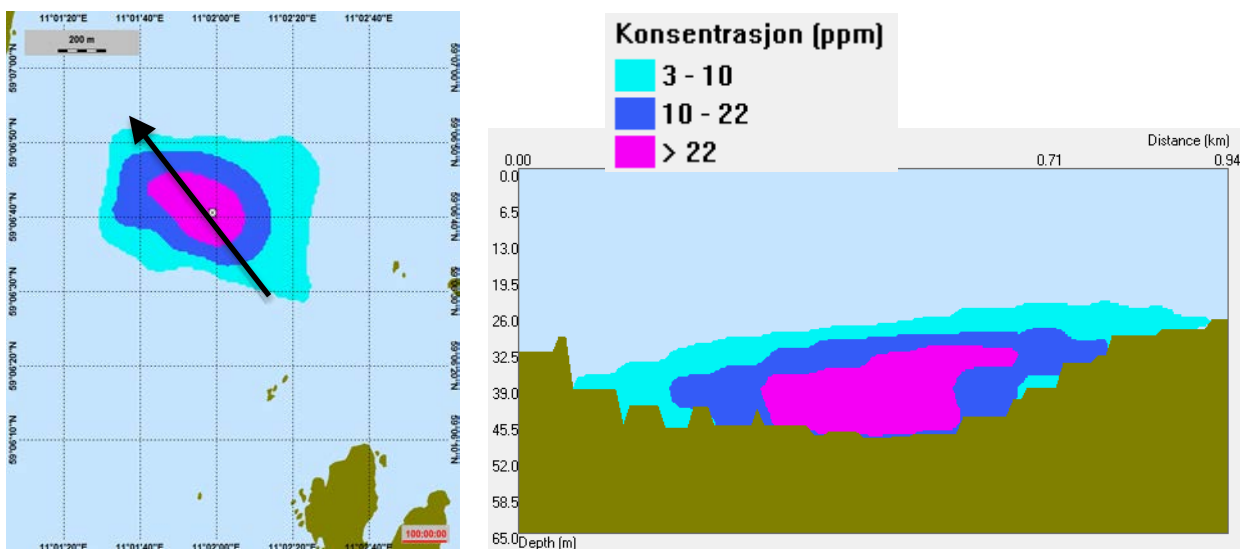
Figur 6.48, Figur 6.49 og Figur 6.50 viser det samme som de tre foregående figurene, men for 95 % konfidensintervall. Figur 6.49 viser at maksimal masse av suspendert materiale er 198 tonn og 17 døgn inn i simuleringssperioden.



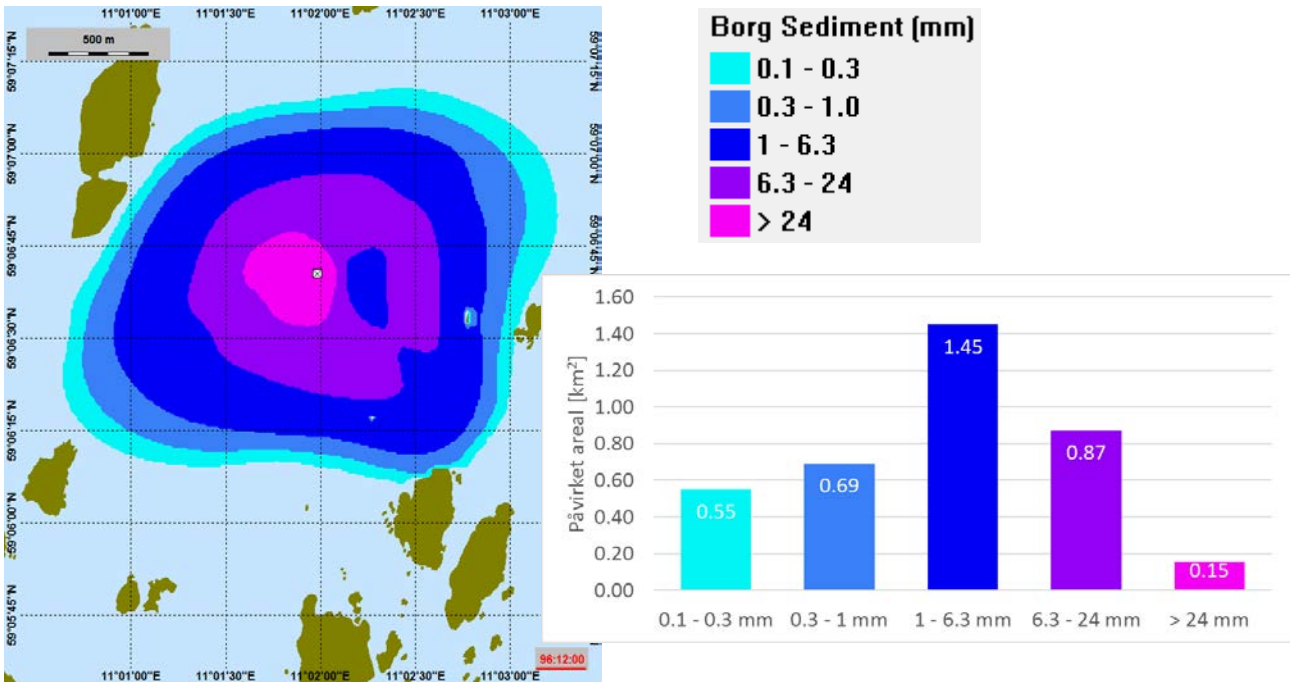
Figur 6.45 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær etter mudring med grabb i wire i Borg 1 og Borg 2. Deponering av ikke-forurensete masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 80 % konfidensintervall.



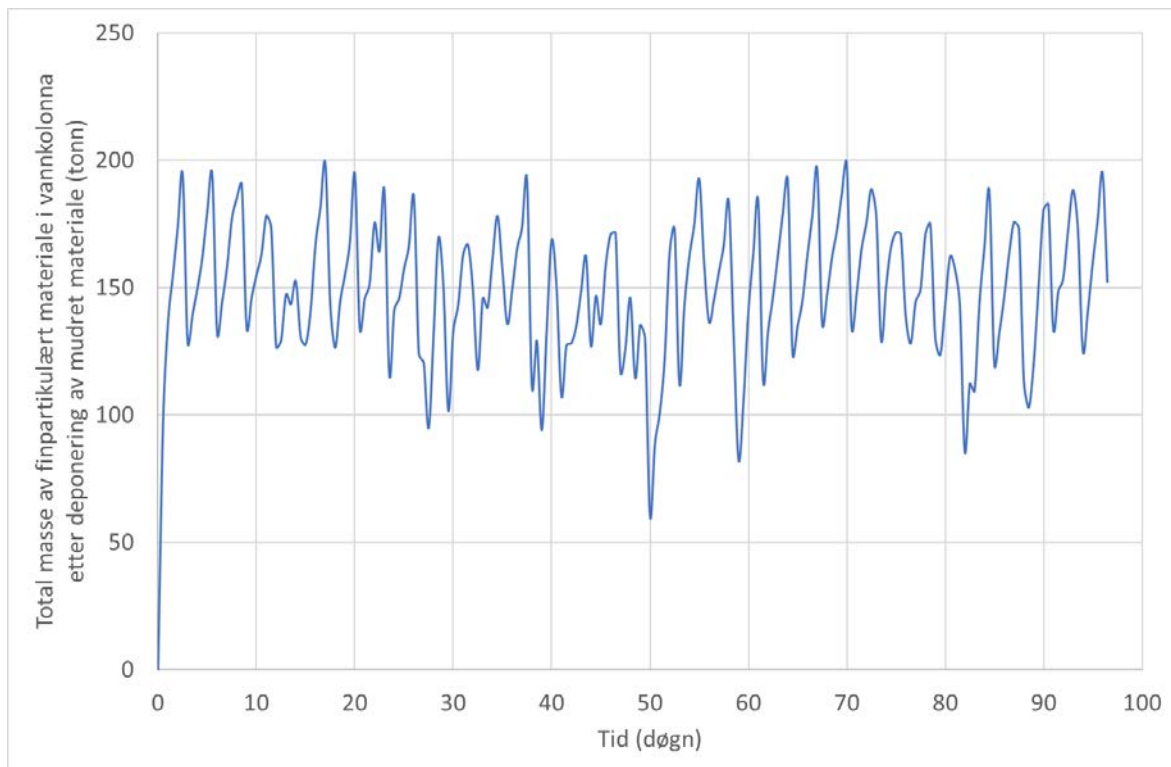
Figur 6.46 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



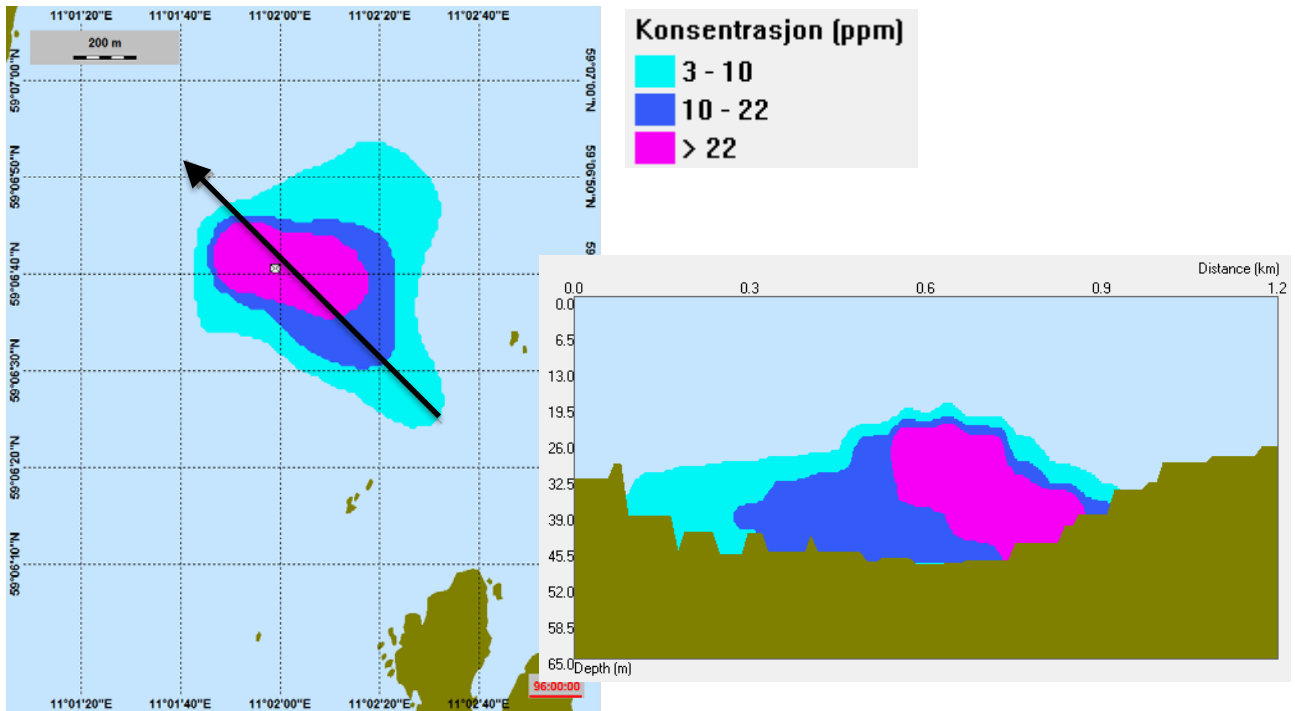
Figur 6.47 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



Figur 6.48 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær etter mudring med grabb i wire i Borg 1 og Borg 2. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 95 % konfidensintervall.



Figur 6.49 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



Figur 6.50 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.

6.6 Sugemudring med liten sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1

6.6.1 Volum av mudrede masser

Dette scenariet beskriver mudring av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 (mellom -4,5 m og -7 m, ref. sjøkartnull) med liten sugemudrer. Det totale volumet for denne mudringsoperasjonen med 80 % konfidensintervall er 263 948m³. For 95 % konfidensintervall er totalvolumet 218 826 m³.

6.6.2 Modelloppsett

Som for det de foregående scenarioene, dekker ikke det tilgjengelige datasettet for strøm det nordligste området der det skal mudres. Derfor er utslippet av finpartikulært materiale fra den nordligste delen av Borg 1 (Røsvikrenna) flyttet sørover til området som er dekket av strømdatasettet.

Fra prøvetakingskampanjene beregnes volumene av sediment som skal mudres, se vedlegg A: "Mudringsvolum og inngangsdata til modelleringen". Med en antatt gjennomsnittlig in situ tetthet på 1,85 tonn/m³, konverteres volumraten til en masserate.

Den gjennomsnittlige produksjonshastigheten anslås til 2 426 tonn/time, og utslipp av finpartikulært materiale er satt til 2 % av produksjonsraten for mudring (under forutsetning at det ikke er noe overløp av masser under mudring, se kapittel 2.1.2 for nærmere beskrivelse). Mudreoperasjonen i Borg 1 er satt opp med 22 ulike mudrelokasjoner med lik mudrelengde. Modellen er satt opp med kontinuerlig utslipp de to meterne nærmest bunnen med en total utslippshastighet på 49 tonn/time. Modelloppsettet for både 80 % og 95 % konfidensintervall er gitt i Tabell 6.6.

Tabell 6.6 Modellparametere for mudring av ikke-forurenset materiale med liten sugemudrer.

| Parameter | 80 % konfidensintervall | 95% konfidensintervall |
|---|-------------------------|------------------------|
| Simuleringslengde | 76,9 døgn | 63,8 døgn |
| Utslippsrate (finpartikulært materiale) | 49 tonn/time | 49 tonn/time |
| Lengde på mudreoperasjonen | 0-2 m over bunn | 0-2 m over bunn |

6.6.3 Modellresultat for 80 % konfidensintervall

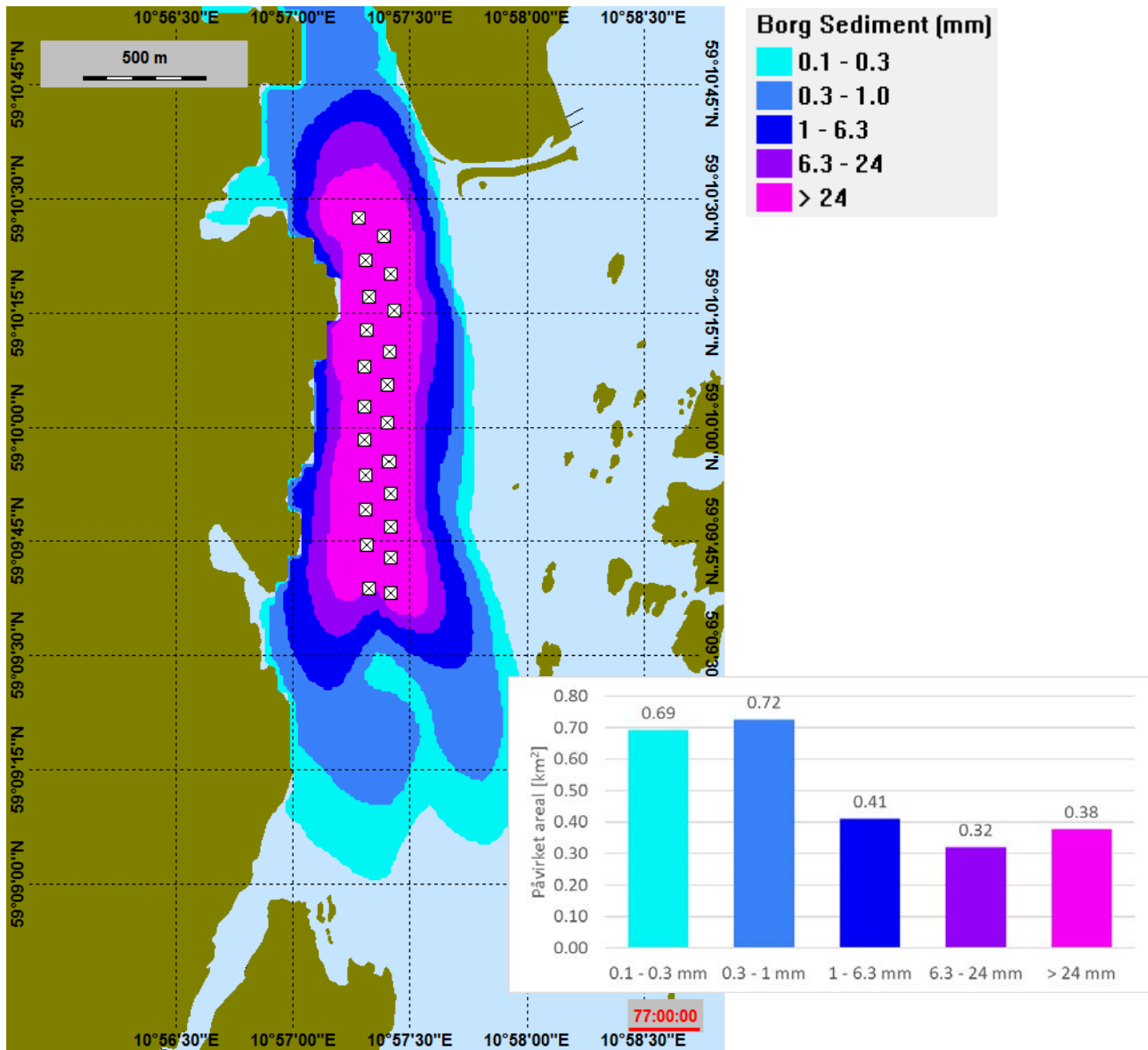
Tykkelsen på det sedimenterte ikke-forurensete materialet på slutten av den mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.51. Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet i begge figurene og viser at et totalt areal på 2,52 km² rundt mudringsområdet er påvirket. Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen forblir der i modellen. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten.

Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.52. Den maksimale massen av suspendert materiale er 340 tonn og dette finner sted 76 døgn og 3 timer inn i simuleringsperioden (Figur 6.53).

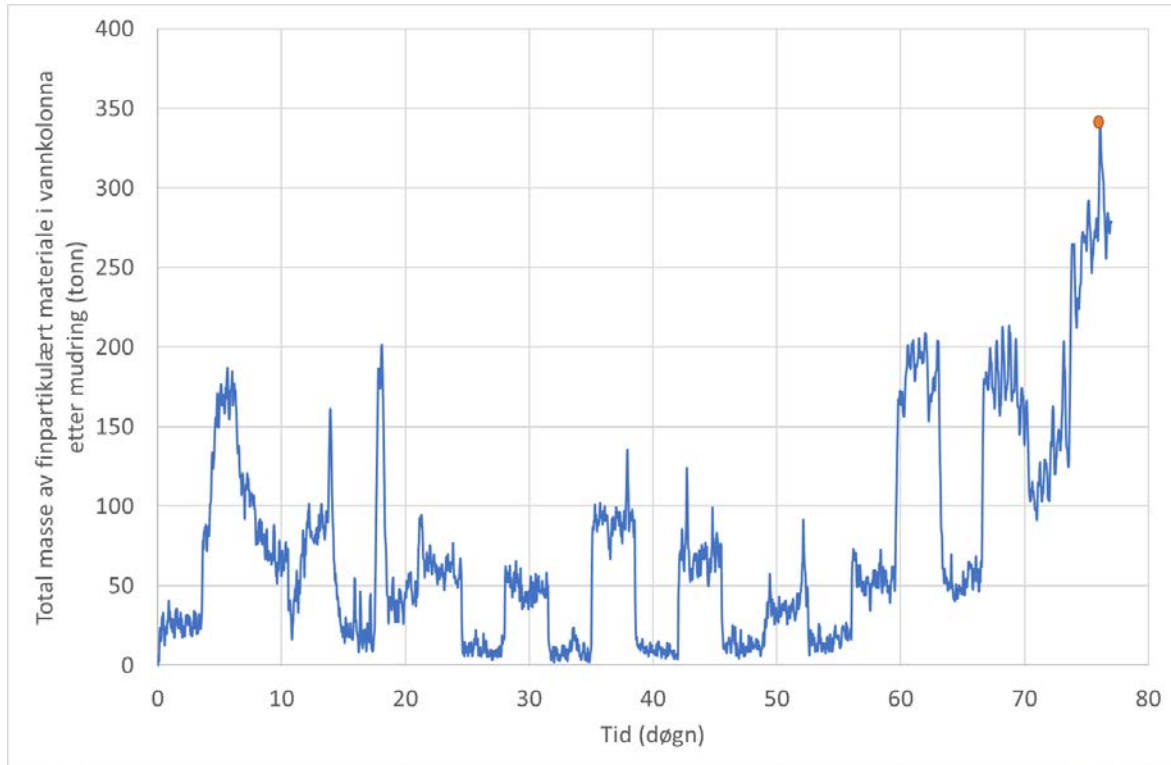
Den maksimale partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.54 og Figur 6.55. Disse figurene viser at spredning av partikler i vannsøylen foregår hovedsakelig nær eller nedstrøms for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen er vist i et

vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er under terskelen på 3 ppm.

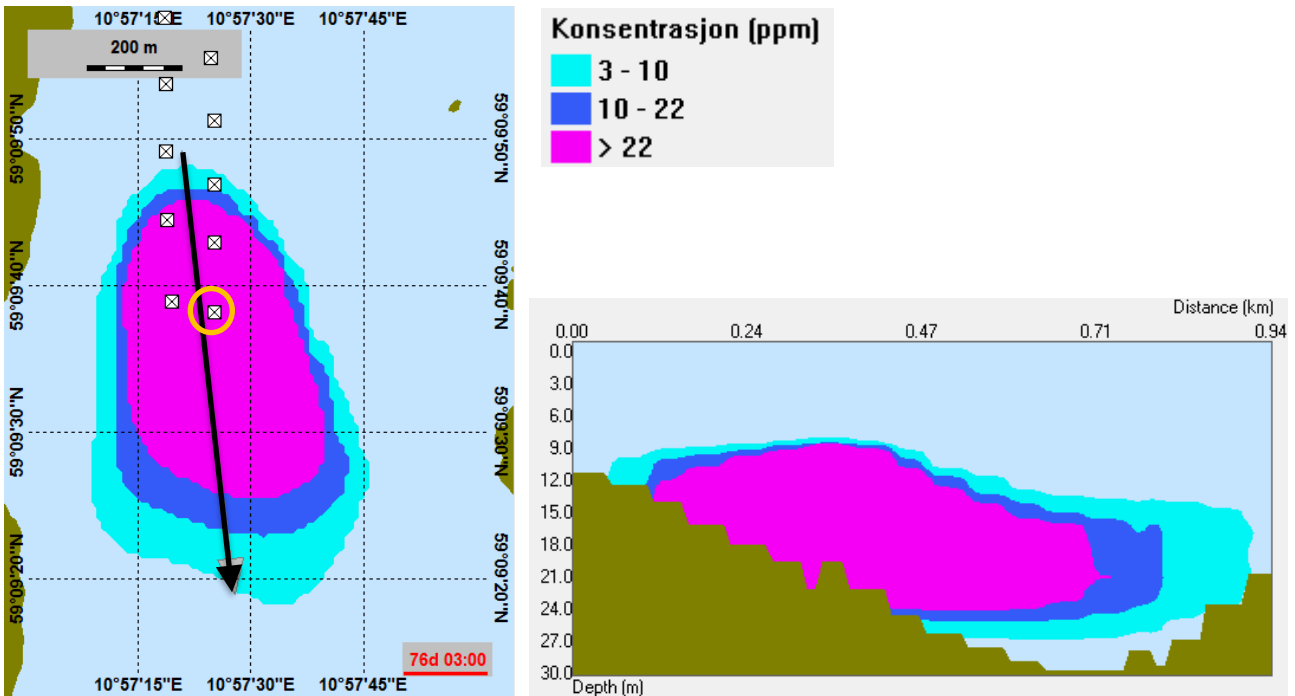
Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen i Borg 1 er vist i Vedlegg B.5, Figur B. 19 – Figur B. 22.



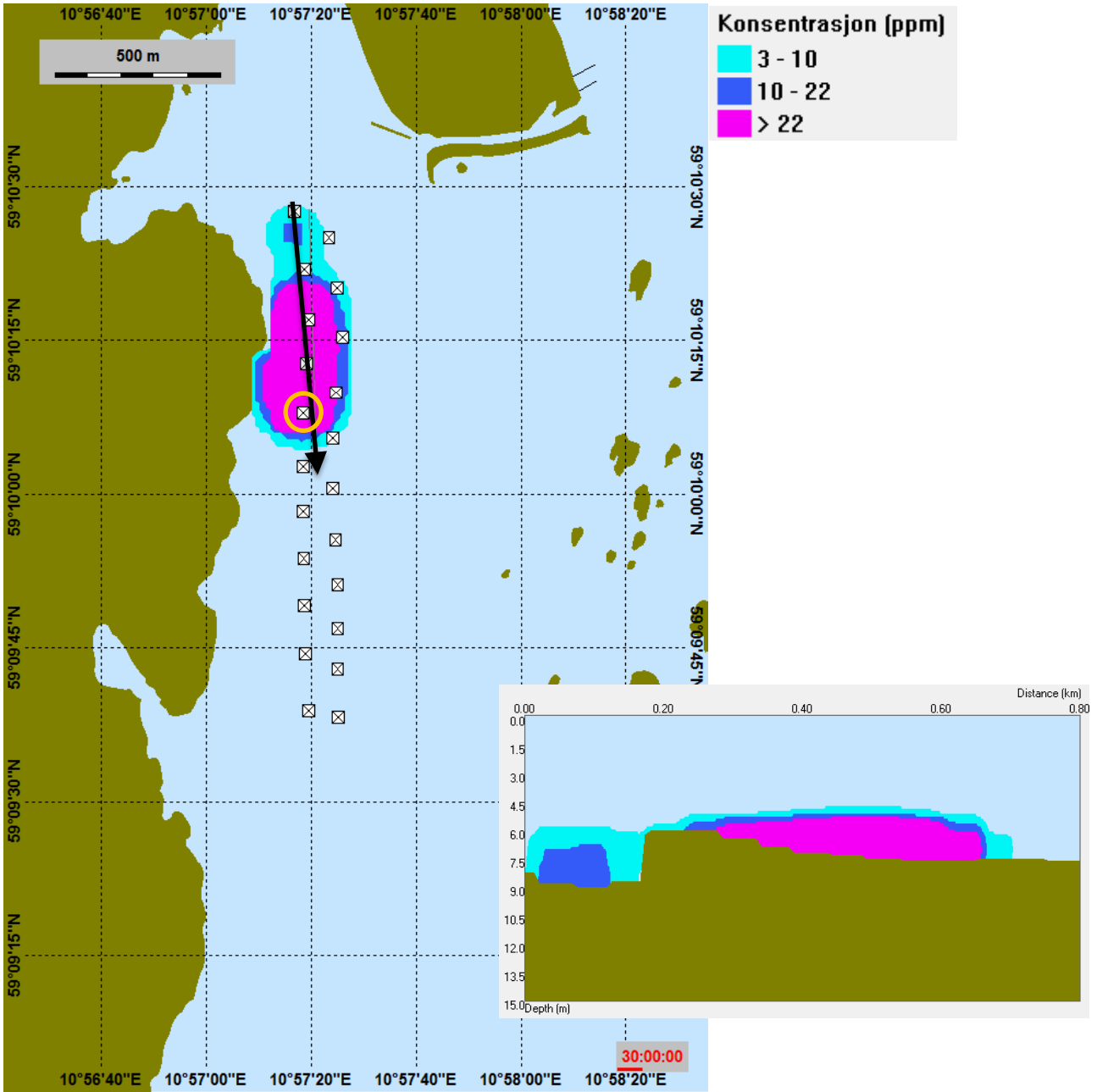
Figur 6.51 Sediment-tykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med liten sugemudrer i Borg 1. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



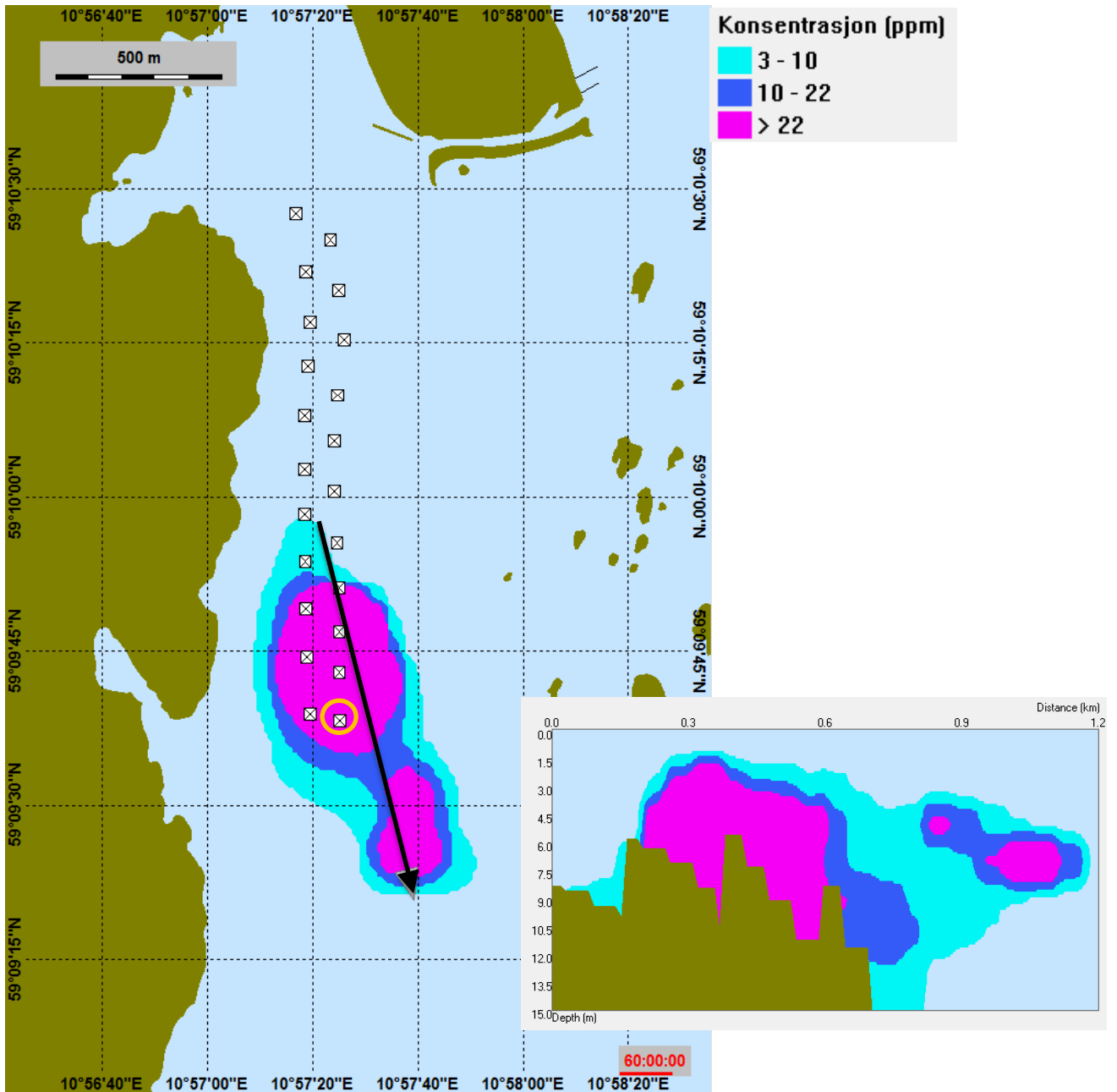
Figur 6.52 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonna gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 76 døgn og 3 timer. Totalmasse var da 340 tonn.



Figur 6.53 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonna 76 døgn og 3 timer inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonna. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



Figur 6.54 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



Figur 6.55 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 60 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*

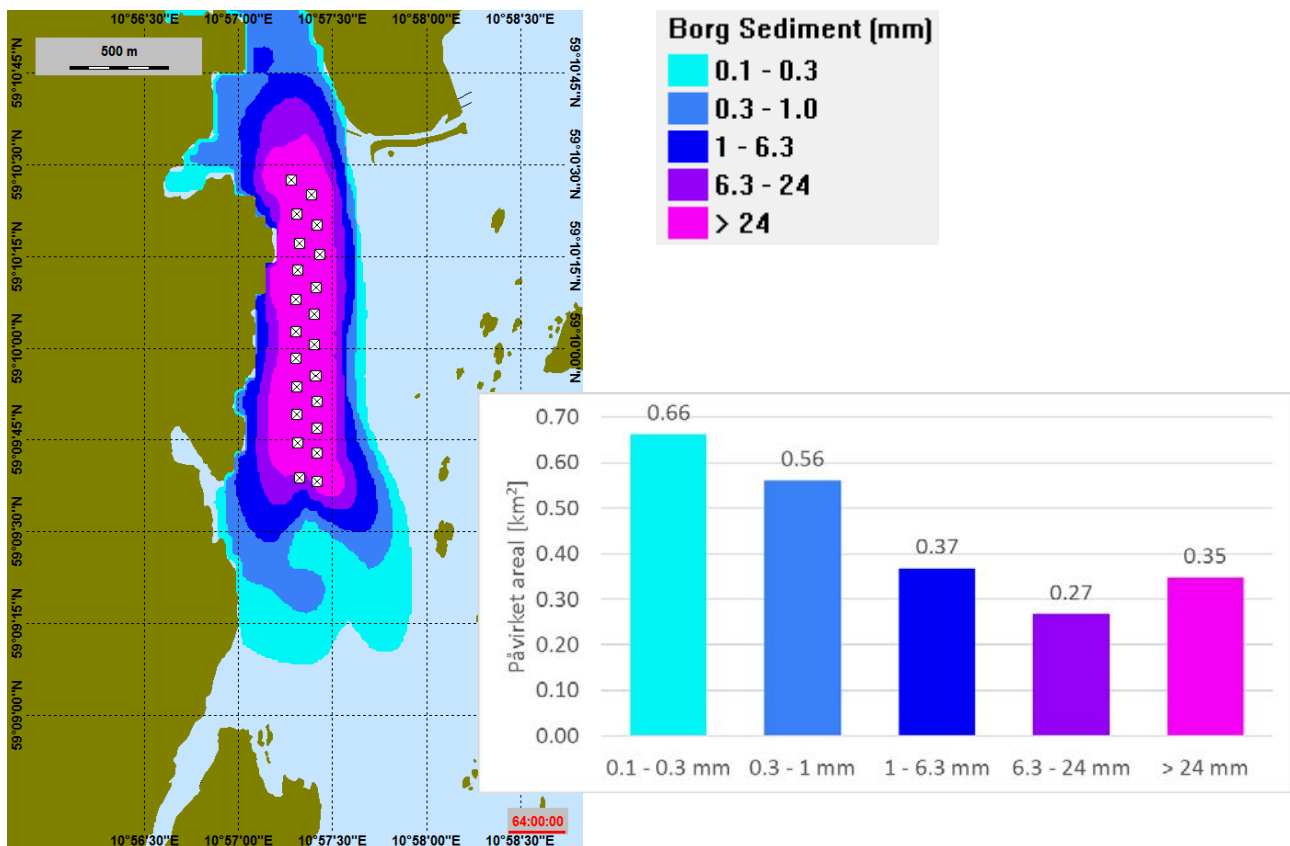
6.6.4 Modellresultat for 95 % konfidensintervall

Tykkelsen på det sedimenterte ikke-forurensede materialet på slutten av den mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.56. Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet i begge figurene og viser at et totalt areal på 2,21 km² rund mudringsområdet er påvirket. Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten.

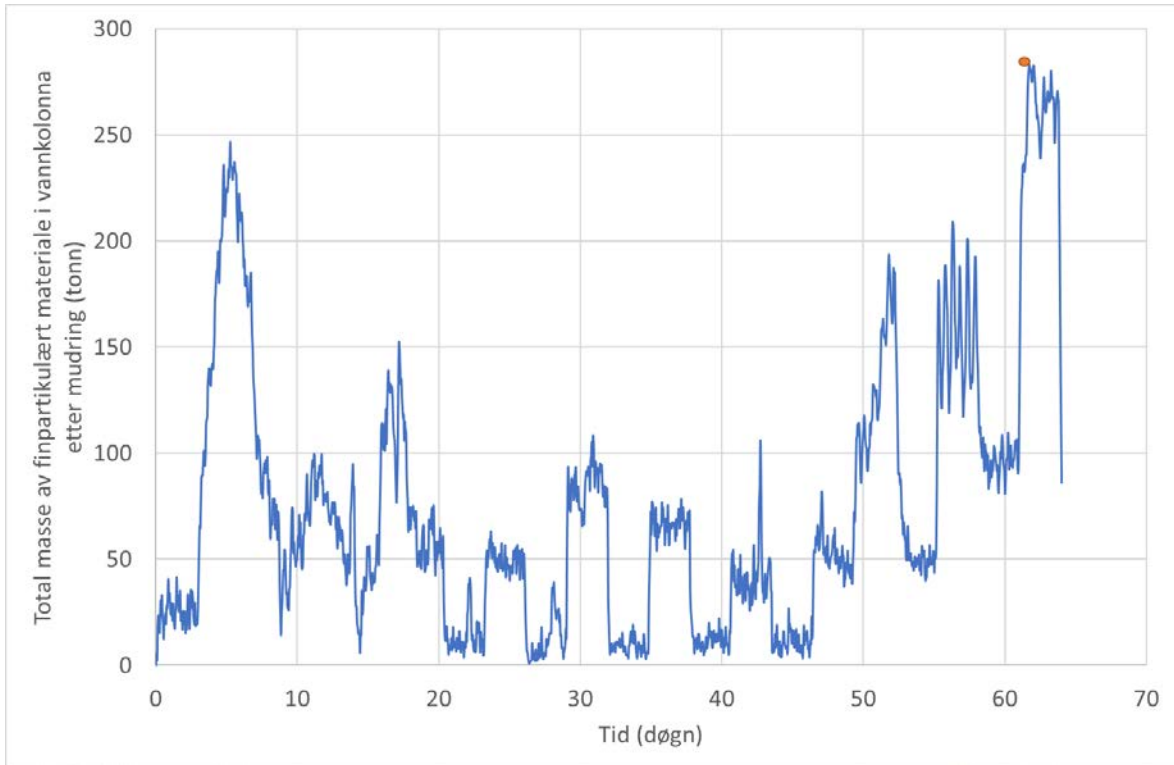
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.57. Den maksimale massen av suspendert materiale er 283 tonn og dette finner sted 61 døgn og 17 timer inn i simuleringsperioden (Figur 6.58).

Den maksimale partikkelkonsentrasjonen av finpartikulært materiale i vannsøylen under mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.59 og Figur 6.60. Disse figurene viser at spredning av partikler i vannsøylen foregår hovedsakelig nær eller nedstrøms for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen er vist i et vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er under terskelen på 3 ppm.

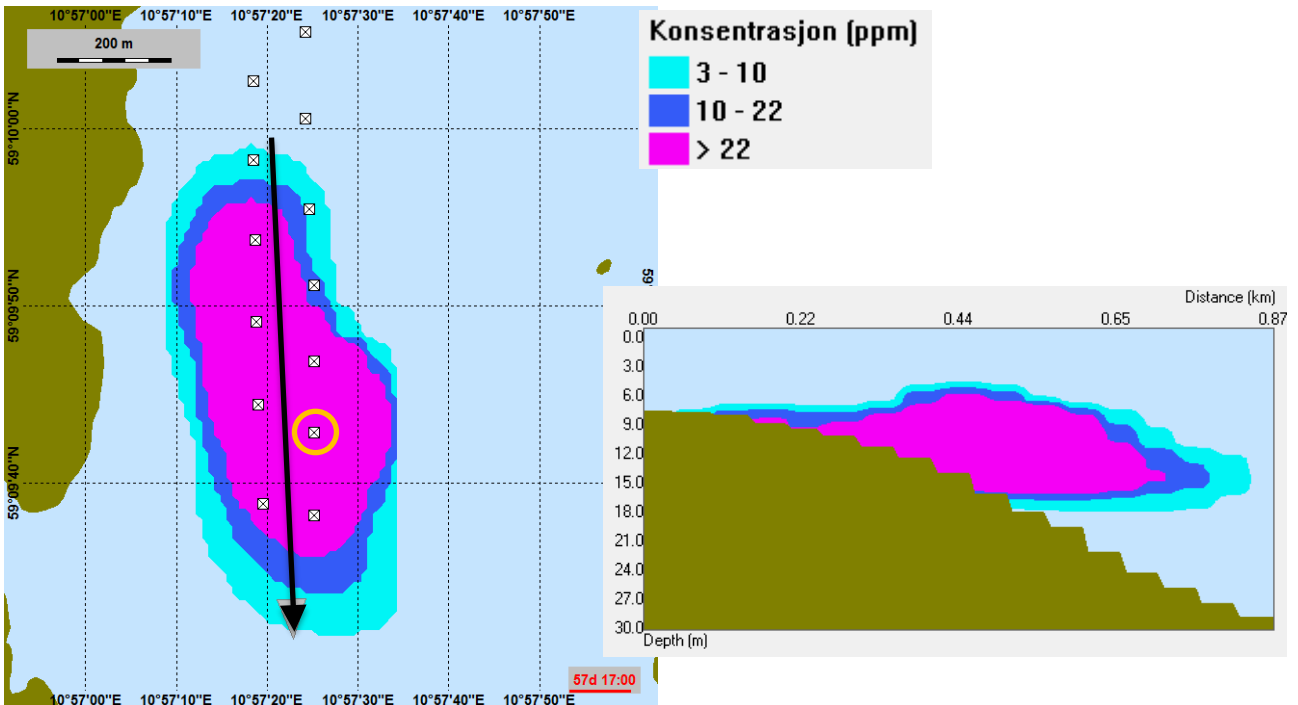
Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen ved Borg 1 er vist i Vedlegg B.6, Figur B. 23 – Figur B. 25.



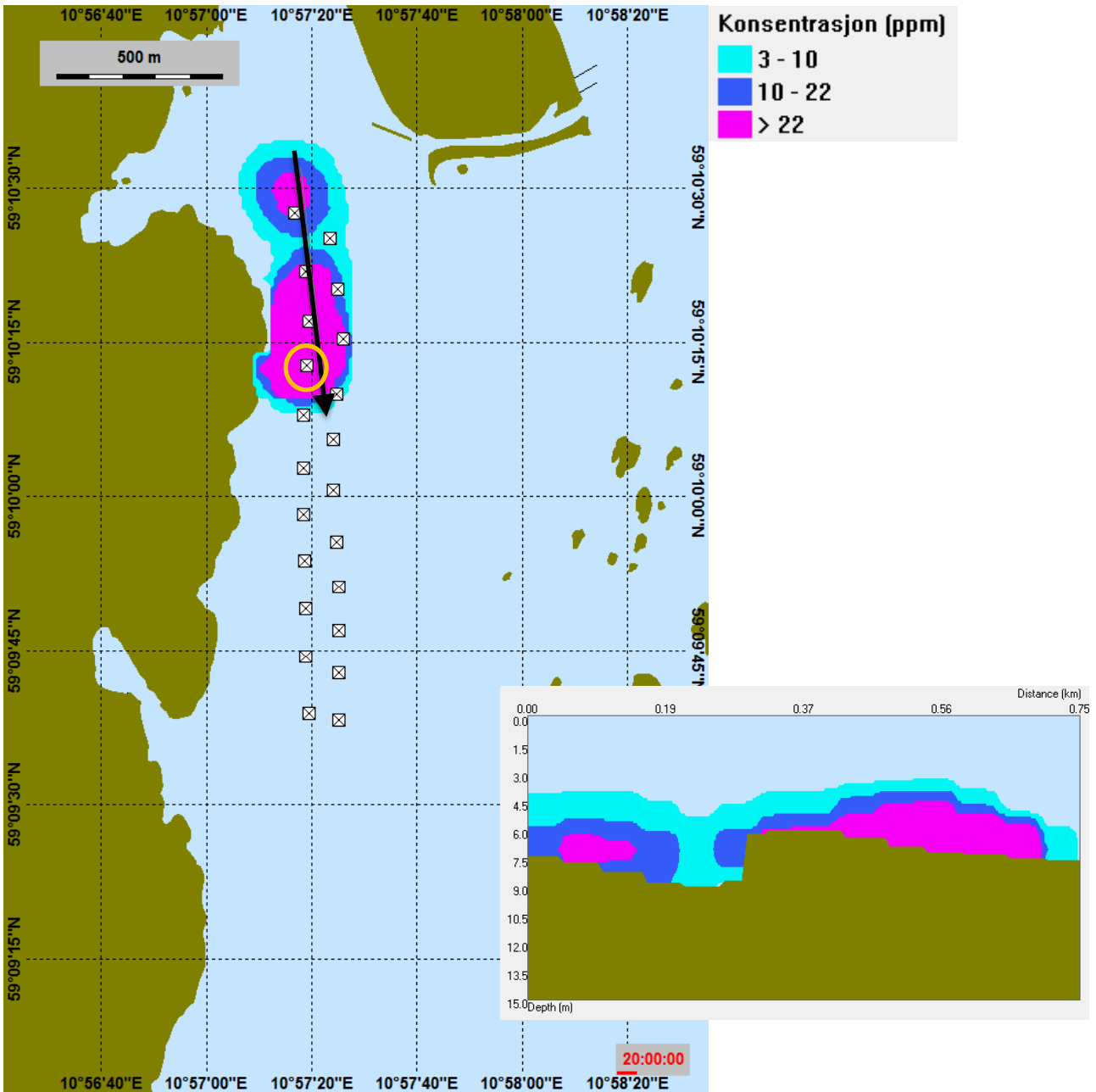
Figur 6.56 Sediment-tykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med liten sugemudrer i Borg 1. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



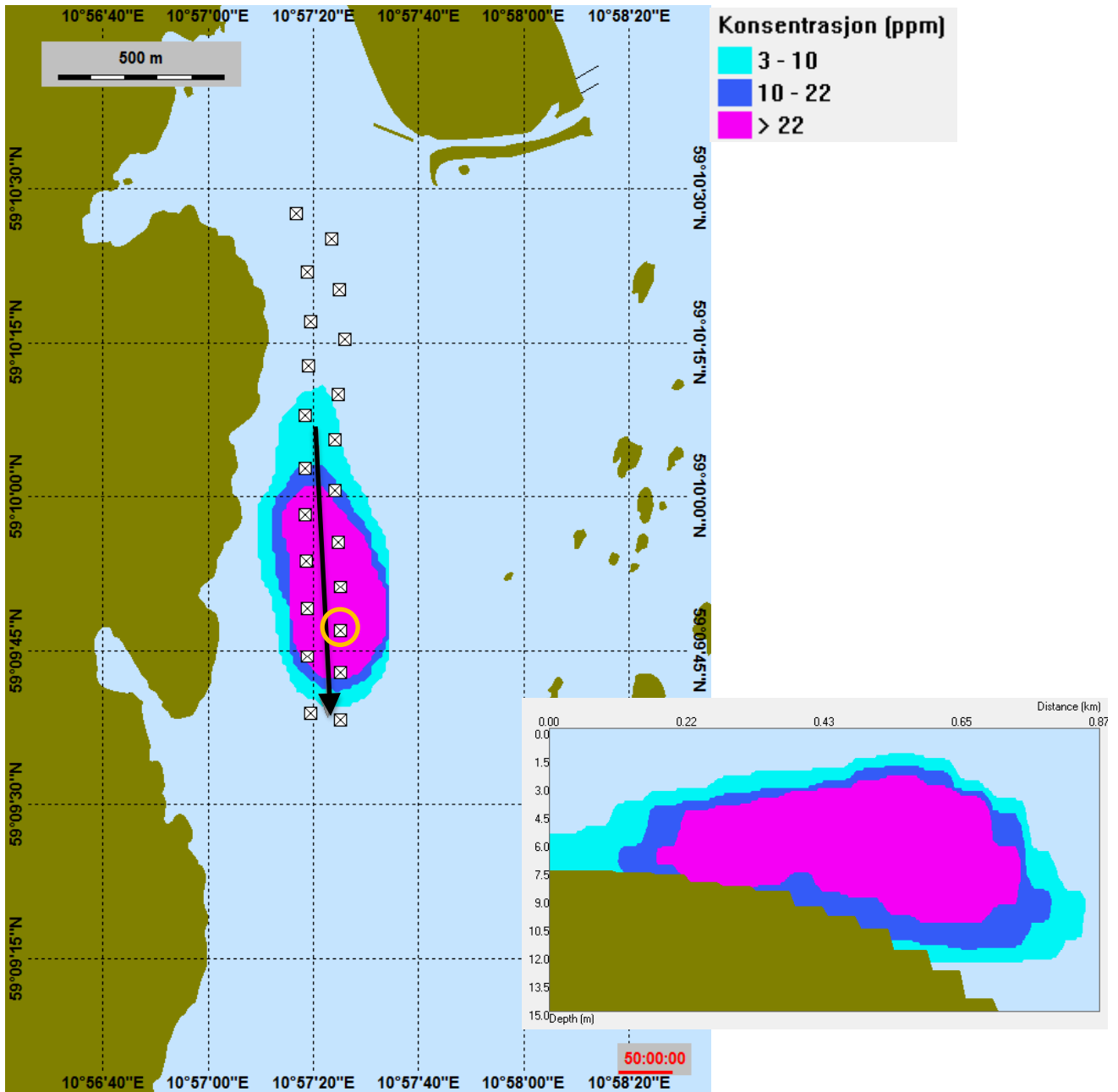
Figur 6.57 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 61 døgn og 17 timer. Totalmasse var da 283 tonn.



Figur 6.58 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 61 døgn og 17 timer inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



Figur 6.59 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 20 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurensset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



Figur 6.60 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.

6.7 Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med liten sugemudrer (Borg 1)

6.7.1 Volum av deponerte masser

Dette scenariet beskriver deponering av ikke-forurenset materiale etter mudring i Borg 1 (mellom -4,5 m og -7 m, ref. sjøkartnull) med liten sugemudrer. Det totale volumet for denne mudringsoperasjonen med 80 % konfidensintervall er 263 948 m³. For 95 % konfidensintervall er totalvolumet 218 826 m³. Deponeringen er modellert for to ulike deponi: Møkkalasset og Svaleskjær.

6.7.2 Modelloppsett

Modellen er satt opp med gjentatte sykluser gjennom hele simuleringsperioden. Mengden av deponert materiale som er tilgjengelig for dispensering i vannsøylen starter å spre seg rett under diffusorenes utgang. Mengden masse som er tilgjengelig til spredning er satt til 5 %. Hovedmassen av det deponerte materialet vil falle til sjøbunnen som en tetthetsstrøm.

Utslippsraten for det deponerte materialet som kan spre seg i vannsøylen (5 % av totalvolum) er 133 tonn/time. I simuleringene er utslippet av finpartikulært materiale fra deponeringen fordelt over vannsøylen under 30 m dyp (dypet til utslippsrøret). Samme oppsett har blitt brukt til både Møkkalasset og Svaleskjær. Modellparametrene for utslippet er oppsummert i Tabell 6.7.

Tabell 6.7 Modellparametre for deponering av ikke-forurensede masser etter mudring med liten sugemudrer ved Borg 1.

| Parameter | 80 % konfidensintervall | 95% konfidensintervall |
|---|-------------------------|------------------------|
| Simuleringslengde | 76,9 døgn | 63,8 døgn |
| Utslippsrate (finpartikulært materiale) | 113 tonn/time | 113 tonn/time |
| Lengde på hvert utslipp | 0,48 timer | 0,48 timer |
| Tid mellom utslipp | 2,28 timer | 2,28 timer |
| Utslippsdyp (dypet til diffusoren) | 30 m | 30 m |

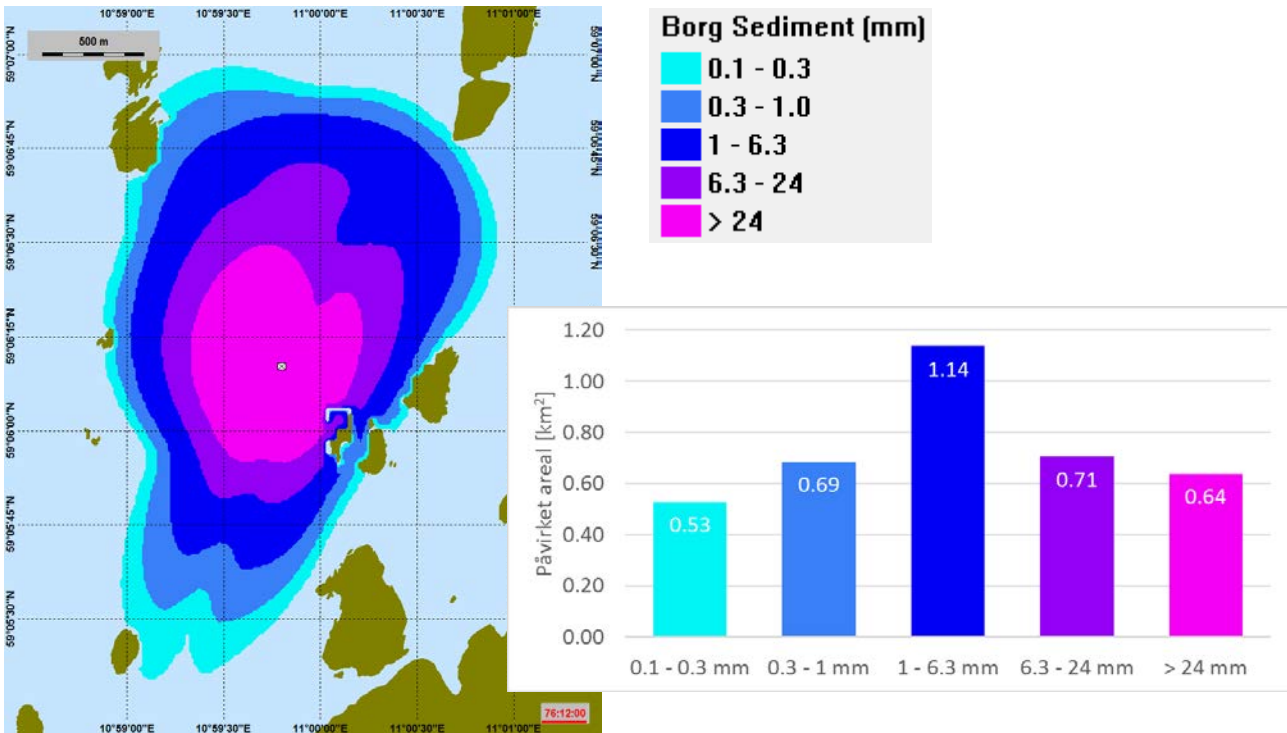
6.7.3 Modellresultat Møkkalasset

Sediment-tykkelsen og spredning av finpartikulært materiale som er forbundet med deponeringen ved Møkkalasset etter mudring av ikke-forurenset materiale med liten sugemudrer i Borg 1, er vist i Figur 6.61. Sediment-tykkelsen er gitt ved slutten av modellperioden for 80 % konfidensintervall. Det berørte området for hvert intervall er vist i diagrammet. Dette diagrammet viser at et maksimumsareal på 3,69 km² rundt utslippsområdet er påvirket.

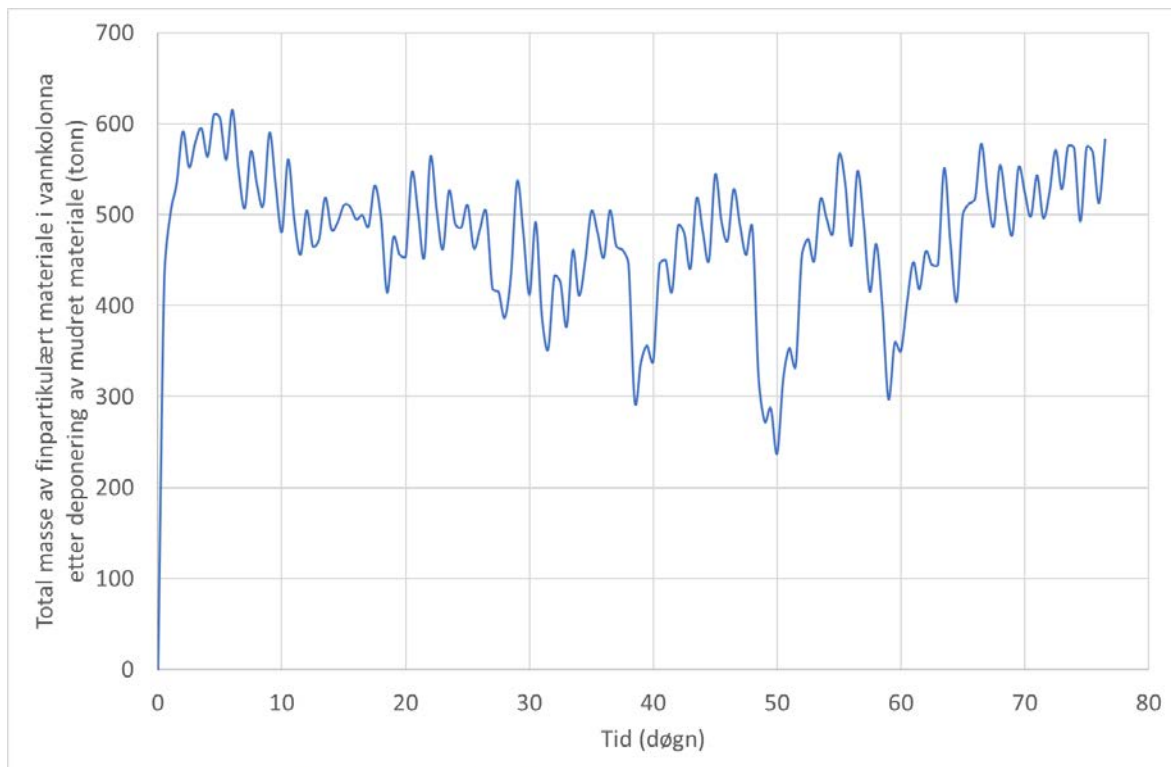
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.62. Maksimal masse av suspendert materiale er 616 tonn og inntreffer 6 døgn inn i simuleringsperioden.

Spredningen i vannsøylen er vist i Figur 6.63. Denne figuren viser at spredningen av finpartikulært materiale kun skjer i nedre vannkolonne (under ca. 15 m).

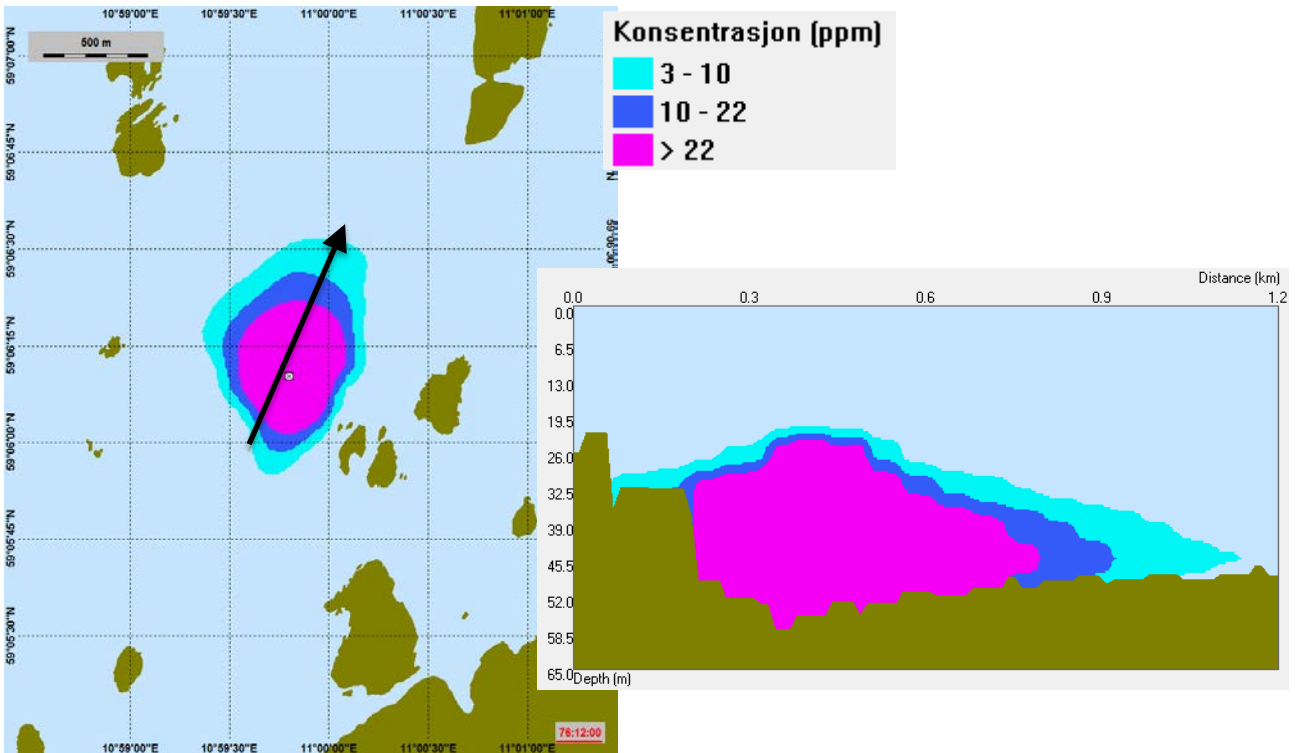
Figur 6.64, Figur 6.65 og Figur 6.66 viser det samme som de tre foregående figurene, men for 95 % konfidensintervall. Figur 6.65 viser at maksimal masse av suspendert materiale er 614 tonn og inntreffer 6 døgn inn i simuleringsperioden.



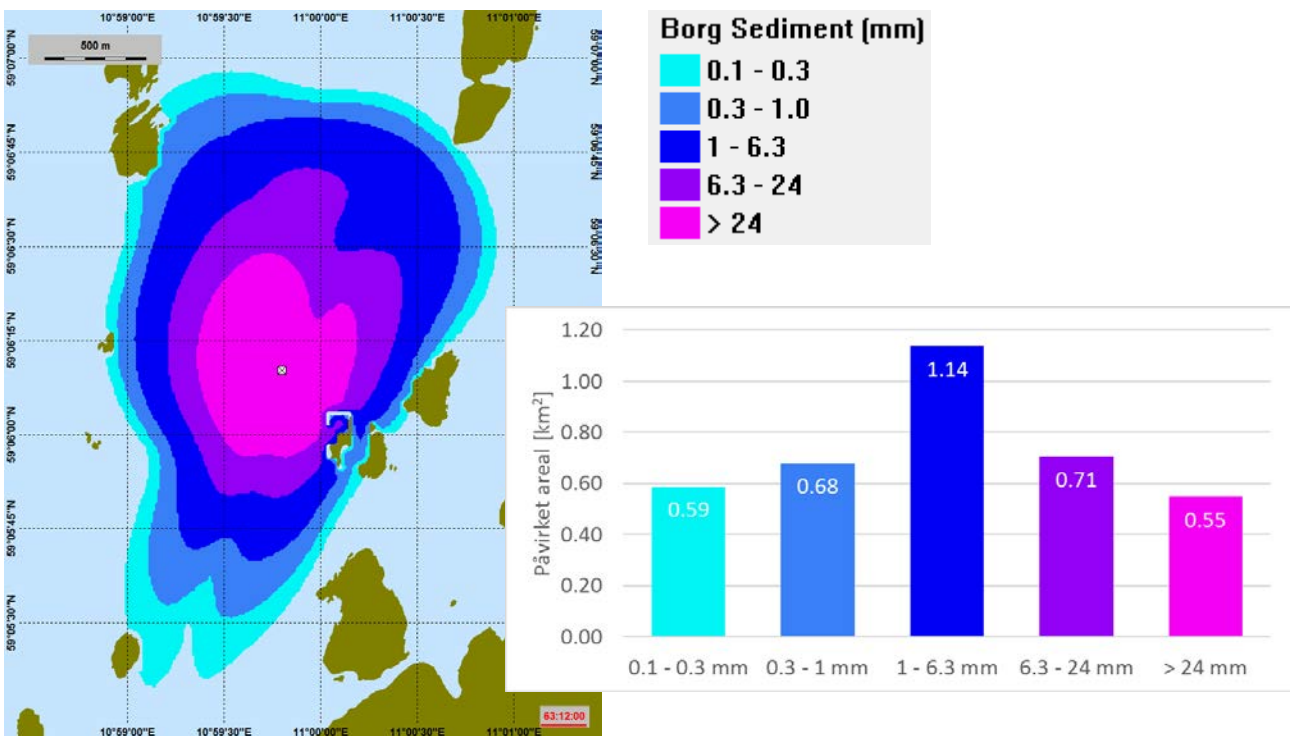
Figur 6.61 Sedimenttykkelse ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset etter mudring liten sugemudrer ved Borg 1. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 80 % konfidensintervall.



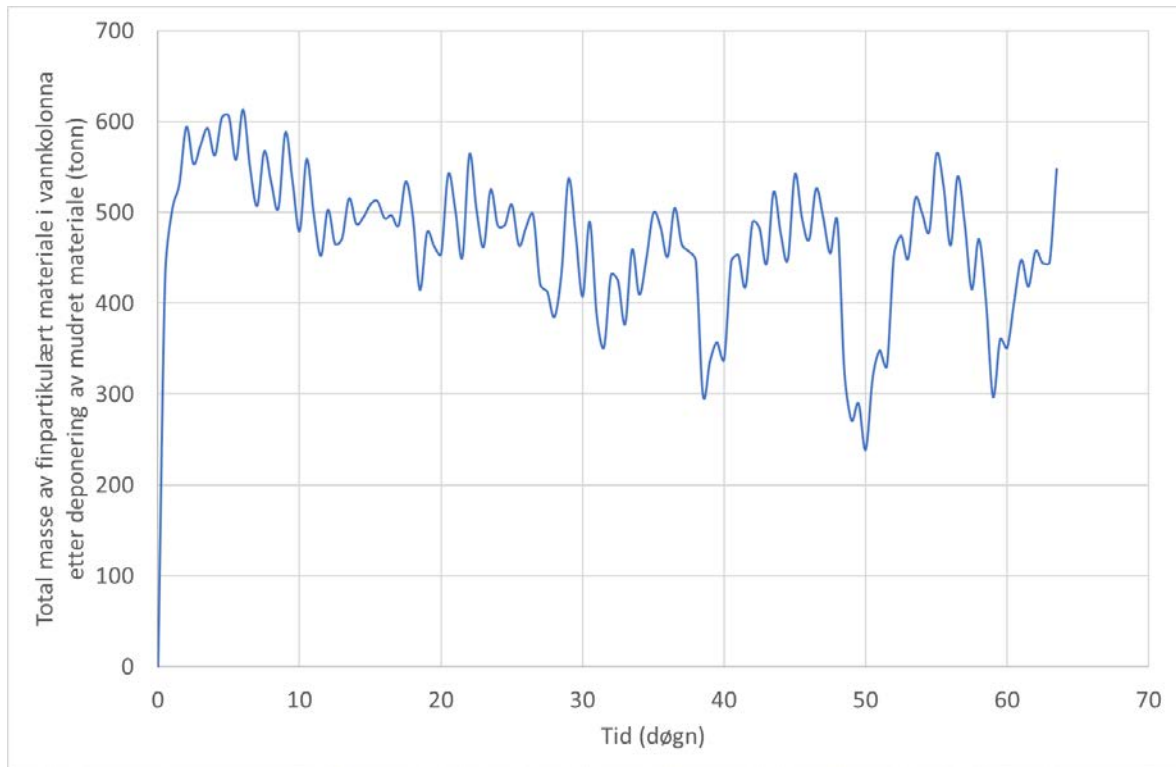
Figur 6.62 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



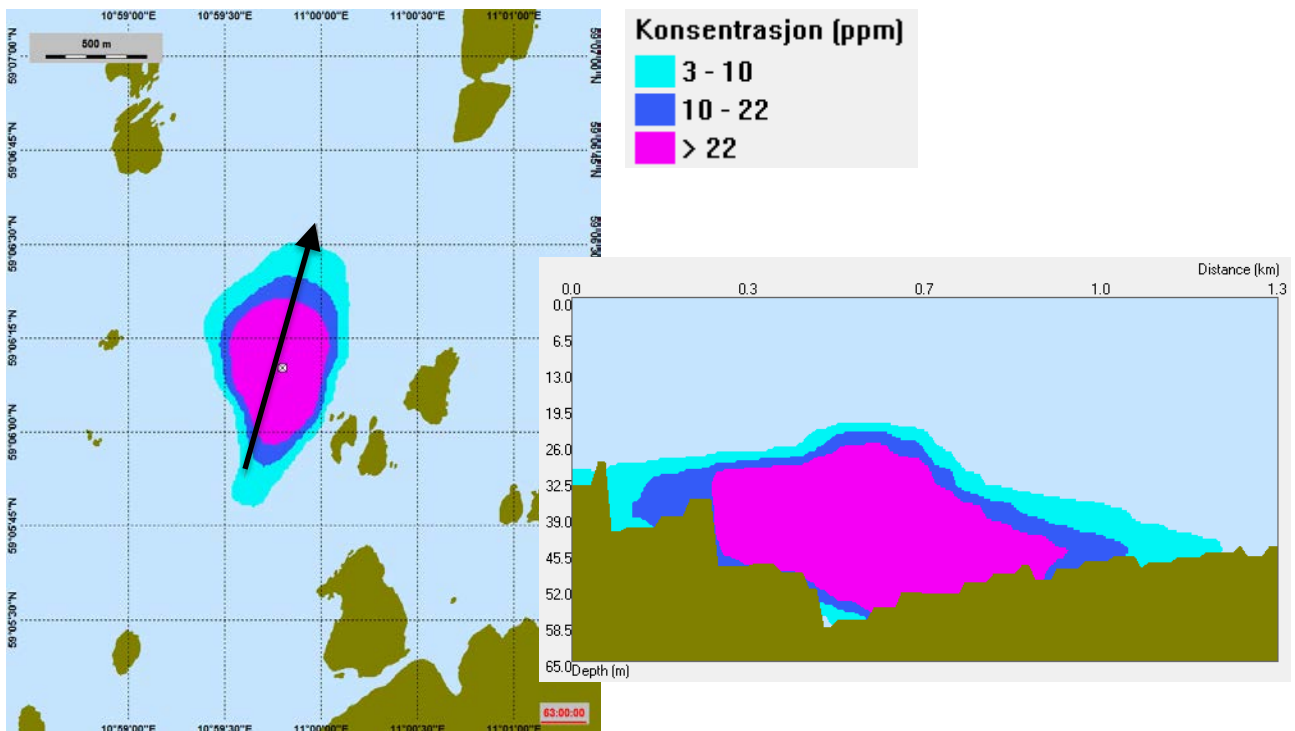
Figur 6.63 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



Figur 6.64 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset etter mudring med liten sugemudrer i Borg 1. Deponering av ikke-forurensete masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 95 % konfidensintervall.



Figur 6.65 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



Figur 6.66 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.

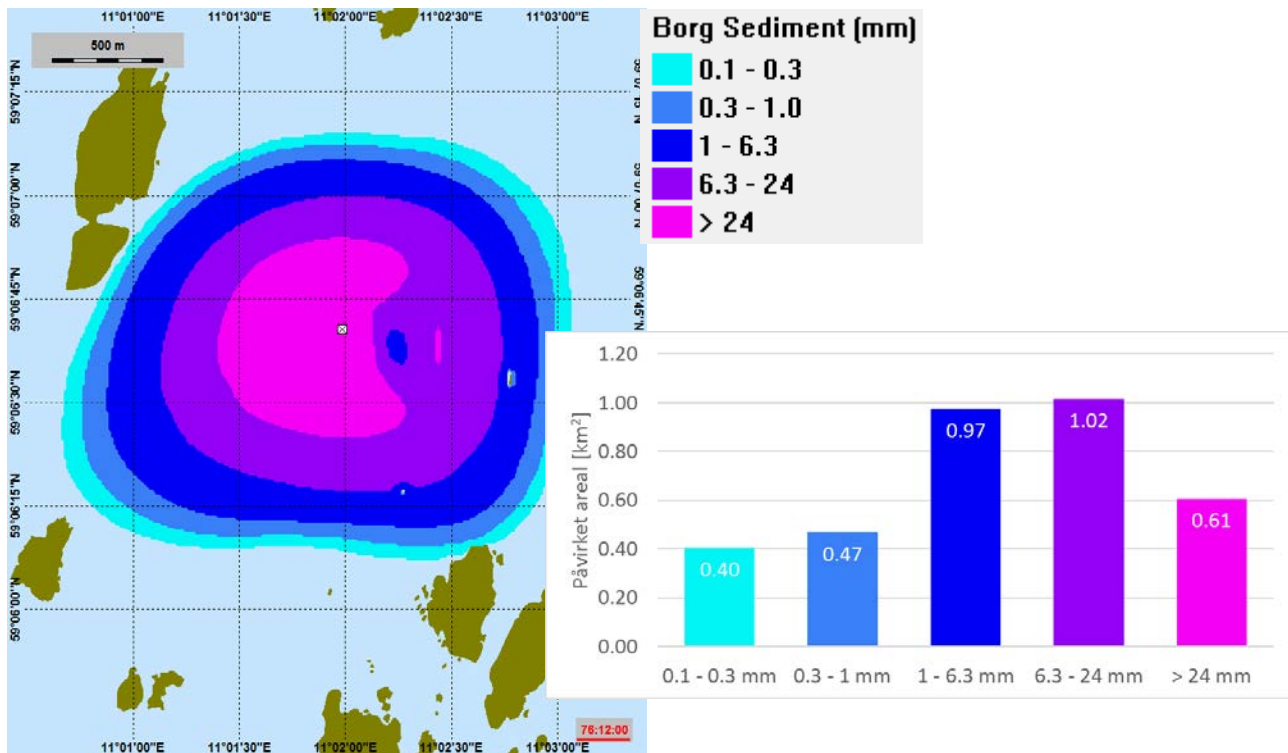
6.7.4 Modellresultat Svaleskjær

Sedimenttykkelsen og spredning av finpartikulært materiale som er forbundet med deponeringen ved Svaleskjær etter mudring av ikke-forurenset materiale med liten sugemudrer ved Borg 1, er vist i Figur 6.67. Sedimenttykkelsen er gitt ved slutten av modellperioden for 80 % konfidensintervall. Det berørte området for hvert intervall er vist i diagrammet. Dette diagrammet viser at et maksimumsareal på 3,47 km² rundt utslippsområdet er påvirket.

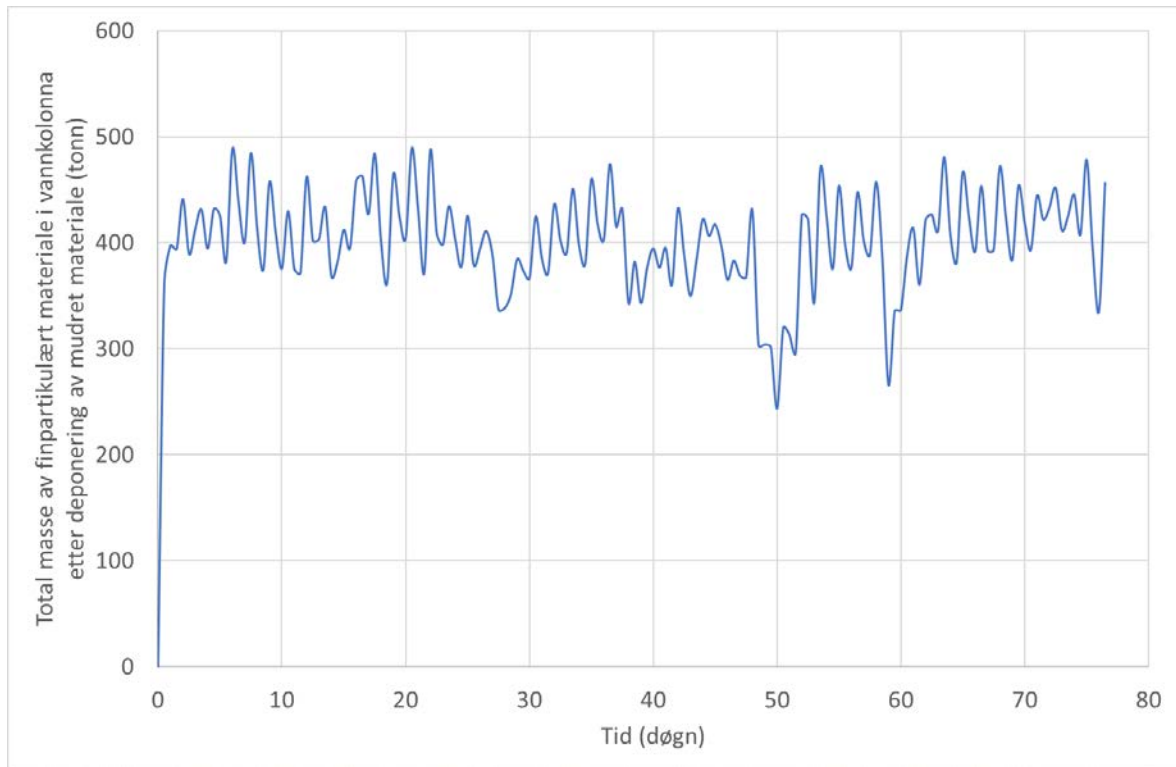
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringperioden er gitt i Figur 6.68. Maksimal masse av suspendert materiale er 614 tonn og er 6 døgn inn i simuleringperioden.

Spredningen i vannsøylen er vist i Figur 6.69. Denne figuren viser at spredningen av finpartikulært materiale kun skjer i nedre vannkolonne (under ca. 15 m).

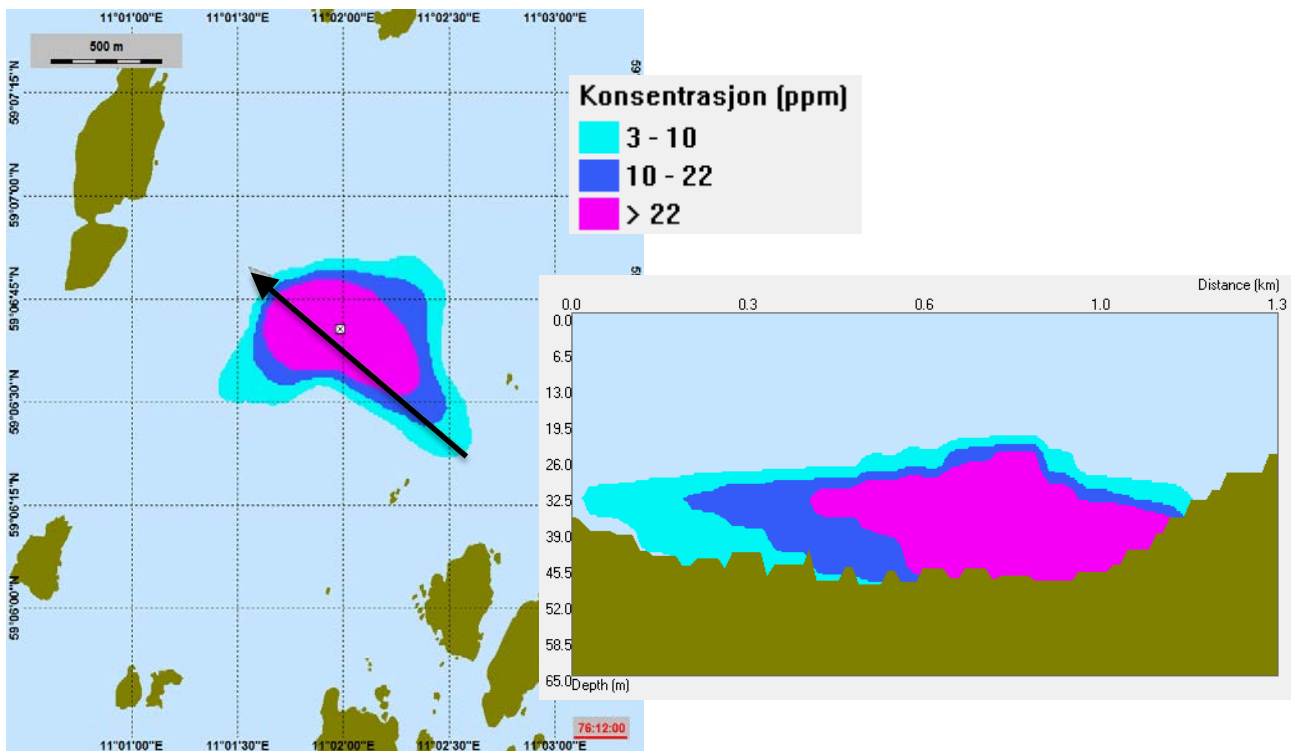
Figur 6.70, Figur 6.71 og Figur 6.72 viser det samme som de tre foregående figurene, men for 95 % konfidensintervall. Figur 6.71 viser at maksimal masse av suspendert materiale er 494 tonn og er 22 døgn inn i simuleringperioden.



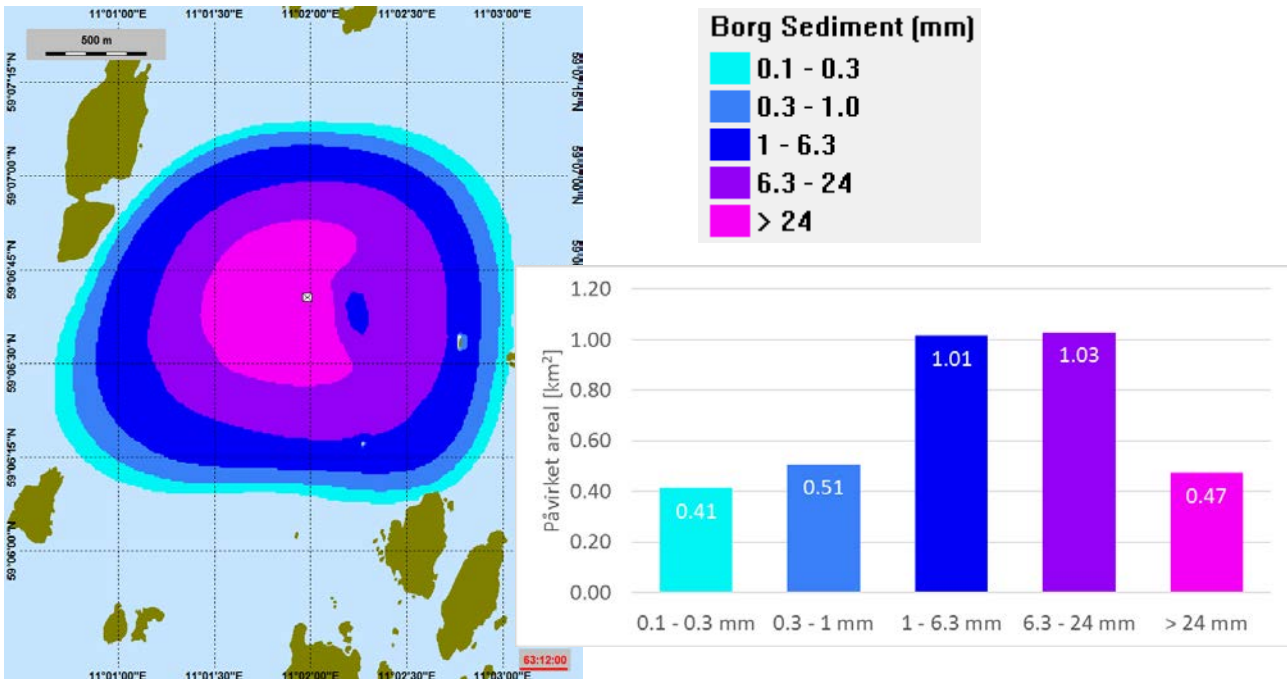
Figur 6.67 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær etter mudring med liten sugemudrer ved Borg 1. Deponering av ikke-forurensete masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 95 % konfidensintervall.



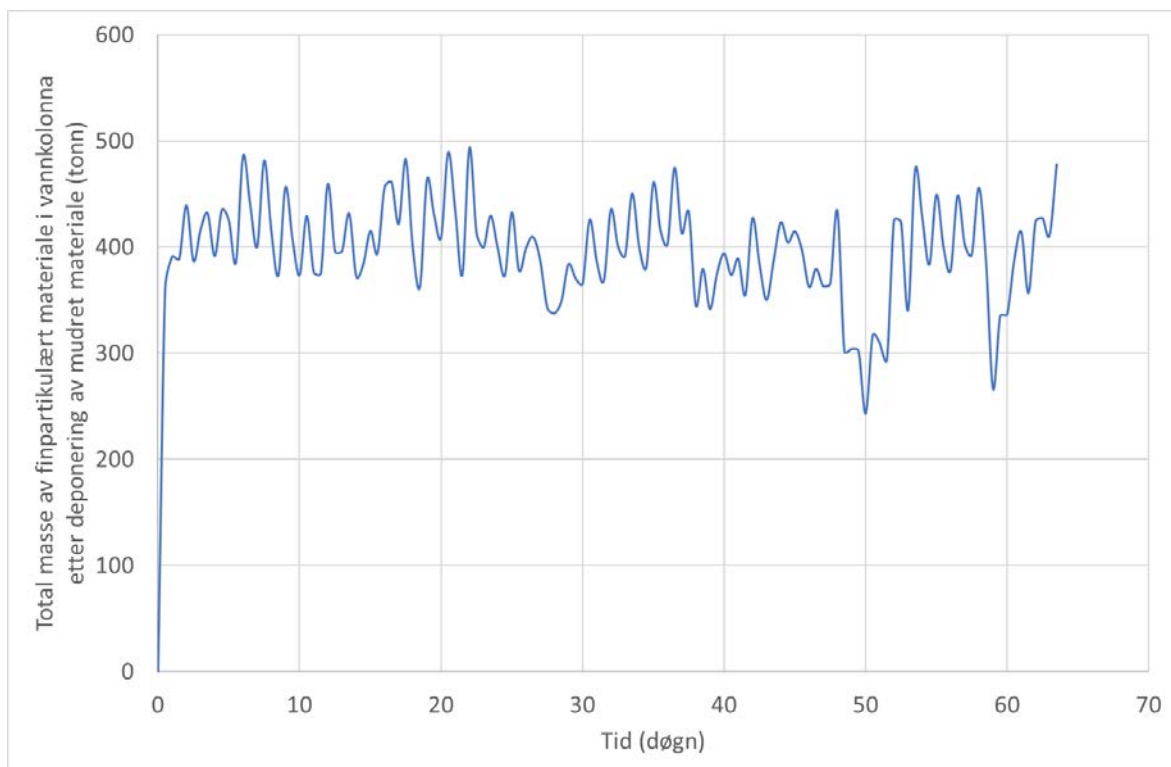
Figur 6.68 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



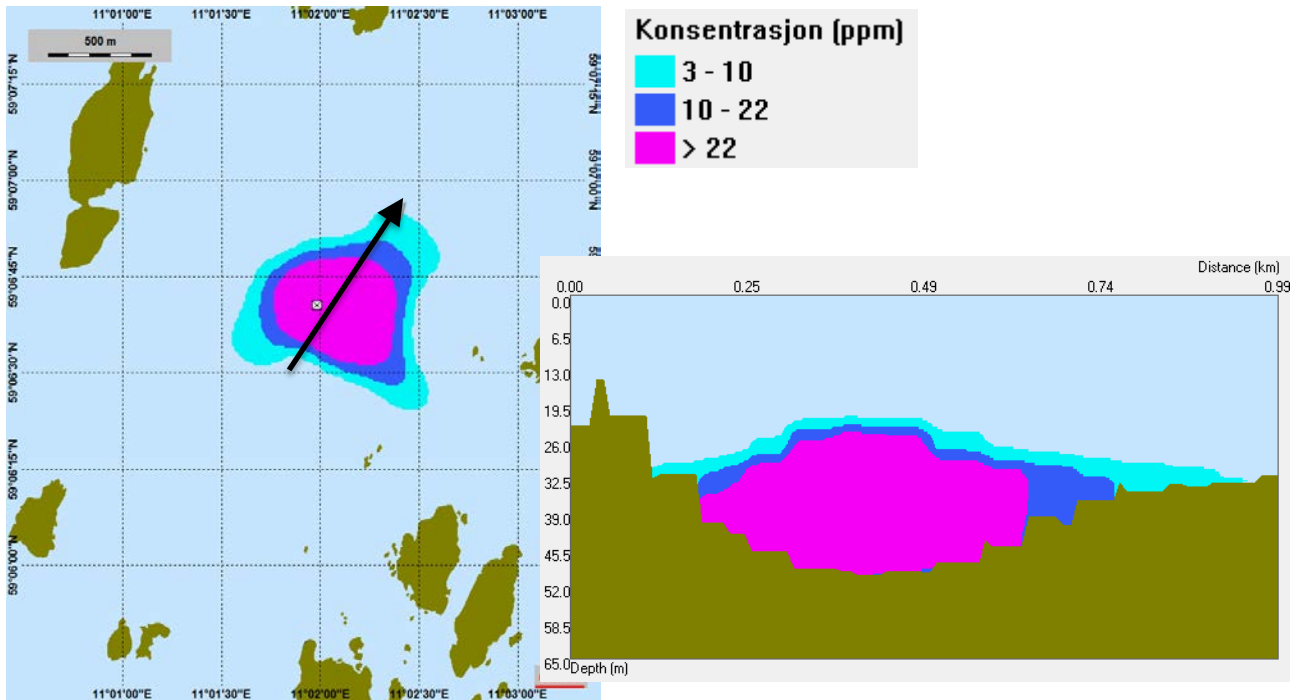
Figur 6.69 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



Figur 6.70 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær etter mudring med liten sugemudrer i Borg 1. Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 95 % konfidensintervall.



Figur 6.71 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



Figur 6.72 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Svaleskjært. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.*

6.8 Sugemudring med stor sugemudrer av ikke-forurenset materiale i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen)

6.8.1 Volum av mudrede masser

Dette scenariet beskriver mudring av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 (under -7 m, ref. sjøkartnull) og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen) med stor sugemudrer. Det totale volumet for denne mudringsoperasjonen med 80 % konfidensintervall er 2 031 843 m³. For 95 % konfidensintervall er totalvolumet 1 903 738 m³.

6.8.2 Modelloppsett

Som for det de foregående scenarioene dekker ikke det tilgjengelige datasettet for strøm det nordligste området der det skal mudres. Derfor er utslippet av finpartikulært materiale fra den nordligste delen av Borg 1 (Røsvikrenna) flyttet sørover til området som er dekket av strømdatasettet.

Fra prøvetakingtoktene beregnes volumene av sediment som skal mudres, se vedlegg A: "Mudringsvolum og inngangsdata til modelleringen". Med en antatt gjennomsnittlig in situ tetthet på 1,85 tonn/m³, konverteres volumraten til en masserate.

Den gjennomsnittlige produksjonshastigheten anslås til 6 740 tonn/time, og utslipp av finpartikulært materiale er satt til 2 % av produksjonsraten for mudring (under forutsetning at det ikke er noe overløp av masser under mudring, se kapittel 2.1.2 for nærmere beskrivelse). Mudreoperasjonen ved Borg 1 er satt opp med 22 ulike mudrelokasjoner med lik mudrelengde. Modellen er satt opp med kontinuerlig utslipp de to meterne nærmest bunnen med en total utslippshastighet på 135 tonn/time. Modelloppsettet for både 80 % og 95 % konfidensintervall er gitt i Tabell 6.8.

Tabell 6.8 Modellparametere for mudring av ikke-forurenset materiale med stor sugemudrer ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen).

| Parameter | 80 % confidence level | 95 % confidence level |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Simuleringslengde | 112,5 døgner | 105,4 døgner |
| Utslippsrate (finpartikulært materiale) | 135 tonn/time | 135 tonn/time |
| Lengde på mudreoperasjonen ved Borg 1 | 90 døgner | 85,4 døgner |
| Lengde på mudreoperasjonen ved Borg 2 | | |
| – Flyndregrunnen | 7,9 døgner | 7,1 days |
| – Belgebåen | 14,6 døgner | 12,9 days |
| Utslippsdyb | 0-2 m over bunnen | 0-2 m over bunnen |

6.8.3 Modellresultat for 80 % konfidensintervall

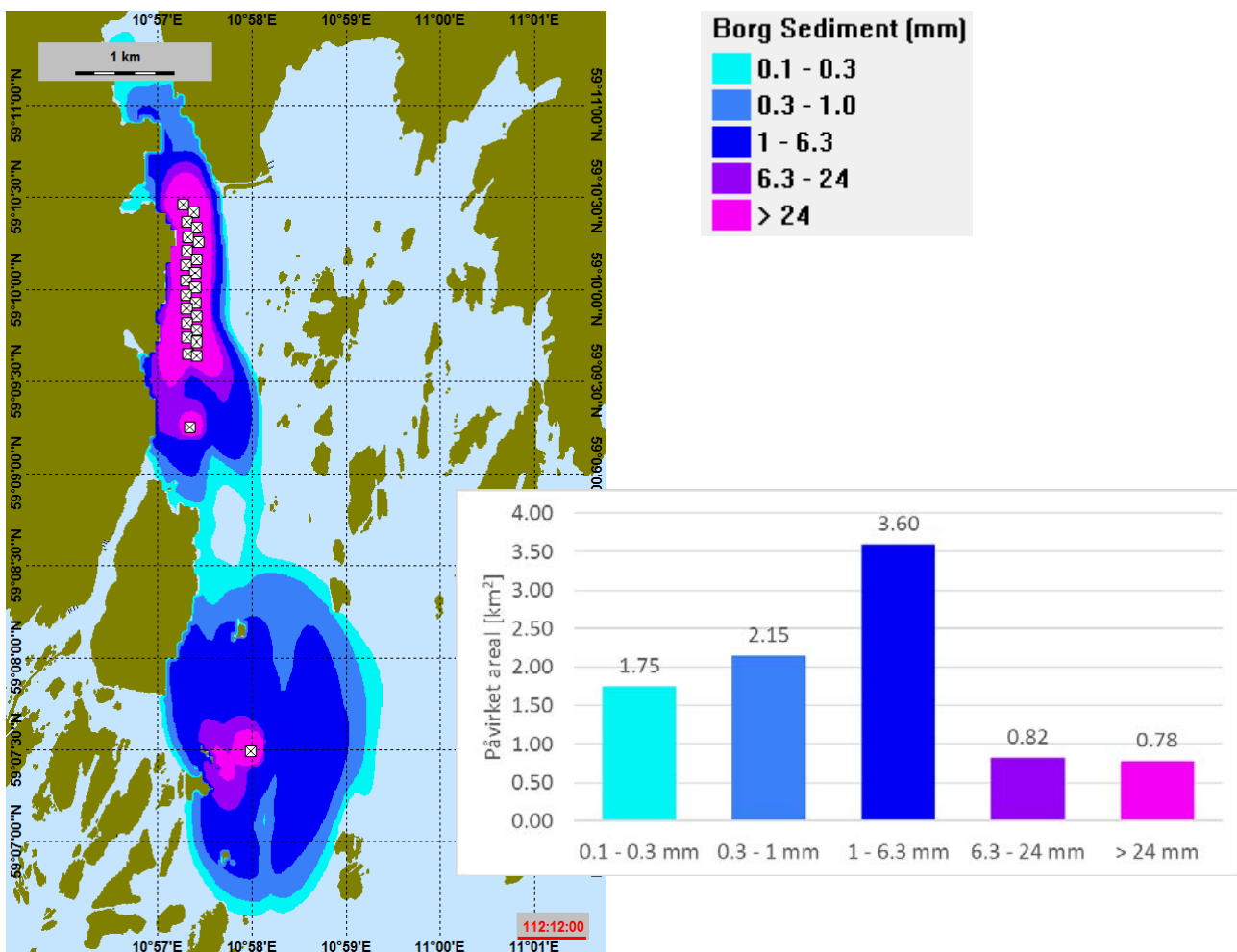
Tykkelsen på det sedimenterte ikke-forurensete materialet på slutten av den mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.73. Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet i begge figurene og viser at et totalt areal på 9,09 km² rundt mudringsområdet er påvirket. Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten. Figuren viser også at sedimenteringen rundt Belgebåens mudringssted er ganske omfattende. Dette kan skyldes høyere strømhastighet og skiftende retning av strømmen i dette området

(overflatestrømmen fra Glomma skifter mellom å strømme mot sør og sørøst i dette området). Den kompenserende innstrømningen sprer det suspenderte materialet nordover i dypere lag. (Se kapittel 5 for nærmere beskrivelse av strømmen).

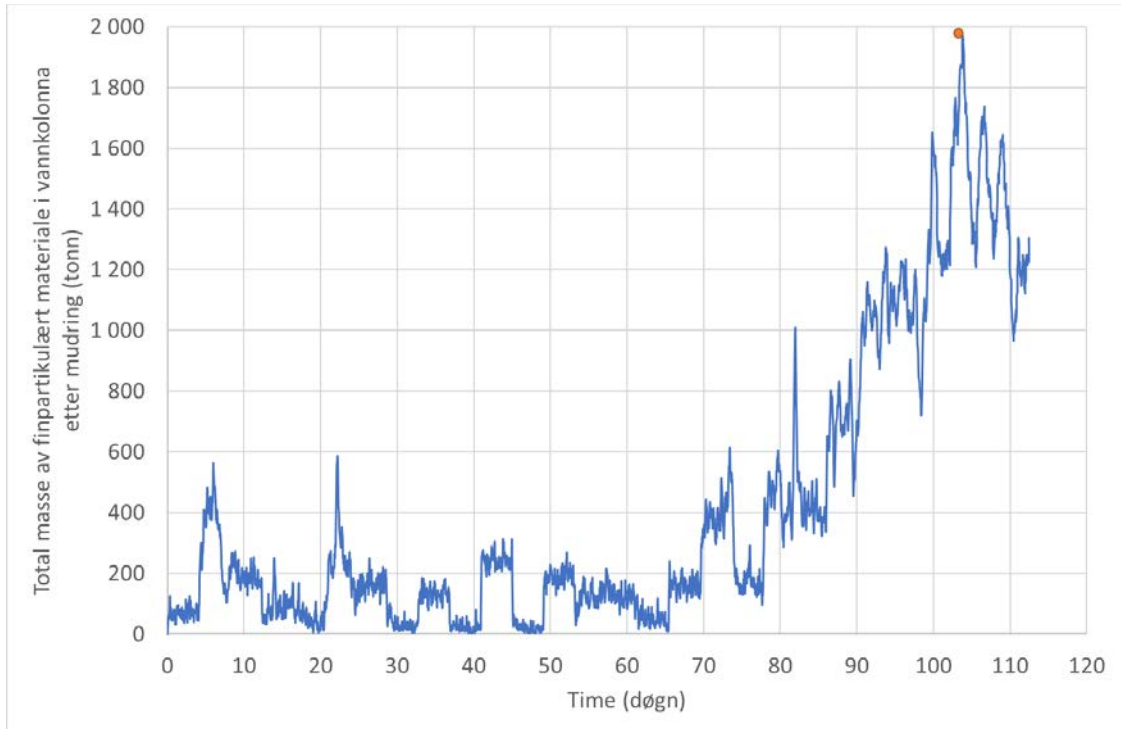
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.74. Den maksimale massen av suspendert materiale er 1 970 tonn og dette finner sted 103 døgn og 19 timer inn i simuleringsperioden (Figur 6.75).

Den maksimale partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under to ulike tidspunkt av mudringsoperasjonen ved Borg 1 er vist i Figur 6.76 og Figur 6.77. Figur 6.78 og Figur 6.79 viser den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hhv 2 Flyndregrunnen og Belgebåen. Disse figurene viser at spredning av partikler i vannsøylen er hovedsakelig nær eller nedstrøms for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen i vannsøylen er vist i et vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er under terskelen på 3 ppm.

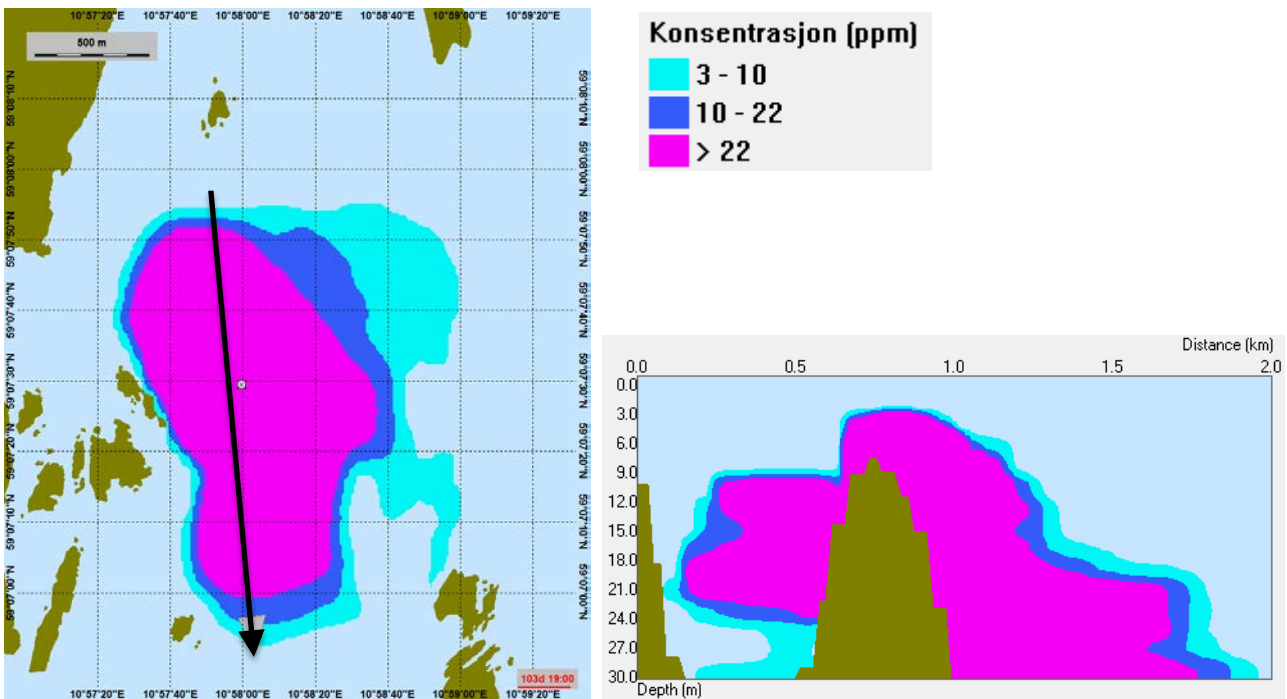
Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen ved Borg 1 er vist i Vedlegg B.7, Figur B. 26 – Figur B. 31.



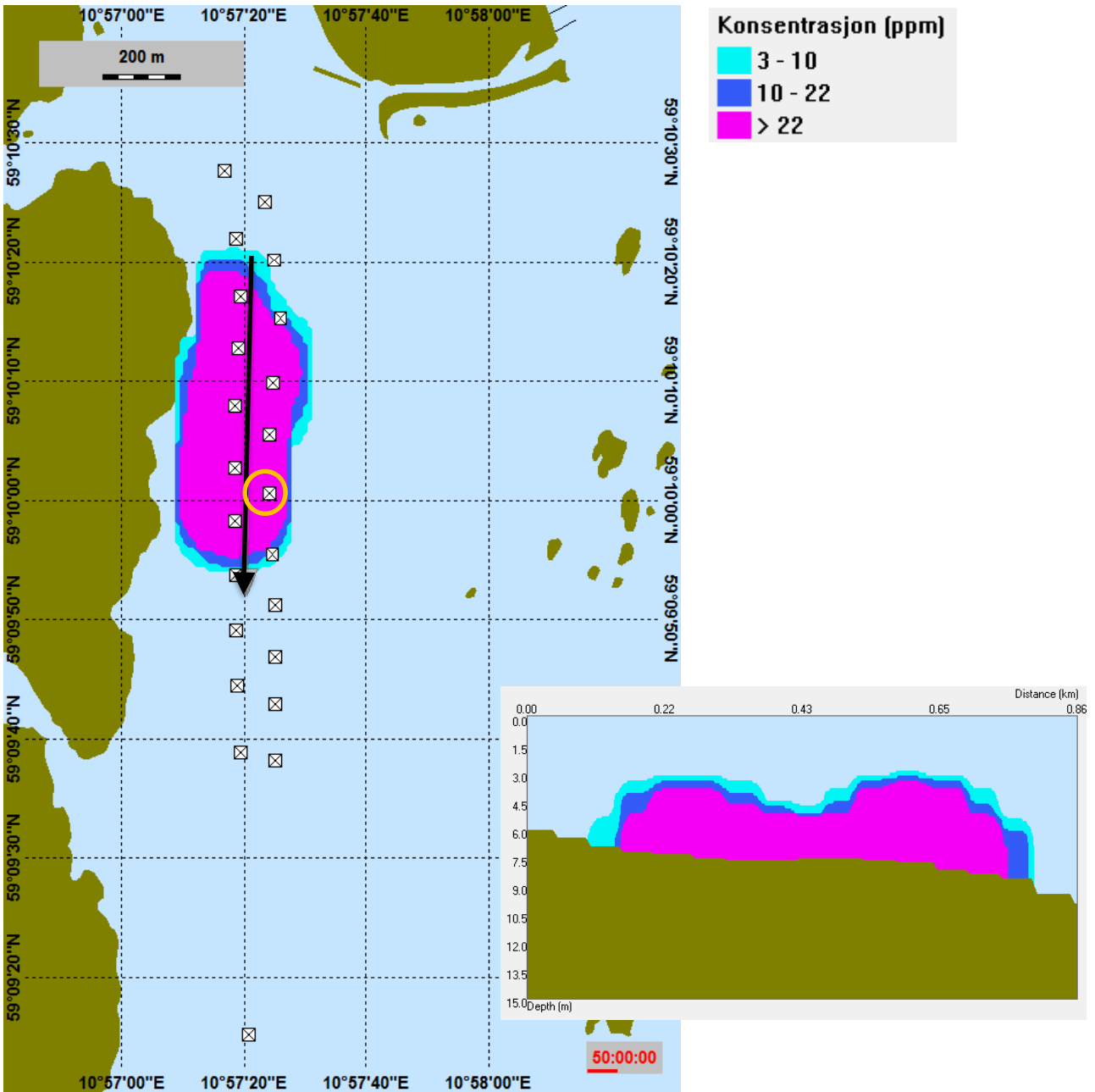
Figur 6.73 Sedimenttykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med stor sugemudrer ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



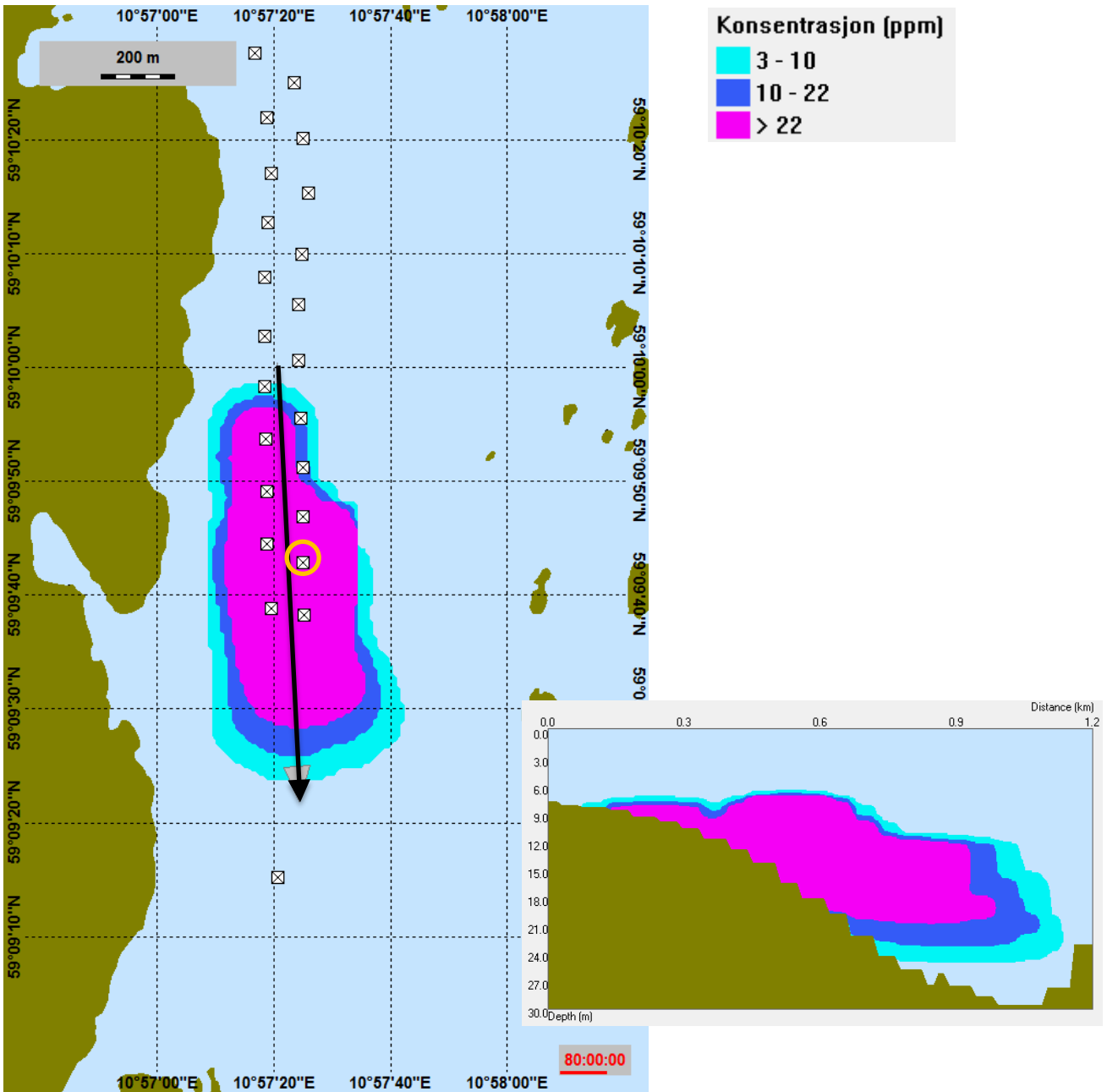
Figur 6.74 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 103 døgn og 19 timer. Totalmasse var da 1 970 tonn.



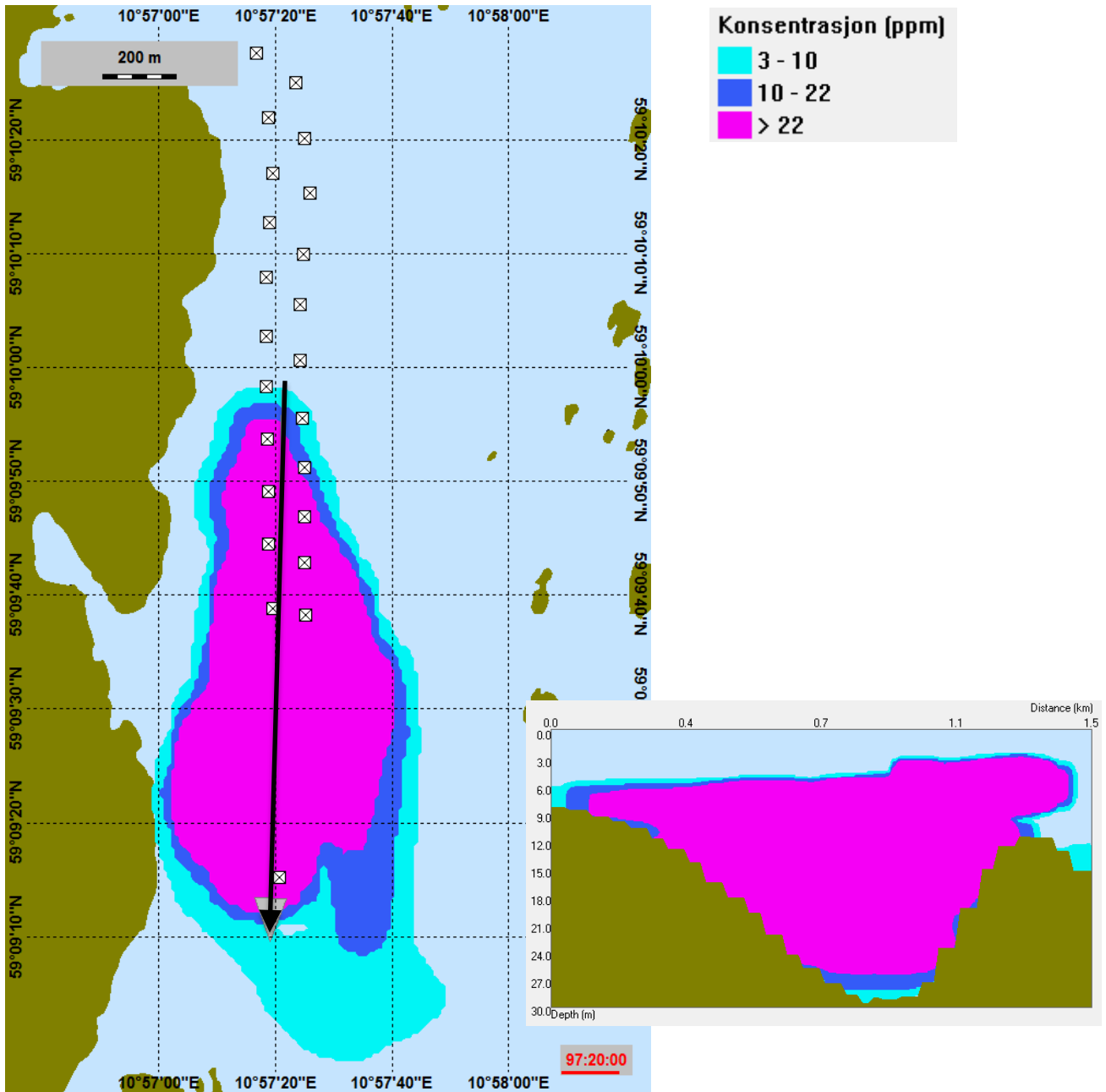
Figur 6.75 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 103 døgn og 19 timer inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



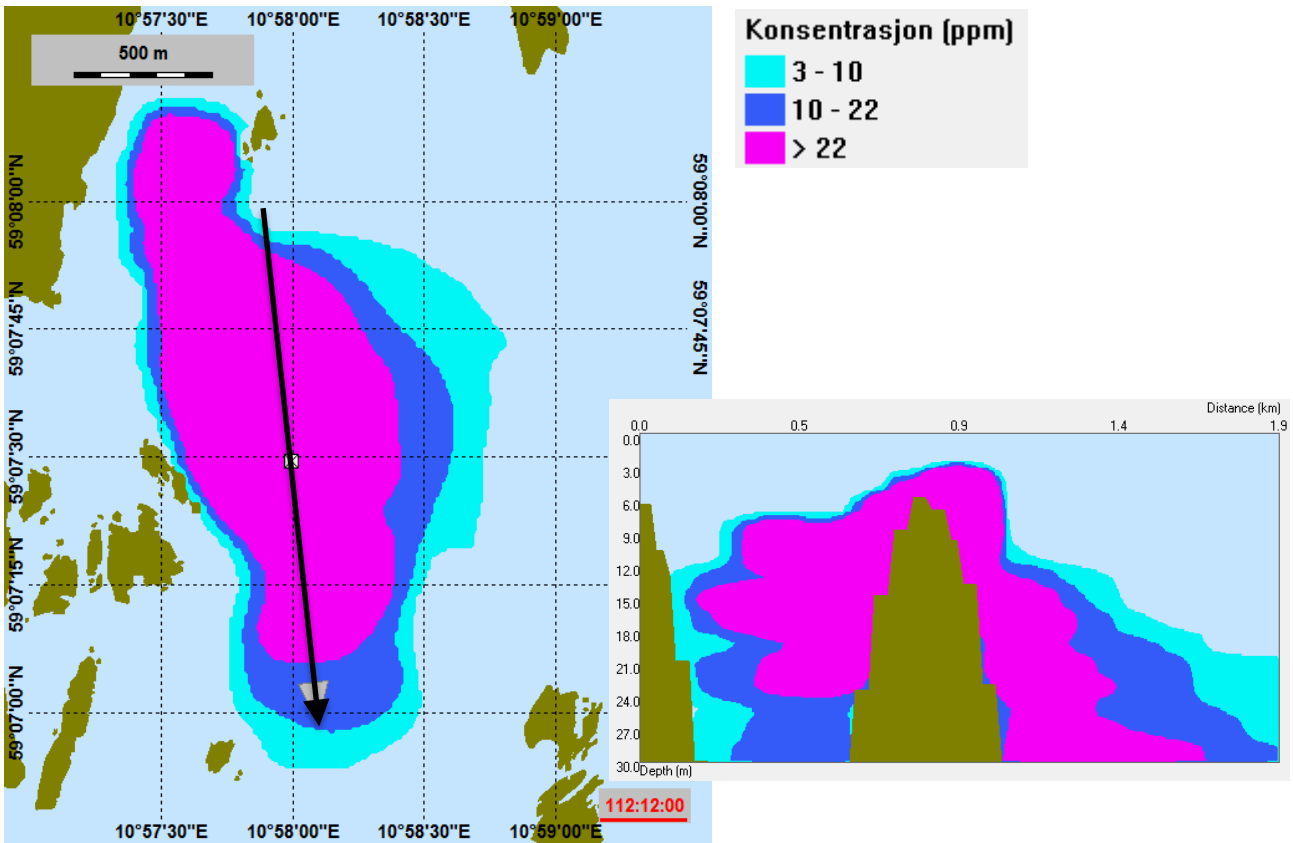
Figur 6.76 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



Figur 6.77 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 80 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



Figur 6.78 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Borg 2 Flyndregrunnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall.*



Figur 6.79 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Borg 2 Belgebåen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurensede materiale med 80 % konfidensintervall.

6.8.4 Modellresultat for 95 % konfidensintervall

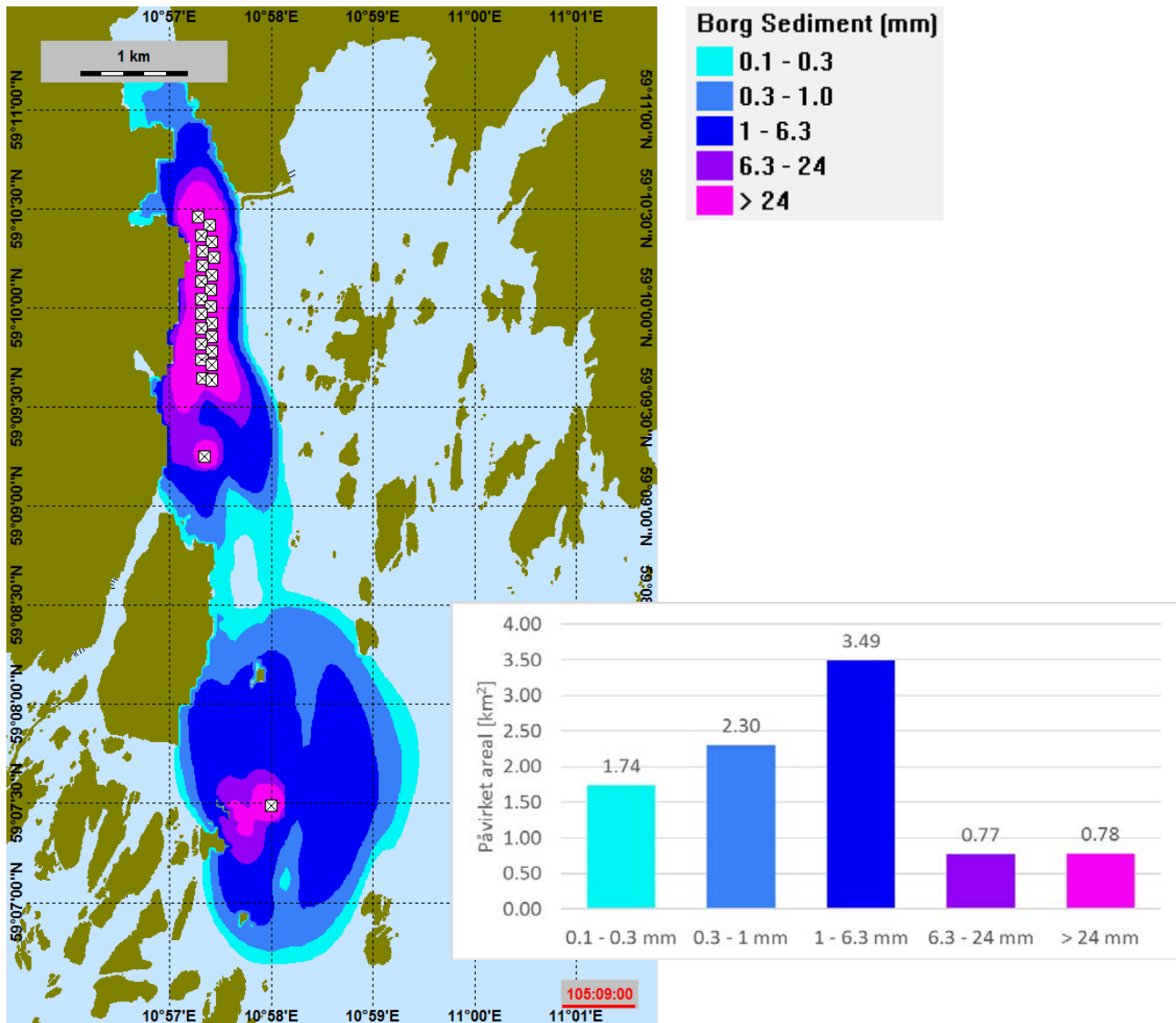
Tykkelsen på det sedimenterte ikke-forurensede materialet på slutten av den mudringsoperasjonen er vist i Figur 6.80. Det påvirkede området for hvert nivå er gitt i diagrammet i begge figurene og viser at et totalt areal på 9,08 km² rundt mudringsområdet er påvirket. Vær oppmerksom på at det ikke er tatt hensyn til at materialet som sedimenterte ved mudringsstedet vil i virkeligheten bli mudret på nytt. I tillegg har ingen resuspensjon på grunn av strøm eller bølger blitt modellert. Dette betyr at materialet som sedimenterer på bunnen, forblir der. Følgelig viser de angitte verdiene mer sedimentert materiale nær mudringsstedet enn det vil være i virkeligheten. Figuren viser også at sedimenteringen rundt Belgebåens mudringssted er ganske omfattende. Dette kan skyldes høyere strømhastighet og skiftende retning av strømmen i dette området (overflatestrømmen fra Glomma skifter mellom å strømme mot sør og sørøst i dette området). Den kompensende innstrømningen sprer det suspenderte materialet nordover i dypere lag. (Se kapittel 5 for nærmere beskrivelse av strømmen).

Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.81. Den maksimale massen av suspendert materiale er 2 107 tonn og dette finner sted 94 døgn og 5 timer inn i simuleringsperioden (Figur 6.82).

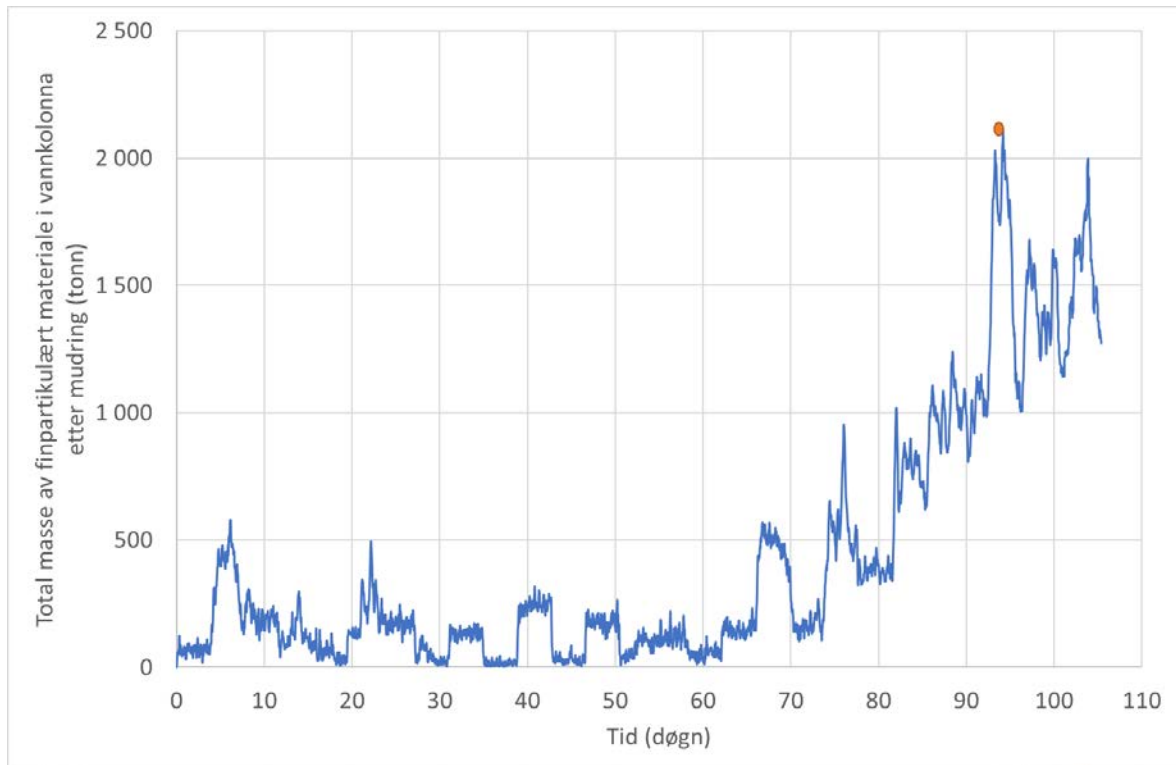
Den maksimale partikkelkonsentrasjon av finpartikulært materiale i vannsøylen under to ulike tidspunkt av mudringsoperasjonen i Borg 1 er vist i Figur 6.83 og Figur 6.84. Figur 6.85 og Figur 6.86 viser den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hhv 2 Flyndregrunnen og Belgebåen. Disse figurene viser at spredning av partikler i vannsøylen er hovedsakelig nær eller nedstrøms for mudringsområdet. Partikkelkonsentrasjonen

i vannsøylen er vist i et vertikalsnitt langs pila i figurene. Disse figurene viser at partikkelkonsentrasjonen i de øverste 3 meterne er under terskelen på 3 ppm.

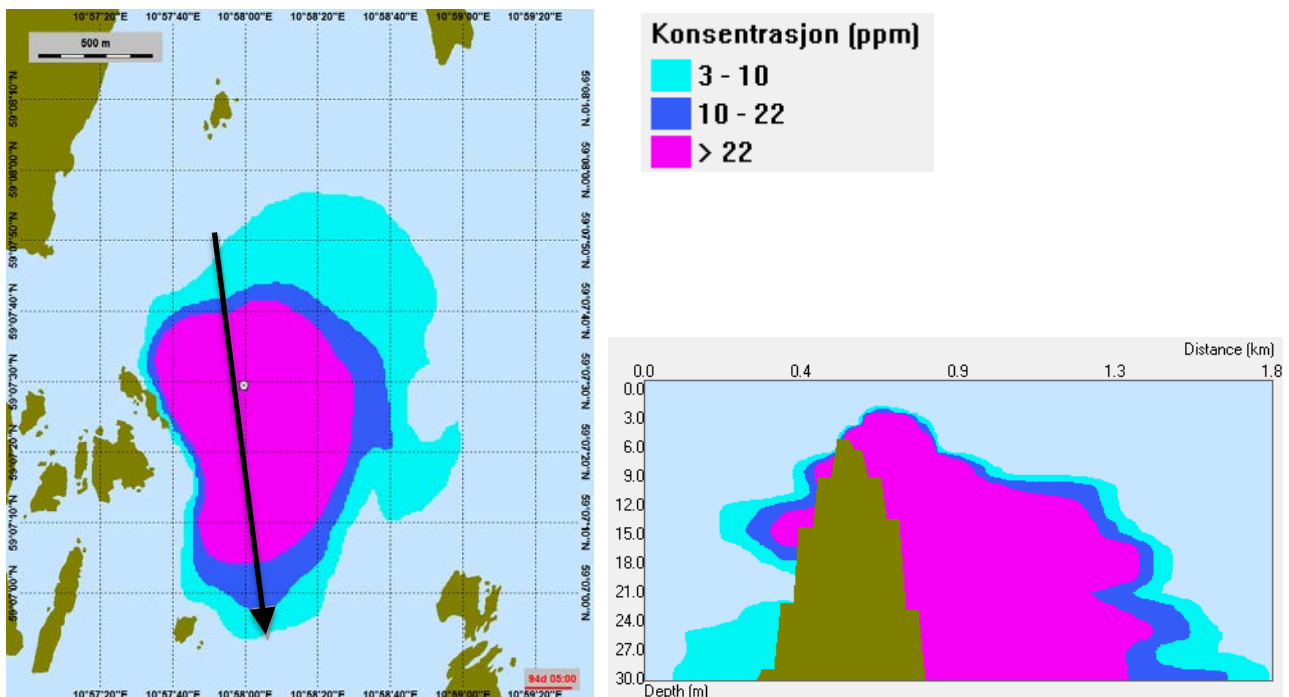
Den maksimale partikkelkonsentrasjonen for hvert 10. døgn gjennom mudringsoperasjonen ved Borg 1 er vist i Vedlegg B.8, Figur B. 32 – Figur B. 36.



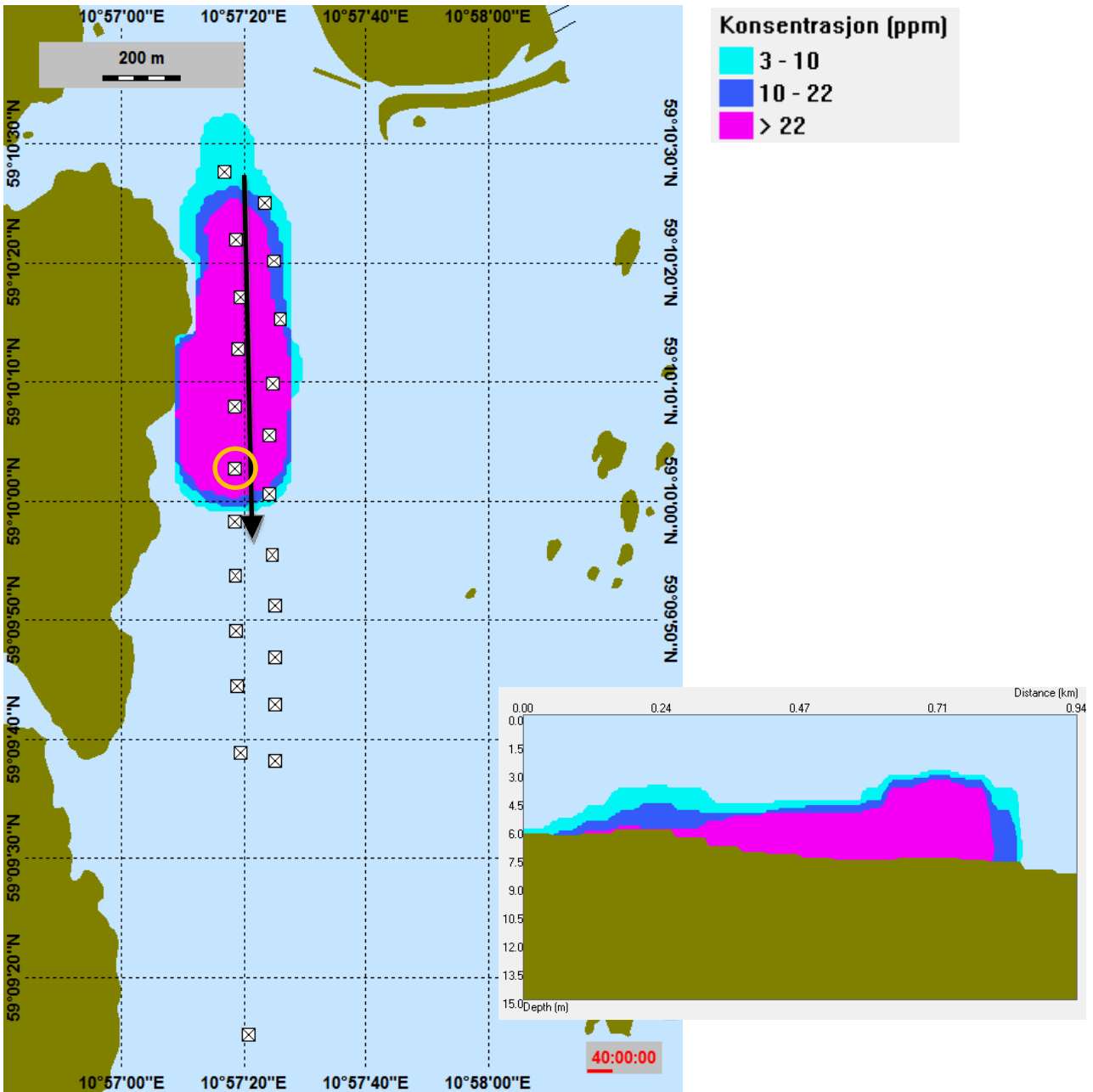
Figur 6.80 Sediment-tykkelse ved slutten av mudringsoperasjonen med stor sugemudrer i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet.



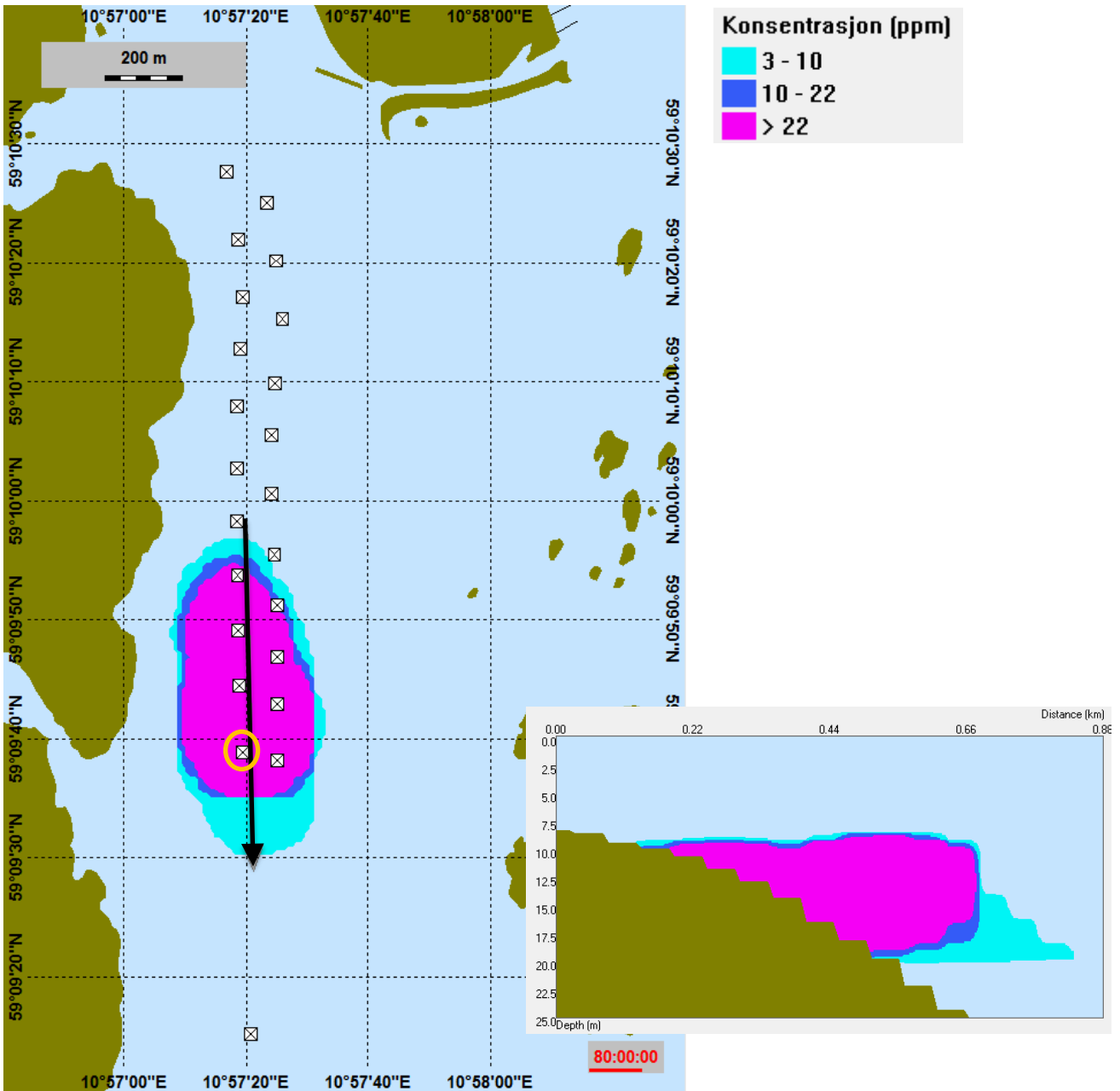
Figur 6.81 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonna gjennom hele modelleringsperioden. Det oransje punktet viser tidspunktet da det var mest suspendert materiale i vannet. Dette skjedde etter 94 døgn og 5 timer. Totalmasse var da 2 107 tonn.



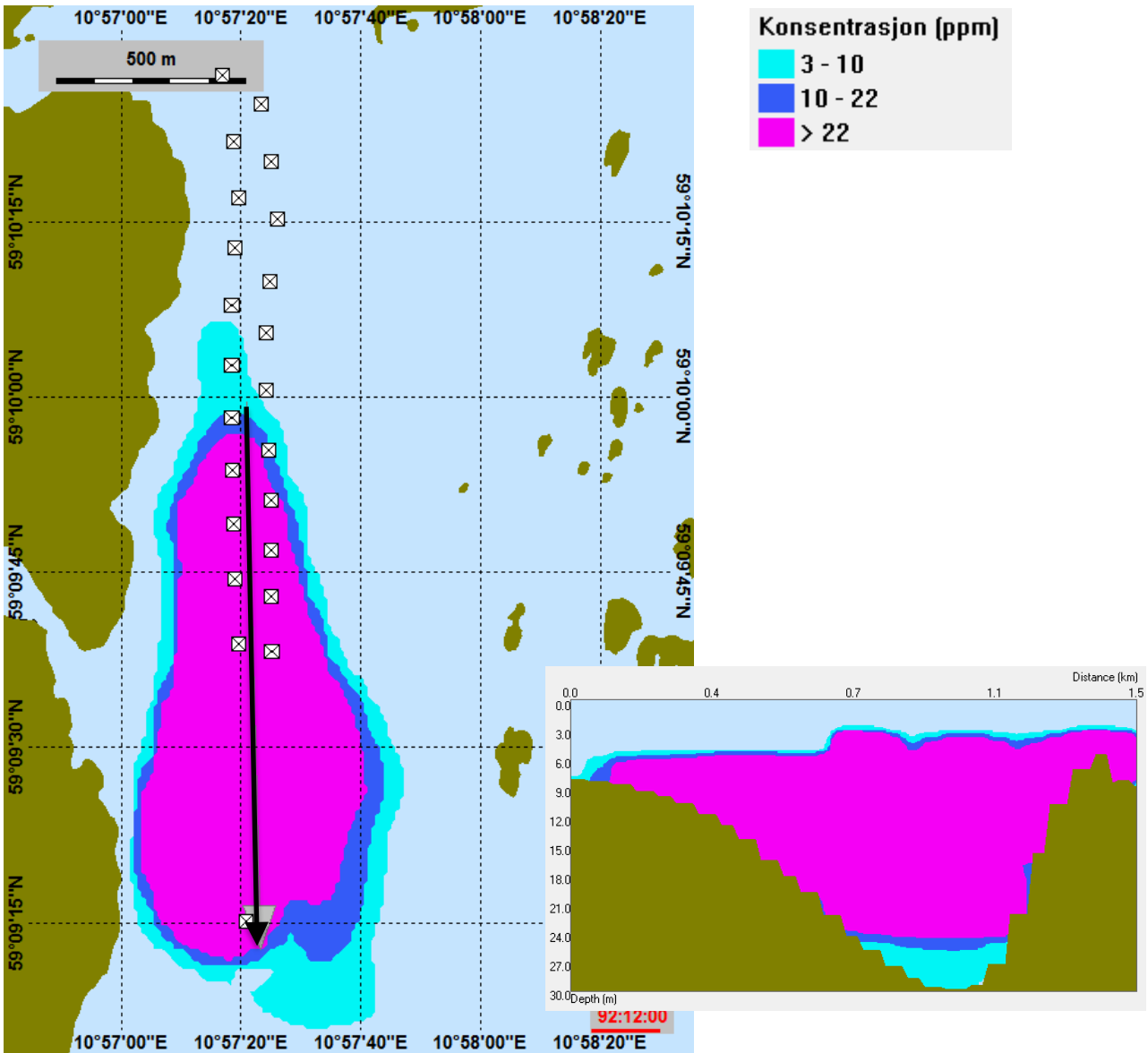
Figur 6.82 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonna 94 døgn og 5 timer inn i mudreoperasjonen. Dette korresponderer med tidspunktet da det var mest masse i vannkolonna. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre.



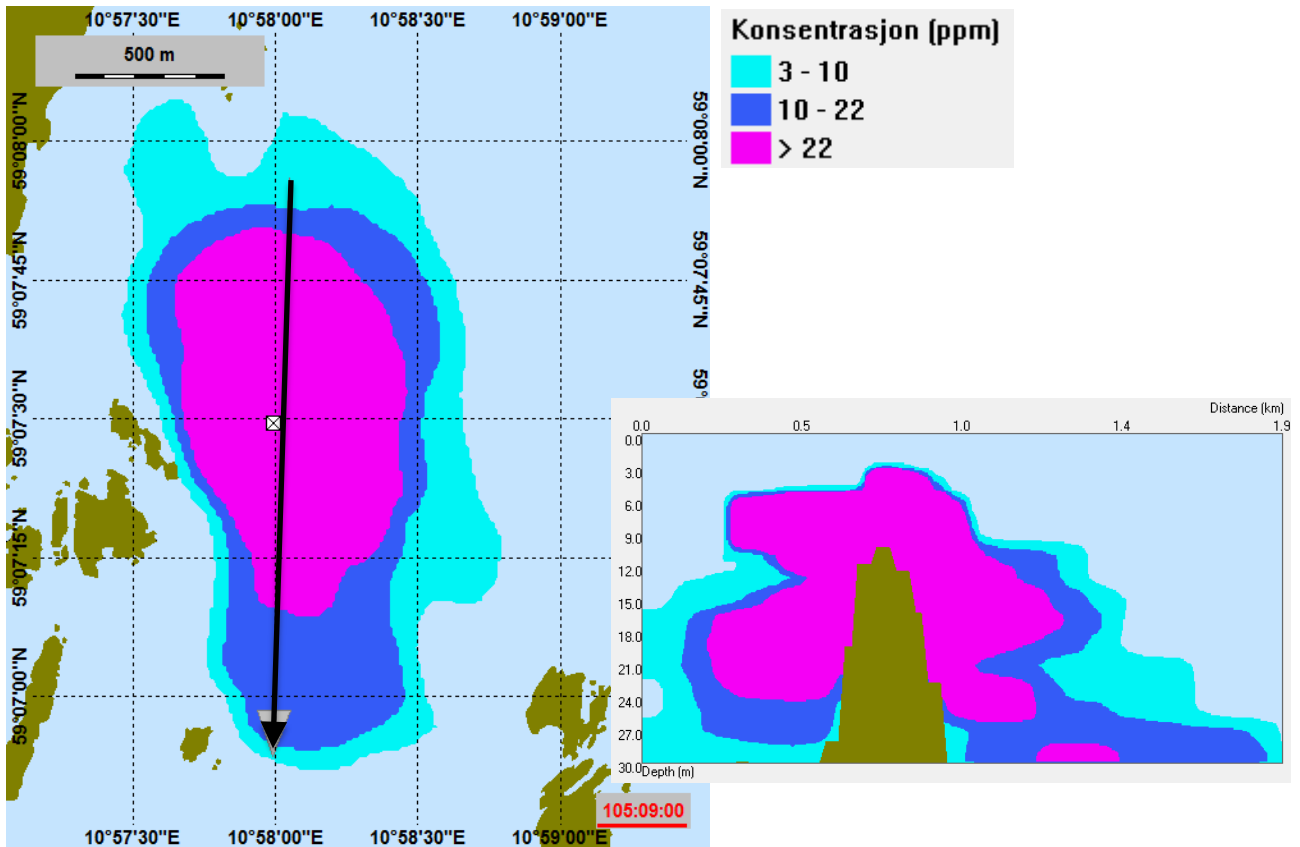
Figur 6.83 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 40 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



Figur 6.84 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 80 døgn inn i mudreoperasjonen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurensset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



Figur 6.85 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Borg 2 Flyndregrunnen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.



Figur 6.86 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av mudreoperasjonen ved Borg 2 Belgebåen. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall.

6.9 Utslipp gjennom rør med diffusor av ikke-forurenset materiale etter mudring med stor sugemudrer (Borg 1) og Borg 2 (Flyndregrunnen and Belgebåen)

6.9.1 Volum av deponerte masser

Dette scenariet beskriver deponering av ikke-forurenset materiale etter mudring ved Borg 1 (under -7 m, ref. sjøkartnull) og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen) med stor sugemudrer. Det totale volumet for denne mudringsoperasjonen med 80 % konfidensintervall er 2 031 843 m³. For 95 % konfidensintervall er totalvolumet 1 903 738 m³. Deponeringen er modellert for to ulike deponi: Møkkalasset og Svaleskjær.

6.9.2 Modelloppsett

Modellen er satt opp med gjentatte sykluser gjennom hele simuleringsperioden. Mengden av deponert materiale som er tilgjengelig for dispensering i vannsøylen, starter å spre seg rett under diffusorenes utgang. Mengden masse som er tilgjengelig til spredning er satt til 5 %. Hovedmassen av det deponerte materialet vil falle til sjøbunnen som en tetthetsstrøm.

Utslippsraten for det deponerte materialet som kan spre seg i vannsøylen (5 % av totalvolum) er 281 tonn/time. I simuleringene er utslippet av finpartikulært materiale fra deponeringen fordelt over vannsøylen under 30 m dyp (dypet til utslippsrøret). Samme oppsett har blitt brukt til både Møkkalasset og Svaleskjær. Modellparametrene for utslippet er oppsummert i Tabell 6.9.

Tabell 6.9 Modellparametre for deponering av ikke-forurensete masser etter mudring med stor sugemudrer ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen).

| Parameter | 80 % konfidensintervall | 95% konfidensintervall |
|---|-------------------------|------------------------|
| Simuleringslengde | 112,5 døgn | 105,4 døgn |
| Utslippsrate (finpartikulært materiale) | 281 tonn/time | 281 tonn/time |
| Lengde på hvert utslipp | 0,87 timer | 0,87 timer |
| Tid mellom utslipp | 2,03 timer | 2,03 timer |
| Utslippsdyp (dypet til diffusoren) | 30 m | 30 m |

6.9.3 Modellresultat Møkkalasset

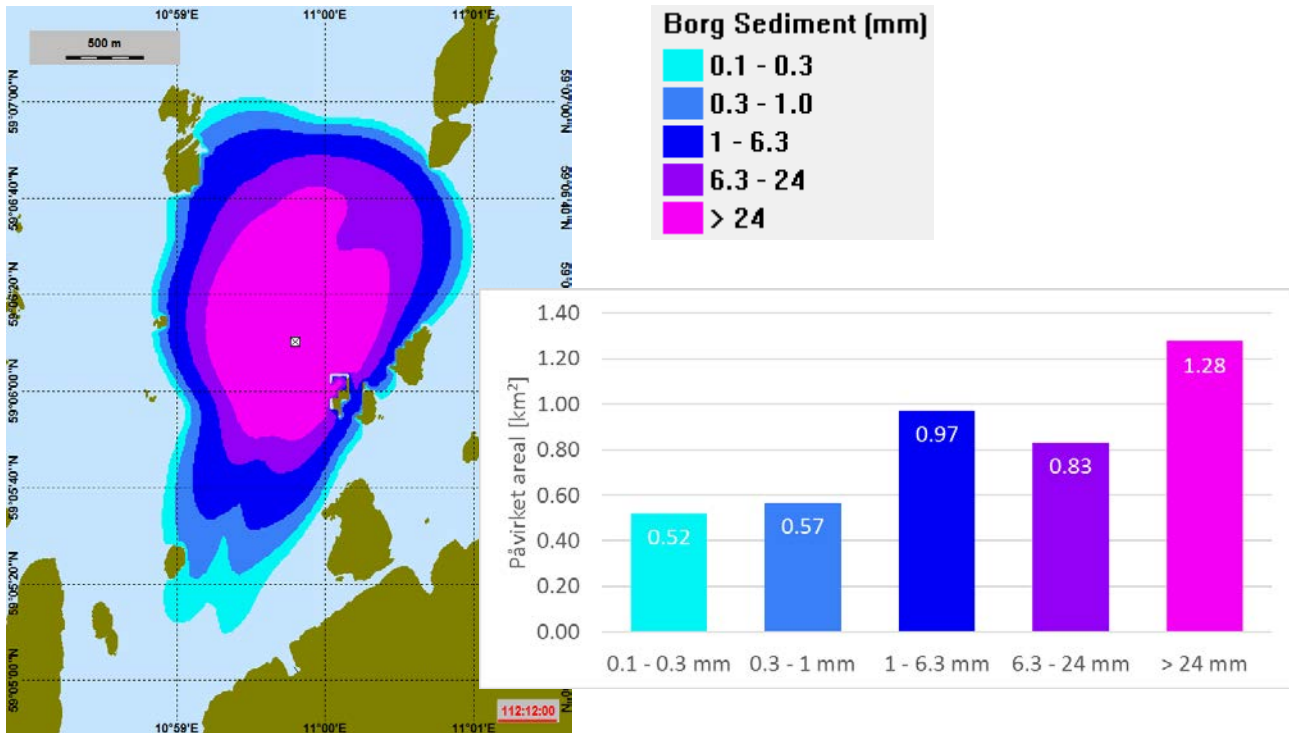
Sediment-tykkelsen og spredning av finpartikulært materiale som er forbundet med deponeringen ved Møkkalasset etter mudring av ikke-forurenset materiale med stor sugemudrer i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen), er vist i Figur 6.87. Sediment-tykkelsen er gitt ved slutten av modellperioden for 80 % konfidensintervall. Det berørte området for hvert intervall er vist i diagrammet. Dette diagrammet viser at et maksimumsareal på 4,17 km² rundt utslippsområdet er påvirket.

Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.88. Maksimal masse av suspendert materiale er 1 498 tonn og er 5 døgn inn i simuleringsperioden.

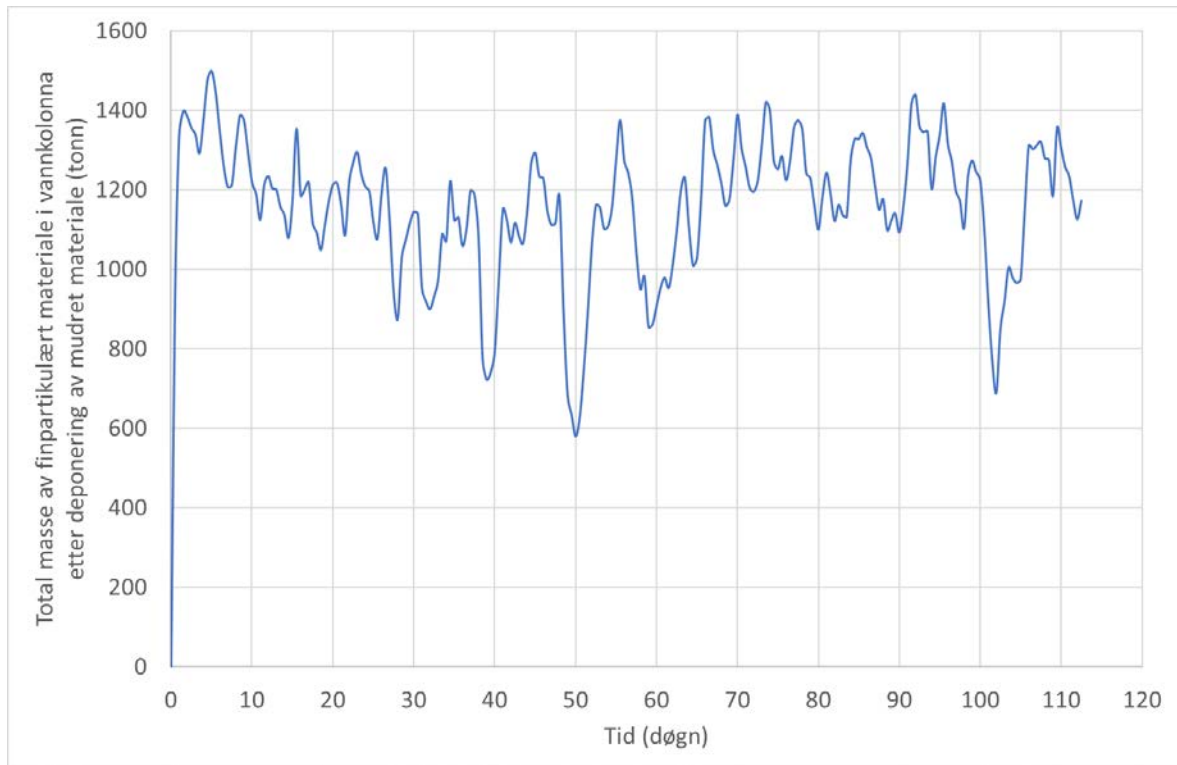
Spredningen i vannsøylen er vist i Figur 6.89. Denne figuren viser at spredningen av finpartikulært materiale kun skjer i nedre vannkolonne (under ca. 15 m).

Figur 6.92, Figur 6.93 og Figur 6.94 viser det samme som de Figur 6.87 – Figur 6.90, men for 95 % konfidensintervall. Figur 6.93 viser at maksimal masse av suspendert materiale er 1 494 tonn og er 5 døgn inn i simuleringsperioden.

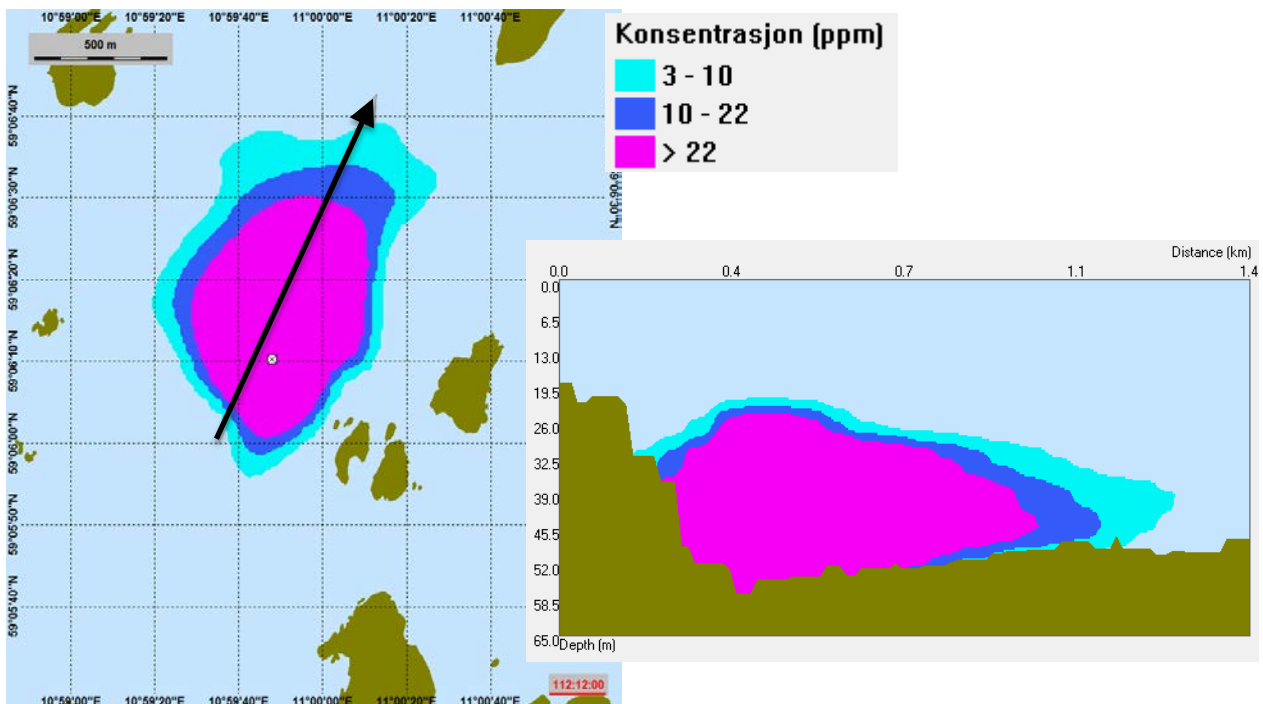
Den totale maksimumskonsentrasjonen av finpartikulært materiale i vannkolonnen er vist i Figur 6.90. Denne figuren viser maksimal konsentrasjon på et hvilket som helst dyp og til et hvilket som helst tidspunkt gjennom hele simuleringsperioden. Den samlede maksimale konsentrasjonen i et tverrsnitt langs pilen i figuren er også vist. Tverrsnittet i Figur 6.90s sammen med Figur 6.91 (samlet maksimal konsentrasjon ved 15 m dyp) viser at det ikke er spredning av finpartikulært materiale over 15 m vanddyb.



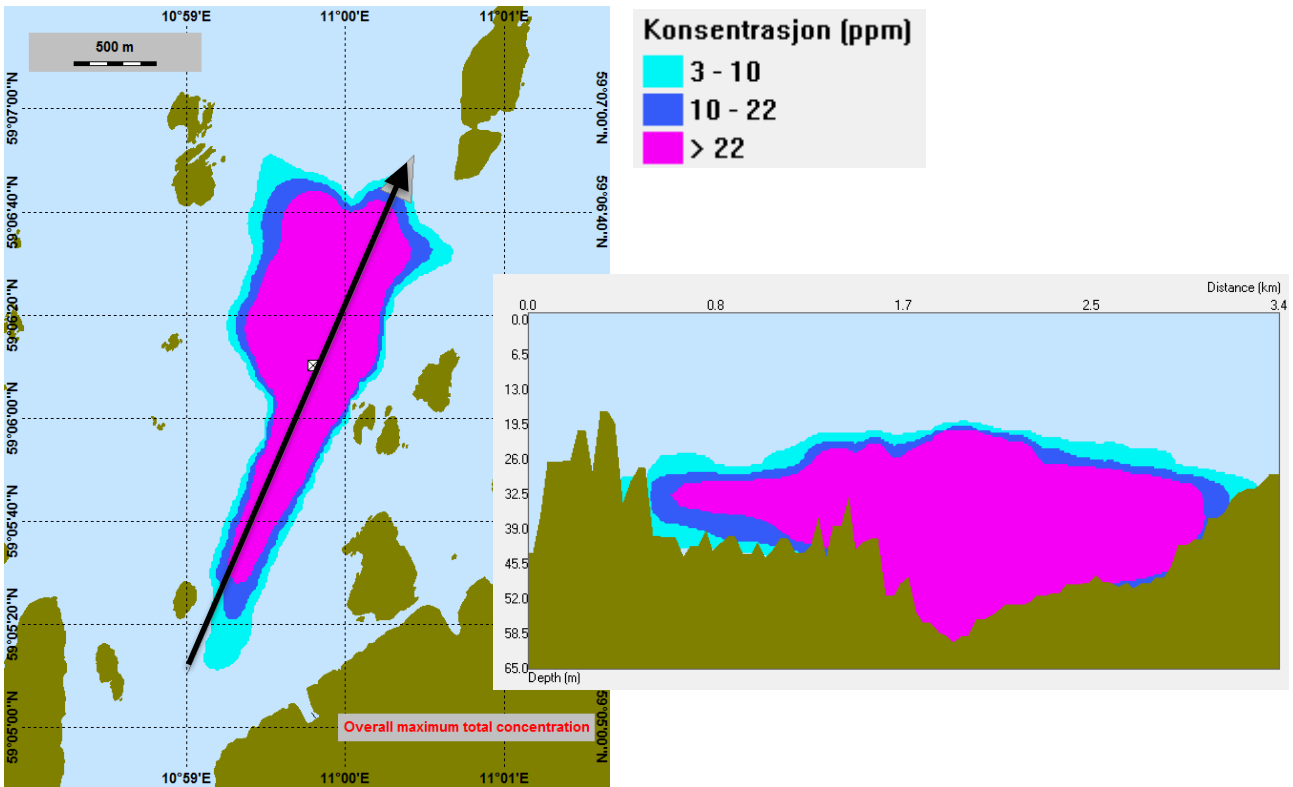
Figur 6.87 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset etter mudring med stor sugemudrer i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 80 % konfidensintervall.



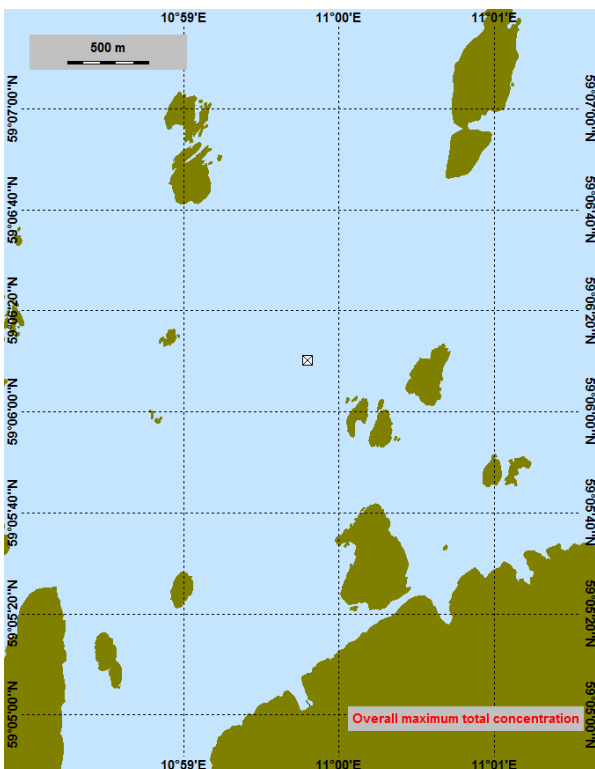
Figur 6.88 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



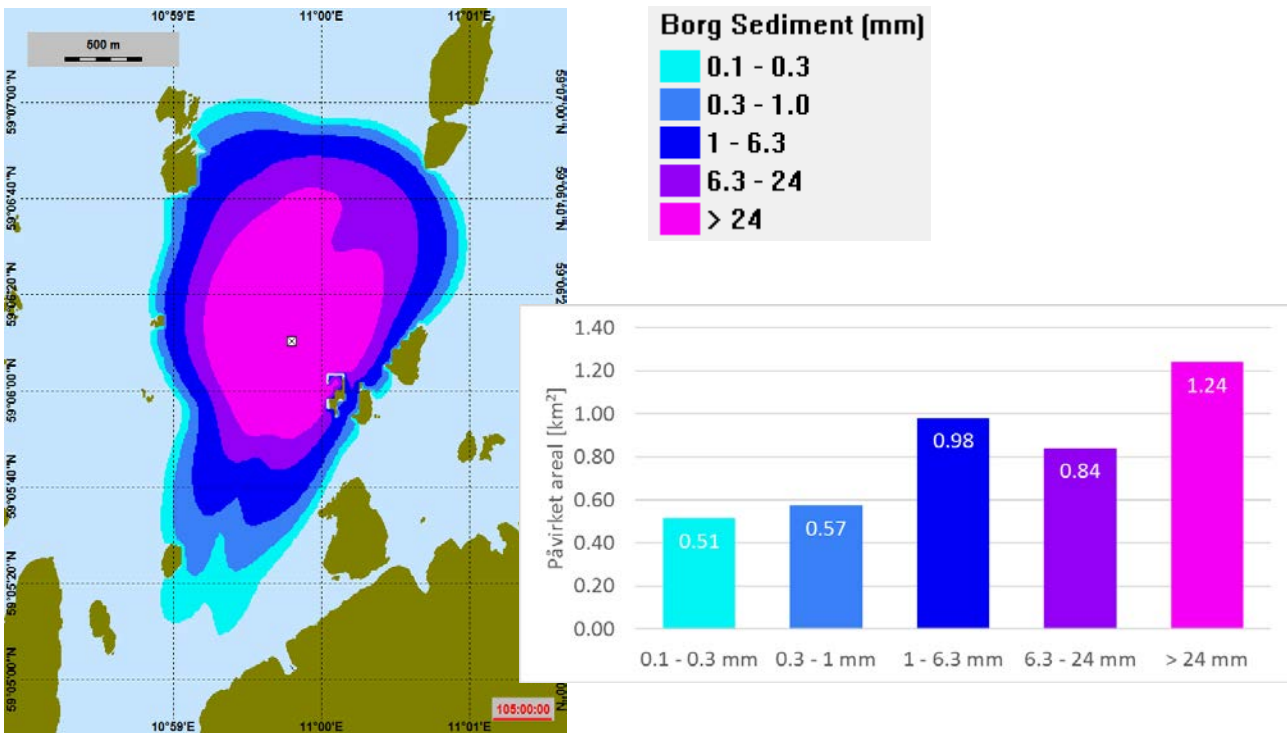
Figur 6.89 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



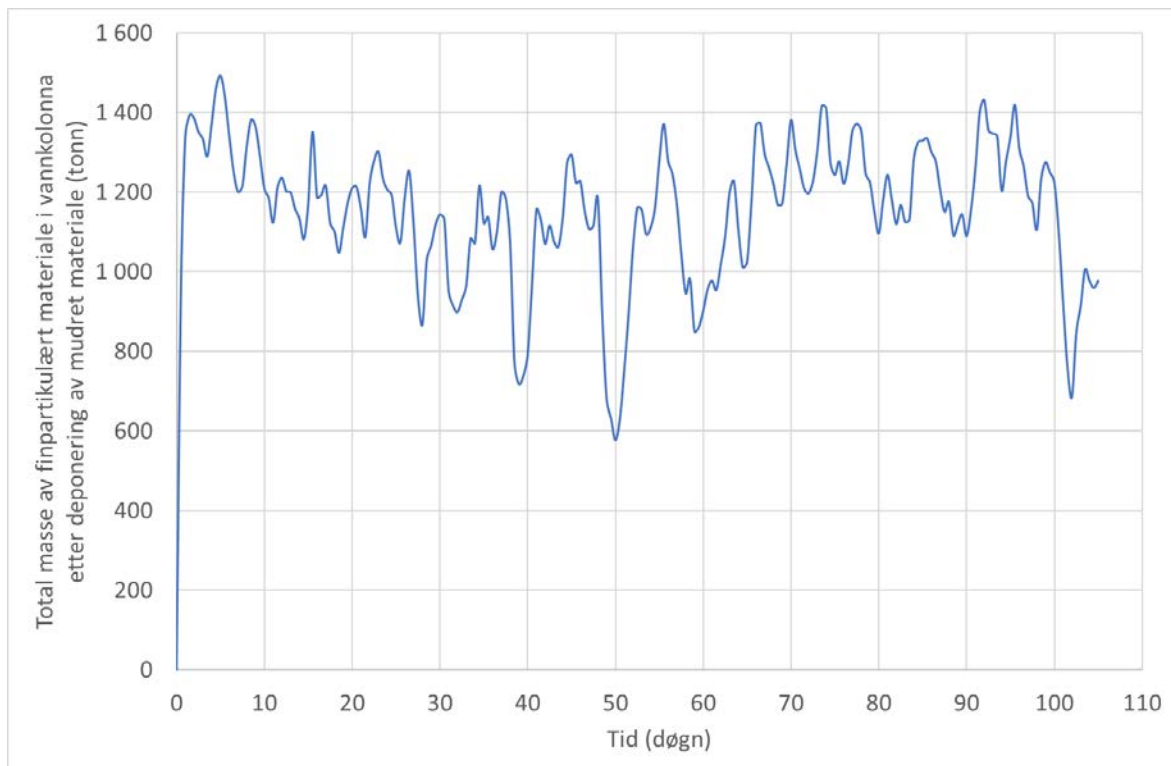
Figur 6.90 Maksimal partikkelkonsentrasjon i hvert enkelt gridpunkt gjennom hele simuleringsperioden. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurensset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



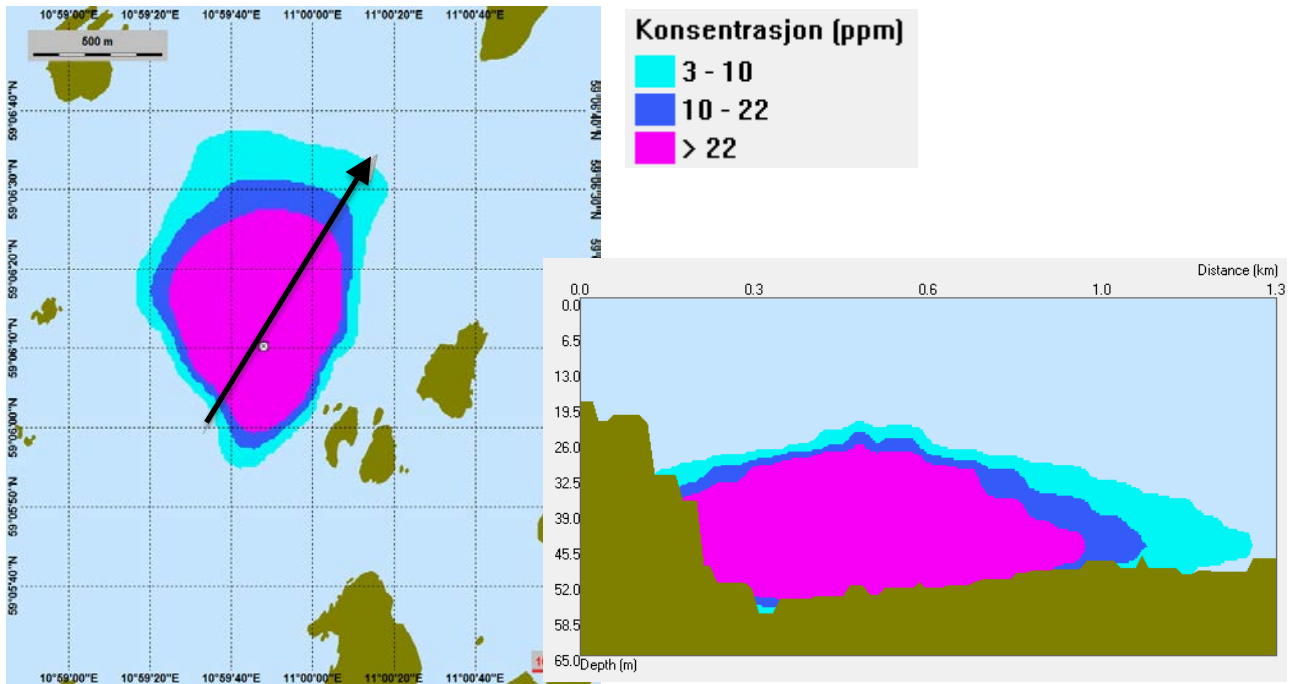
Figur 6.91 Maksimal partikkelkonsentrasjon i hvert enkelt gridpunkt ved 15 m vandndyp gjennom hele simuleringsperioden. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



Figur 6.92 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset etter mudring med stor sugemudrer i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 95 % konfidensintervall.



Figur 6.93 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



Figur 6.94 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Møkkalasset. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.

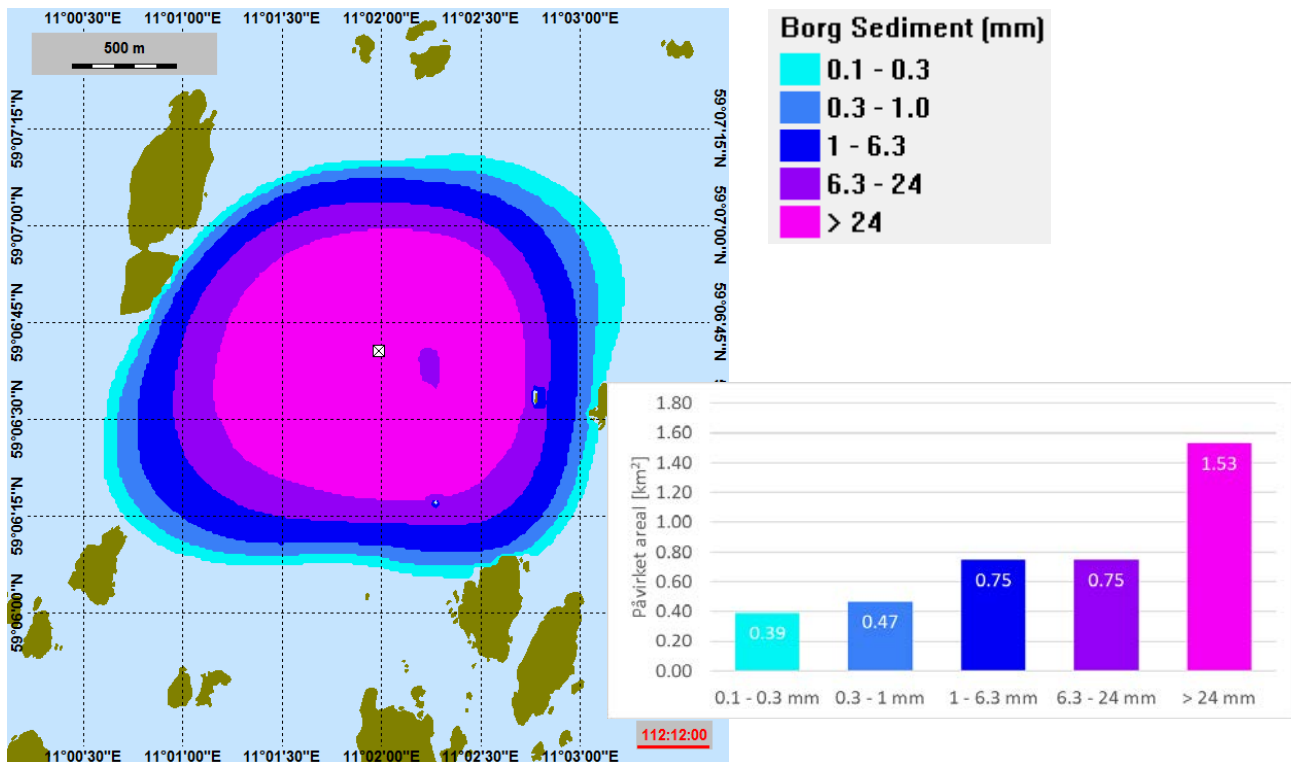
6.9.4 Modellresultat Svaleskjær

Sediment-tykkelsen og spredning av finpartikulært materiale som er forbundet med deponeringen ved Svaleskjær etter mudring av ikke-forurenset materiale med stor sugemudrer i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen), er vist i Figur 6.95. Sediment-tykkelsen er gitt ved slutten av modellperioden for 80 % konfidensintervall. Det berørte området for hvert intervall er vist i diagrammet. Dette diagrammet viser at et maksimumsareal på 3,88 km² rundt utslippsområdet er påvirket.

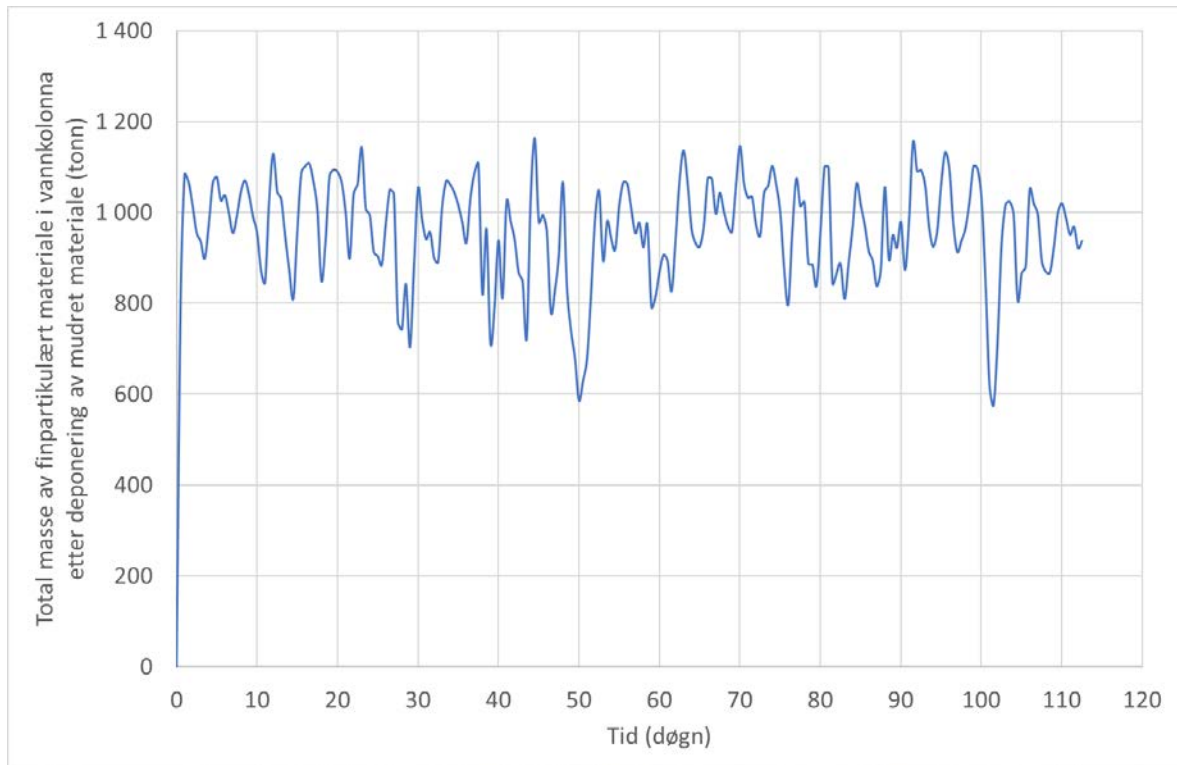
Tidsutviklingen av suspendert materiale i vannsøylen i simuleringsperioden er gitt i Figur 6.96. Maksimal masse av suspendert materiale er 1 163 tonn og er 44 døgn og 12 timer inn i simuleringsperioden.

Spredningen i vannsøylen er vist i Figur 6.97. Denne figuren viser at spredningen av finpartikulært materiale kun skjer i nedre vannkolonne (under ca. 15 m vanddyb).

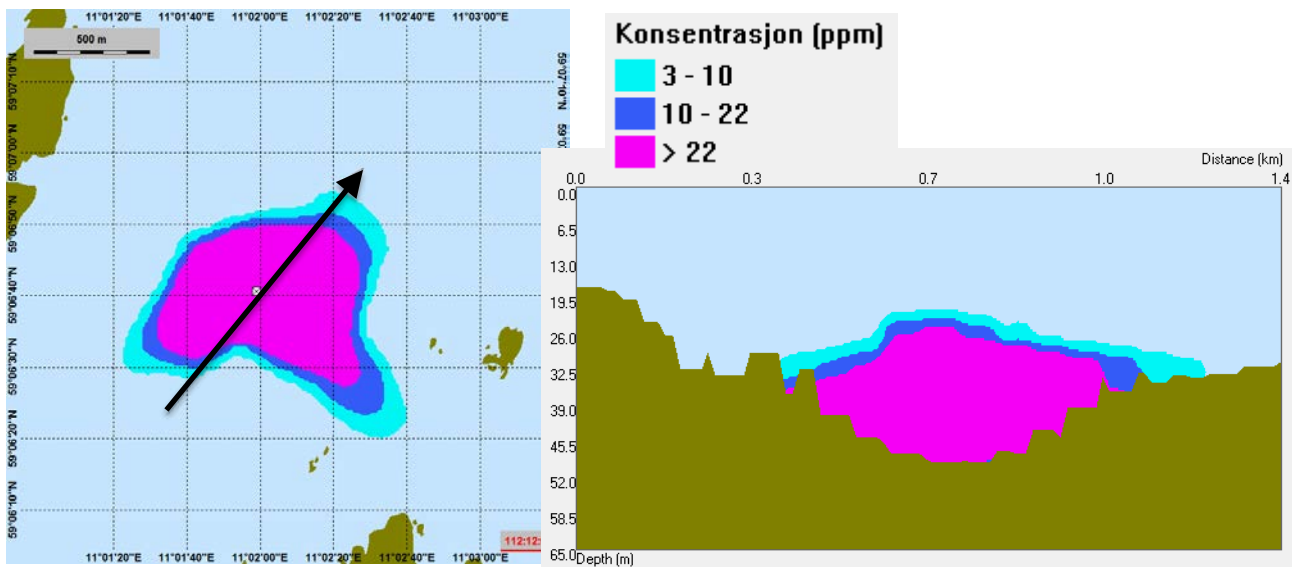
Figur 6.98, Figur 6.99 og Figur 6.100 viser det samme som de tre foregående figurene, men for 95 % konfidensintervall. Figur 6.99 viser at maksimal masse av suspendert materiale er 1 163 tonn og er 44 døgn og 12 timer inn i simuleringsperioden.



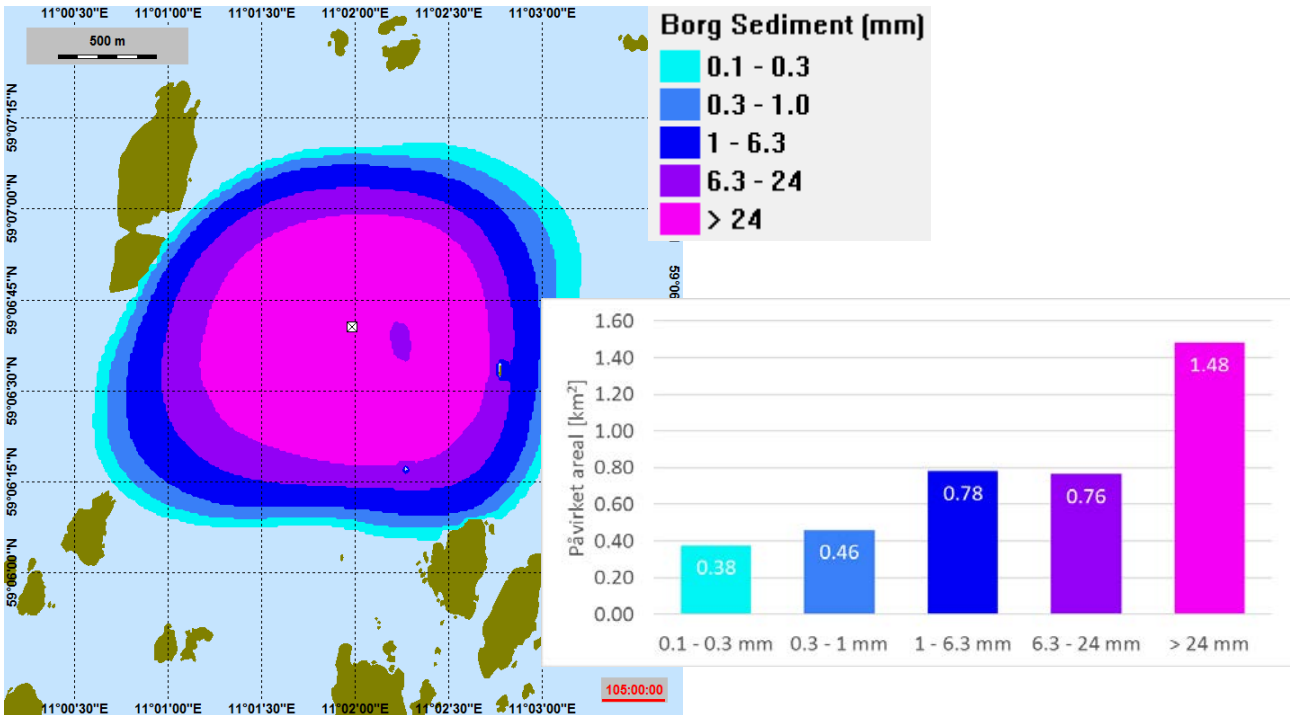
Figur 6.95 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær etter mudring med stor sugemudrer i Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensete masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 80 % konfidensintervall.



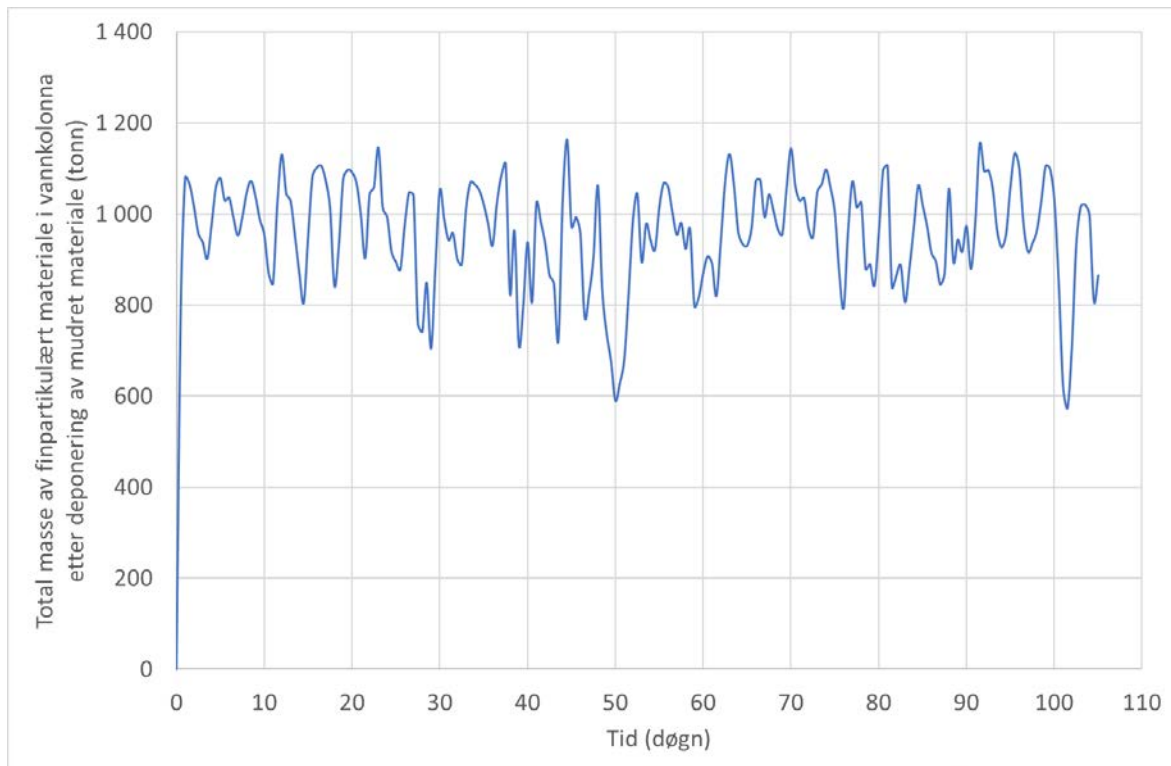
Figur 6.96 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



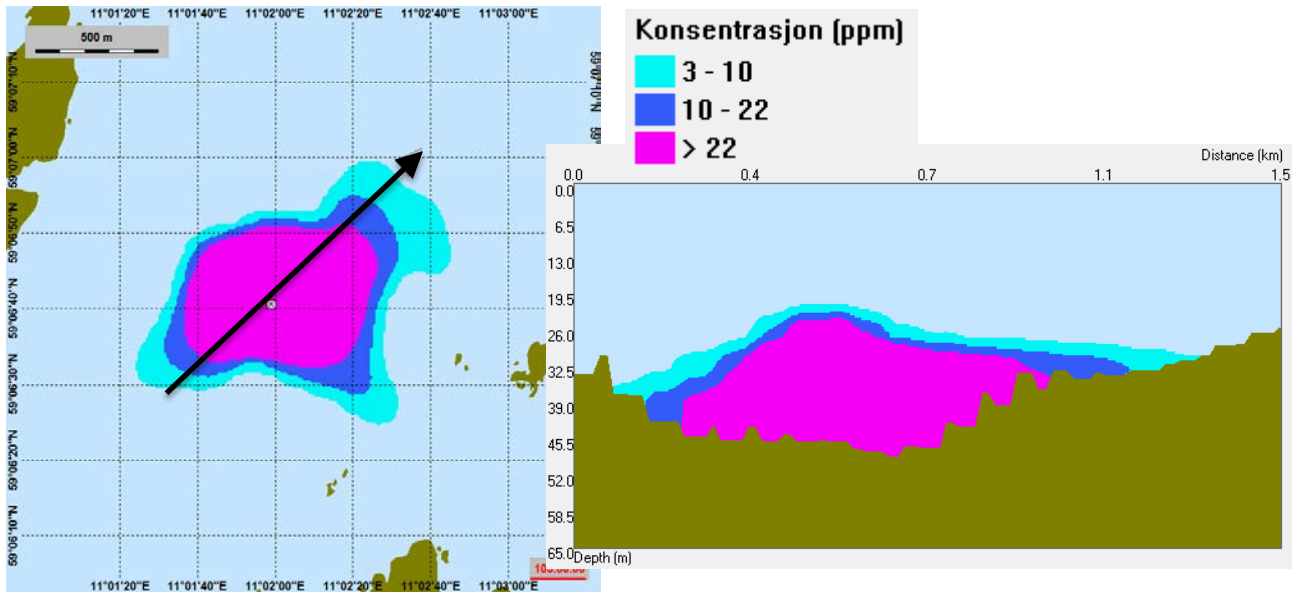
Figur 6.97 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.



Figur 6.98 Sediment-tykkelse ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær etter mudring med stor sugemudrer ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen). Deponering av ikke-forurensede masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Deponeringslokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet. 95 % konfidensintervall.



Figur 6.99 Tidsutvikling av suspendert materiale i vannkolonnen gjennom hele modelleringsperioden.



Figur 6.100 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen ved slutten av deponeringen ved Svaleskjær. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkanten angir deponeringslokasjonen.

6.10 Avsluttende bemerkning

Som tidligere nevnt er alle de ovennevnte verdiene til turbiditetskildene valgt som forutsatte/antatte verdier basert på empiriske data fra feltmålinger. De er registrert under forhold som er sammenlignbare med de som opptrer i innseilingen til Borg havn eller som med rimelighet kan benyttes til simuleringen for dette området. Selv om det er fornuftige valg, er det viktig å være oppmerksom på at dette er antakelser av verdier i et område med stor variasjon. Det er understreket at den faktiske turbiditeten må overvåkes av et sanntidssystem under hele mudrings- og deponeringsarbeidet for å imøtekomme de miljømessige hensynene til området.

Siden strømdatasettet kun dekker en periode på drøyt 6 måneder, har alle de ulike mudrings- og deponeringsscenariene blitt modellert separat. Dette betyr at det samme strømdatasettet har blitt brukt for alle simuleringene. Det understrekes at den faktiske totale tidsperioden for mudringen av innseilingen til Borg havn vil avhenge av metoder og tidsplan som utarbeides av den valgte operatøren.

Forventede effekter er bestemt med et akseptabelt nøyaktighetsnivå. En indikasjon på innvirkningen på sårbare områder er gitt. Det er lagt vekt på at en god og miljørettet ledelse av mudringsarbeidene krever et grundig operativt overvåkingsprogram under utførelsen av arbeidene.

7 Referanser

- Anchor Environmental C.A.L.P. 2003. Literature Review of Effects of Resuspended Sediments due to Dredging Operations. June 2003. pp. 1 – 49.
- Becker J, van Eekelen E, van Wiechen J, de Lange W, Damsma T, Smolders T and van Koningsveld M. 2015. Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *Journal of Environmental Management*, Volume 149, pp 282-293, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.022>
- Blokland, T. 1988. Determination of dredging-induced turbidity; *Terra et Aqua*, No. 38.
- Brørs B and Rye H. 2007. Mudring og deponering av løsmasser på sjøbunnen ved Fredrikstad. Numerisk modellering av strøm og sedimenttransport. *SINTEF-rapport STF80MK F07235*.
- Collins MA. 1995. Dredging-induced near-field Resuspended Sediment Concentrations and source strengths. MP D-95-2. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Daae RL, Rye H, Ellingsen I and Broch OJ. 2012. Deponering av løsmasser på fra mudring av Røsvikrenna. *SINTEF-rapport F22633*.
- Daae RL and Skancke J. 2015. Modelling of sedimentation and spreading after dredging and discharging operations at Borg 1 and 2. *SINTEF report F26851*.
- Daae RL and Skancke J. 2016. Modelling of spreading of fine particles during dredging operations at Borg 1 and 2. Model re-runs. *SINTEF report F27669*.
- DHI. 2015: Malmporten Luleå. Beräkning av spridning av spill vid muddring och dumping. Rapport. <http://www.sjofartsverket.se/pages/109697/Bilaga2e.pdf>
- Eekelen E. 2007. Experimental research on dynamic dredge overflow plumes. MSc-thesis, Delft University of Technology
- Ertfemeijer PLA, Riegl B, Hoeksema BW, Todd PA. 2012. Environmental impact of dredging and other sediment disturbances on coral. *Marine Pollution Bulletin* 64: pp 1737 – 1765
- Environmental Protection Authority of Australia. 2001. Best practice environmental management; Guidelines for Dredging; publication 691; ISBN 0 7306 7578 5
- Faafeng B, Berge JA, Helland A, Holtan H, Holtan G, Kjellberg G, Källqvist T, Moy F, Skulberg O, Sørensen K, Walday M. 1996. Flommen på Østlandet våren 1995. Sammenstilling av NIVAs undersøkelser med spesiell vekt på måleprogrammet i Glomma og Vormå. Research report. <http://hdl.handle.net/11250/208892>
- Gordon RB. 1974. Dispersion of dredge spoil dumped in nearshore waters. *Est. Coast. Mar. Sci.*, 2 (1974), pp. 349-358
- Johansen Ø., 2003: Development and Verification of Deep-water Blowout Models. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 47, pp. 360-368.

- Michelsen FA, Alver MO. 2015. Current modelling for the Røsvikrenna outlet area. *SINTEF report nr F26768*
- Nakai, 1978. Turbidity Generated by Dredging Projects, Management of Bottom Sediments containing Toxic Substances. Proceedings of the Third U.S. – Japan Experts Meetings. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, EPA-600/3-78-084, pp. 1 – 47.
- Pennekamp JGS, Quaak MP. 1990. Impact on the environment of turbidity caused by Dredging; *Terra et Aqua* no. 42
- Pennekamp JGS, Blokland T, Vermeer EA. 1991. Turbidity caused by dredging compared to turbidity by navigation. Paper B2, Proc. CEDA-PIANC Conference, Amsterdam, The Netherlands.
- Pennekamp JGS, Epskamp RJC, Rosenbrand WF, Mullie A, Wessel GL, Arts T and Deibel IK. 1996. Turbidity caused by dredging: viewed in perspective. *Terra et Aqua*, 64 pp. 10-17.
- Reed M, Hetland B. 2002. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model. Technical description of physical-chemical fates components. SPE paper No. 73856. In: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production; 20-22 March 2002; Kuala Lumpur, Malaysia. Society of Petroleum Engineers, Mail: P.O. Box 833836 Richardson, TX 75083-3836, USA
- Rijn, van L.C. 2018. Notes on Turbidity: Turbidity due to Dredging and Dumping of Sediments; <http://www.leovanrijn-sediment.com>
- Rye H, Reed M, Ekrol N. 1998. The *ParTrack* model for calculation of the spreading and discharge of drilling mud, chemicals and drill cuttings. *Environmental Modelling and Software*. 13:431-443.
- Rye H, Reed M, Frost TK, Smit MGD, Durgut I, Johansen Ø, and Ditlevsen MK. 2008. Development of a numerical model for calculating exposure to toxic and nontoxic stressors in the water column and sediment from drilling discharges. *Integrated Environmental Assessment and Management* Vol. 4 No. 2, pp 194 – 203. SETAC journal 2008.
- Rye H, Reed M, Durgut I and Ditlevsen MK, 2006: “The use of the diagenetic equations to predict impact on sediment due to discharges of drill cuttings and mud”. Paper presented at the 9th Int. Marine Environmental Modelling Seminar, Rio de Janeiro Brazil, October 9 -11, 2006.
- Schroeder PR. 2009. USACE Technical Guidelines for Predicting the 3Rs of Environmental Dredging. U.S. Army Corps of Engineers Guidelines: pp. 311 – 330.
- Singsaas, I, Rye, H, Frost, TK, Smit, MGD, Garpestad, E, Skare, I, Bakke, K, Veiga, LF, Buffagni, M, Follum, OA, Johnsen, S, Moltu, UE, Reed, M. 2008: “Development of a risk-based environmental management tool for drilling discharges. Summary of a Four-Year project”. The SETAC journal *Integrated Environmental Assessment and Management* 4:171-176
- Smit MGD, Jak RG, Rye H, Frost TK, Singaas I, Karman CC. 2008: “Assessment of environmental risks from toxic and nontoxic stressors; a proposed concept for a risk-based management tool for offshore drilling discharges”. The SETAC journal *Integrated Environmental Assessment and Management* 4:177-183

Truitt CL. 1988. Dredged material behaviour during open water disposal, *Journal of Coastal Research*, 4 (1988), pp. 389-397

U.S. Army Corps of Engineers, 2015. Engineering and Design. Dredging and Dredged Material Management. Engineer Manual.

Wit de L. 2015. 3D CFD modelling, lab experiments and field measurements of overflow dredging plumes. Doctorate thesis, Delft University of Technology

A Mudringsvolum og inngangsdata til modelleringen

| Dredge volumes Borg 1 and Borg2, 80% confidence | | Borg 1 | conversion factor | Borg 1 volumes | Borg 2 | conversion factor | Borg 2 volumes | Borg 1+ Borg2 volumes | |
|---|-----|------------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| total net volume | | 2.095.897 | 4,6890% | 2.194.174 | | 513.677 | 0% | 513.677 | 2.707.851 m3 |
| contaminated | | 547.409 | 4,6890% | 573.076 | | 39.057 | 0% | 39.057 | 612.133 m3 |
| non-contaminated | | 1.548.489 | 4,6890% | 1.621.097 | | 474.621 | 0% | 474.621 | 2.095.718 m3 |
| Area A contaminated toplayer in turning basin to be dredged by long reach crane | | | | | | | | | |
| footprint area toplayer in turning basin | | 17.875 | | | | | | | m2 |
| dredging factor | 10% | 1.788 | | | | | | | m3 |
| total footprint area | | 19.663 | | | | | | | m2 |
| layer thickness including overdredging) | | 0,30 | | | | | | | m |
| volume dredged contaminated material in turning basin | | 5899 | 4,6890% | 6.175 | | - | 0% | - | 6.175 m3 |
| nett volume contaminated material | | 1141 | | | | | | | |
| overdredge volume | | 5035 | | | | | | | |
| Area B and remainder area A contaminated material to be dredged by backhoe crane | | | | | | | | | |
| net volume contaminated material | | 102.812 | | | | | | | m3 |
| dredging factor | 10% | 10.281 | | | | | | | m3 |
| gross volume | | | 113.093 | 4,6890% | 118.396 | | | | 118.396 m3 |
| maximum footprint area | | 113.090 | | | | | | | m2 |
| dredging factor | 10% | 11.309 | | | | | | | m2 |
| total footprint | | 124.399 | | | | | | | m2 |
| Overdredging | | 0,25 | | | | | | | m |
| overdredge volume | | | 31.100 | | 31.100 | | | | 31.100 m3 |
| total contaminated volume area B | | | 144.193 | | 149.496 | | | | 149.496 m3 |
| Area C and Borg 2 contaminated material to be dredged by backhoe crane | | | | | | | | | |
| net volume | | 175.178 | | | | | | | m3 |
| dredging factor | 10% | 17.518 | | | | | | | m3 |
| gross volume | | | 192.696 | 4,6890% | 201.731 | | | | 201.731 m3 |
| maximum footprint | | 73.105 | | | | | | | m2 |
| dredging factor | 10% | 7.311 | | | | | | | m2 |
| total footprint | | 80.416 | | | | | | | m2 |
| Overdredging | | 0,25 | | | | | | | m |
| overdredge volume | | | 20.104 | | 20.104 | | | | 20.104 m3 |
| total contaminated volume including overdredging area C | | | 212.800 | | 221.835 | | | | 221.835 m3 |

| 80% confidence level continued | | | | | | | | | | |
|--|-----|---------------|--------------------------|---------|------------------|-----------------------|---------------|----|----------------|---------------------|
| Area D contaminated material to be dredged by backhoe crane + Flyndregrunnen | | | | | Flyndregrunnen | | | | | |
| net volume contaminated material | | 268.278 | | | 39.057 | | | | | m3 |
| dredging factor | 10% | 26.828 | | | 3.906 | | | | | m3 |
| gross volume | | | 295.106 | 4,6890% | 308.943 | | 42.963 | 0% | 42.963 | 351.906 m3 |
| maximum footprint | | 44.390 | | | 2.961 | | | | | m2 |
| dredging factor | 10% | 4.439 | | | 296 | | | | | |
| total footprint | | 48.829 | | | 3.257 | | | | | m2 |
| Overdredging | | 0,25 | | | 0,25 | | | | | m |
| overdredge volume | | | 12.207 | | 12.207 | | 814 | 0% | 814 | 13.022 m3 |
| total contaminated volume including overdredging area D | | | 307.313 | | 321.151 | | 43.777 | | 43.777 | 364.927 m3 |
| contaminated long reach | | 6.175 | | | | | | | | m3 |
| contaminated backhoe | | 736.258 | (Borg 1 + Borg 2) | | | | | | | m3 |
| total contaminated material | | | | | | | | | 742.434 | m3 |
| nett volume contaminated material | | | | | | | | | 612.133 | m3 |
| overdredge volume and dredge factor | | 21,29% | | | | | | | 130.300 | m3 |
| non-contaminated less than 4,5 m to be dredged by wire crane for access by small TSHD in Borg 1 and less than 7 m in Borg 2 | | | | | | | | | | |
| nett volume non-contaminated less than 4,5 m , no overdredging | | 106.157 | | | 120.663 | | | | | 226.820 m3 |
| dredging factor | 10% | 10.616 | | | 12.066 | | | | | 22.682 m3 |
| gross volume | | | 116.773 | | | | 132.729 | | | 249.502 m3 |
| non-contaminated between 4,5 m and 7,1 m to be dredged by small TSHD | | | | | | | | | | |
| nett volume non-contaminated less than 4,5 m , no overdredging | | 239.953 | | | | | | | | m3 |
| dredging factor | 10% | 23.995 | | | | | | | | m3 |
| gross volume | | | 263.948 | | | | | | 263.948 | m3 |
| non-contaminated hopper dredger | | | | | | | | | | |
| nett hopper volume | | | 1.202.379 | | | Flyndregrunnen | 125.573 | | | m3 |
| surface area | | 740.000 | | | | 21.881 | | | | m2 |
| overdepth hopper | | 0,5 | 370.000 | 4,6890% | 1.646.107 | 0,5 | | | | m |
| | | | | | | | 10.941 | 0% | 136.514 | m3 |
| | | | | | | Belgebaen | 221.833 | | | |
| | | | | | | 54.779 | | | | |
| | | | | | | 0,5 | | | | |
| overdepth volume hopper | | | | | | | 27.390 | 0% | 249.223 | m3 |
| hopper volume including overdepth | | | | | | | | | 385.736 | 2.031.843 m3 |

| Dredge volumes Borg 1 and Borg2, 95% confidence | | | | Borg 1 | conversion factor | Borg 1 volumes | Borg 2 | conversion factor | Borg 2 volumes | Borg 1+ Borg2 volumes | |
|---|--|-----|--|------------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|----|
| total net volume | | | | 2.095.897 | 4,6890% | 2.194.174 | 513.677 | 0% | 513.677 | 2.707.851 | m3 |
| contaminated | | | | 723.122 | 4,6890% | 757.029 | 42.066 | 0% | 42.066 | 799.096 | m3 |
| non-contaminated | | | | 1.372.775 | 4,6890% | 1.437.144 | 471.611 | 0% | 471.611 | 1.908.755 | m3 |
| Area A contaminated toplayer in turning basin to be dredged by long reach crane | | | | | | | | | | | |
| footprint area toplayer in turning basin | | | | 17.875 | | | | | | | m2 |
| dredging factor | | 10% | | 1.788 | | | | | | | m2 |
| total footprint area | | | | 19.663 | | | | | | | m2 |
| layer thickness including overdredging) | | | | 0,30 | | | | | | | m |
| volume dredged contaminated material in turning basin | | | | 5899 | 4,6890% | 6.175 | - | 0% | - | 6.175 | m3 |
| nett volume contaminated material | | | | 1762 | | | | | | | |
| overdredge volume | | | | 4413 | | | | | | | |
| Area B and remainder area A contaminated material to be dredged by backhoe crane | | | | | | | | | | | |
| net volume contaminated material | | | | 134.325 | | | | | | | m3 |
| dredging factor | | 10% | | 13.432 | | | | | | | m3 |
| gross volume | | | | | 147.757 | 4,6890% | 154.685 | | | 154.685 | m3 |
| maximum footprint area | | | | 122.340 | | | | | | | m2 |
| dredging factor | | 10% | | 12.234 | | | | | | | m2 |
| total footprint | | | | 134.574 | | | | | | | m2 |
| Overdredging | | | | 0,25 | | | | | | | m |
| overdredge volume | | | | | 33.644 | | 33.644 | | | 33.644 | m3 |
| total contaminated volume area B | | | | | 181.400 | | 188.329 | | | 188.329 | m3 |
| Area C and Borg 2 contaminated material to be dredged by backhoe crane | | | | | | | | | | | |
| net volume | | | | 261.943 | | | | | | | m3 |
| dredging factor | | 10% | | 26.194 | | | | | | | m3 |
| gross volume | | | | | 288.137 | 4,6890% | 301.648 | | | 301.648 | m3 |
| maximum footprint | | | | 106.340 | | | | | | | m2 |
| dredging factor | | 10% | | 10.634 | | | | | | | m2 |
| total footprint | | | | 116.974 | | | | | | | m2 |
| Overdredging | | | | 0,25 | | | | | | | m |
| overdredge volume | | | | | 29.244 | | 29.244 | | | 29.244 | m3 |
| total contaminated volume including overdredging area C | | | | | 317.381 | | 330.892 | | | 330.892 | m3 |

| 95% confidence level continued | | | | | | | | | | |
|--|-----|--|---------------|--------------------------|---------|--------------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| Area D contaminated material to be dredged by backhoe crane + Flyndregrunnen | | | | | | Flyndregrunnen | | | | |
| net volume contaminated material | | | 325.093 | | | 42.066 | | | | m3 |
| dredging factor | 10% | | 32.509 | | | 4.207 | | | | m3 |
| gross volume | | | | 357.602 | 4,6890% | 374.370 | | 46.273 | 0% | 46.273 |
| maximum footprint | | | 61.215 | | | 3.113 | | | | m2 |
| dredging factor | 10% | | 6.122 | | | 311 | | | | m2 |
| total footprint | | | 67.337 | | | 3.424 | | | | m2 |
| Overdredging | | | 0,25 | | | 0,25 | | | | m |
| overdredge volume | | | | 16.834 | | 16.834 | | 856 | 0% | 856 |
| total contaminated volume including overdredging area D | | | | 374.436 | | 391.204 | | 47.129 | | 47.129 |
| | | | | | | | | | | 438.333 |
| contaminated long reach | | | 6.175 | | | | | | | m3 |
| contaminated backhoe | | | 957.553 | (Borg 1 + Borg 2) | | | | | | m3 |
| total contaminated material | | | | | | | | | | 963.729 |
| nett volume contaminated material | | | | | | | | | | 799.096 |
| overdredge volume and dredge factor | | | 20,60% | | | | | | | 164.633 |
| non-contaminated less than 4,5 m to be dredged by wire crane for access by small TSHD in Borg 1 and less than 7 m in Borg 2 | | | | | | | | | | |
| nett volume non-contaminated less than 4,5 m , no overdredging | | | 90.629 | | | 120.663 | | | | 211.292 |
| dredging factor | 10% | | 9.063 | | | 12.066 | | | | 21.129 |
| gross volume | | | | 99.692 | | | | 132.729 | | 232.421 |
| non-contaminated between 4,5 m and 7,1 m to be dredged by small TSHD | | | | | | | | | | |
| nett volume non-contaminated less than 4,5 m , no overdredging | | | 198.933 | | | | | | | m3 |
| dredging factor | 10% | | 19.893 | | | | | | | |
| gross volume | | | | 218.826 | | | | | | 218.826 |
| non-contaminated hopper dredger | | | | | | | | | | |
| nett hopper volume | | | | 1.083.213 | | Flyndregrun | 122.221 | | | m3 |
| surface area | | | 740.000 | | | 21.881 | | | | m2 |
| overdepth hopper | | | 0,5 | 370.000 | 4,6890% | 1.521.354 | 0,5 | | | m |
| | | | | | | | 10.941 | 0% | 133.161 | m3 |
| | | | | | | | Belgebaen | 221.833 | | |
| | | | | | | | 54.779 | | | |
| | | | | | | | 0,5 | | | |
| overdepth volume hopper | | | | | | | 27.390 | 0% | 249.223 | m3 |
| hopper volume including overdepth | | | | | | | | | 382.384 | 1.903.738 |

| Borg 1, dredging parameters 7 days/wk - 24 hrs /day, long reach crane contaminated material, 80% confidence | | | | |
|--|-------|---------|-----|-----------------|
| solids barge production rate | 16 | t/hr | | |
| efficiency | 80% | | | |
| average solids barge production rate | | | 13 | t/hr |
| release rate dredging (% of backhoe production rate, Deltares) | | 5% | 0,6 | ton/hr |
| hours per day release | | | 24 | continuous |
| release level, average | | | 13 | m, water column |
| release angle from backhoe, up down or side ways | | | | horizontal |
| barge loading: | | | | no overflow |
| contaminated insitu volume | 6.175 | situ m3 | | |
| insitu density | 1,5 | t/m3 | | |
| water density | 1,025 | t/m3 | | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | | |
| solid content in situ | 29% | | | |
| solid volume | 4.784 | tons | 239 | (released tons) |
| hours | | | 377 | hr |
| number of hours per week | 156,0 | hr/wk | | |
| weeks (effective) | | | 2,4 | wk |

| Borg 1, dredging parameters 7 days/wk - 24 hrs /day, long reach crane contaminated material, 95% confidence | | | | |
|--|-------|---------|-----|-----------------|
| solids barge production rate | 16 | t/hr | | |
| efficiency | 80% | | | |
| average solids barge production rate | | | 13 | t/hr |
| release rate dredging (% of backhoe production rate, Deltares) | | 5% | 0,6 | ton/hr |
| hours per day release | | | 24 | continuous |
| release level, average | | | 13 | m, water column |
| release angle from backhoe, up down or side ways | | | | horizontal |
| barge loading: | | | | no overflow |
| contaminated insitu volume | 6.175 | situ m3 | | |
| insitu density | 1,5 | t/m3 | | |
| water density | 1,025 | t/m3 | | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | | |
| solid content in situ | 29% | | | |
| solid volume | 4.784 | tons | 239 | (released tons) |
| hours | | | 377 | hr |
| number of hours per week | 156,0 | hr/wk | | |
| weeks (effective) | | | 2,4 | wk |

| Borg 1 and Borg 2 (Flyndregrunnen), dredging parameters 7 d/wk - 24 hrs /day, backhoe dredging contaminated material release per dredging unit, 80% confidence, one backhoe dredger | | | |
|---|---------|-------------|------------------------|
| solids barge production rate | 127 | t/hr | |
| efficiency | 80% | | |
| average solids barge production rate | | 101 | t/hr |
| release rate dredging (% of backhoe production rate, Deltares) | 5% | 5 | ton/hr |
| hours per day release | | 24 | continuous |
| release level, average | | 13 | m, water column |
| release angle from backhoe, up down or side ways | | horizontal | |
| barge loading: | | no overflow | |
| contaminated insitu volume including overdepth | 736.258 | situ | m3 |
| insitu density | 1,5 | t/m3 | |
| water density | 1,025 | t/m3 | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | |
| solid content in situ | 29% | | |
| solid volume | 570.317 | tons | 28.516 (released tons) |
| hours | | 5.624 | hr |
| number of crane pontoons | 1 | | |
| number of hours per week | 156,0 | hr/wk | |
| weeks | | 36,1 | wk |

| Borg 1 and Borg 2 (Flyndregrunnen), dredging parameters 7 d/wk - 24 hrs /day, backhoe dredging contaminated material release per dredging unit, 80% confidence, two backhoe dredgers | | | |
|--|---------|-------------|------------------------|
| solids barge production rate | 127 | t/hr | |
| efficiency | 80% | | |
| average solids production rate | | 101 | t/hr |
| release rate dredging (% of backhoe production rate, Deltares) | 5% | 5 | ton/hr |
| hours per day release | | 24 | continuous |
| release level, average | | 13 | m, water column |
| release angle from backhoe, up down or side ways | | horizontal | |
| barge loading: | | no overflow | |
| insitu volume | 736.258 | m3 | |
| insitu density | 1,5 | t/m3 | |
| water density | 1,025 | t/m3 | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | |
| solid content in situ | 29% | | |
| solid volume | 570.317 | tons | 28.516 (released tons) |
| hours | | 5.624 | hr |
| number of crane pontoons | 2 | | |
| number of hours per week | 156 | hr/wk | |
| weeks | | 18,0 | wk |

| Borg 1 and Borg 2 (Flyndregrunnen), dredging parameters 7 d/wk - 24 hrs /day, backhoe dredging contaminated material release per dredging unit, 95% confidence, one backhoe dredger | | | |
|---|---------|-------------|------------------------|
| solids barge production rate | 127 | t/hr | |
| efficiency | 80% | | |
| average solids barge production rate | | 101 | t/hr |
| release rate dredging (% of backhoe production rate, Deltares) | 5% | 5 | ton/hr |
| hours per day release | | 24 | continuous |
| release level, average | | 13 | m, water column |
| release angle from backhoe, up down or side ways | | horizontal | |
| barge loading: | | no overflow | |
| contaminated insitu volume including overdepth | 957.553 | situ | m3 |
| insitu density | 1,5 | t/m3 | |
| water density | 1,025 | t/m3 | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | |
| solid content in situ | 29% | | |
| solid volume | 741.735 | tons | 37.087 (released tons) |
| hours | | 7.315 | hr |
| number of crane pontoons | 1 | | |
| number of hours per week | 156,0 | hr/wk | |
| weeks | | 46,9 | wk |

| Borg 1 and Borg 2 (Flyndregrunnen), dredging parameters 7 d/wk - 24 hrs /day, backhoe dredging contaminated material release per dredging unit, 95% confidence, two backhoe dredgers | | | |
|--|---------|-------------|------------------------|
| solids barge production rate | 127 | t/hr | |
| efficiency | 80% | | |
| average solids production rate | | 101 | t/hr |
| release rate dredging (% of backhoe production rate, Deltares) | 5% | 5 | ton/hr |
| hours per day release | | 24 | continuous |
| release level, average | | 13 | m, water column |
| release angle from backhoe, up down or side ways | | horizontal | |
| barge loading: | | no overflow | |
| insitu volume | 957.553 | m3 | |
| insitu density | 1,5 | t/m3 | |
| water density | 1,025 | t/m3 | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | |
| solid content in situ | 29% | | |
| solid volume | 741.735 | tons | 37.087 (released tons) |
| hours | | 7.315 | hr |
| number of crane pontoons | 2 | | |
| number of hours per week | 156 | hr/wk | |
| weeks | | 23,4 | wk |

| release of fines when dredging clean material with wire grab crane upto -4,5 m (Borg1) and -7 m (Borg 2), 80% confidence | | | | |
|--|---------|---------|-----------------|-----------------|
| solids barge production rate | 262 | t/hr | | |
| efficiency | 80% | | | |
| average solids barge production rate | | 210 | t/hr | |
| release rate dredging (% of wire crane production rate, Deltares) | | 5% | 10 | ton/hr |
| hours per day release | | 15,40 | intermittant | |
| release level, average | | 5 | m, water column | |
| release angle , up down or side ways | | | horizontal | |
| barge loading: | | | no overflow | |
| non-contaminated insitu volume | 249.502 | situ m3 | | |
| insitu density | 1,85 | t/m3 | | |
| water density | 1,025 | t/m3 | | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | | |
| solid content in situ material | 51% | | | |
| solid tons | 335.676 | tons | 16.784 | (released tons) |
| number of working hrs per week | | 156 | hrs/wk | |
| percentage dredging time | | 69% | | |
| nett hours dredging per week | | 108 | hrs/wkl | |
| total nett hours dredging | | 1.599 | hours | |
| weeks | | 14,8 | weeks | |

| release of fines when discharging through diffusor with with grab crane, 80% confidence | | | | |
|---|----------------|--------|------------|-----------------|
| hopper volume | 1.000 | m3 | | |
| density of released material | 1,775 | ton/m3 | | |
| water content released material | 54% | | | |
| discharge time | 54 | min | | |
| discharge rate solids | 1.667 | t/hr | | |
| Release rate solids from diffusor discharge | | 5% | 83,34 | ton/hr |
| number of cycles per week | | | 18,49 | (-) |
| number of release per day | | | 2,6 | (-) |
| time between releases | | | 8,2 | hrs |
| discharge solids per load | 1.223 | ton | | |
| released solid per load | | | 61 | ton/hr |
| released discharge solids per day | | | 162 | ton/day |
| number of weeks | 14,8 | wks | | |
| total released | | | 16.784 | ton |
| average offshore deposit depth | | | 50 | m, water column |
| release angle from barge discharge | | | horizontal | |
| box shaped discharge opening (l x b) | not applicable | | | |

| discharging through diffusor with wire grab crane, 80% confidence | | |
|--|----------|-------|
| Nr of release directions (horizontal) | (-) | 8,00 |
| output mixture flow | m3/s | 1,03 |
| output solids flow | m3/s | 0,17 |
| circular shaped diffusor opening between two parallel plates, diameter width (m) | m | 2,00 |
| diffuser window height | m | 0,40 |
| circular area of diffusor discharge | m2 | 2,51 |
| mixture release velocity | m/s | 1,03 |
| mixture release rate | m3/hr | 3.717 |
| mixture release rate per diffusor opening | m3/hr | 465 |
| mixture release rate per diffusor opening | m3/s | 0,13 |
| density of released material | kg/m3 | 1.300 |
| water content [%] | % | 83% |
| discharge rate solids | tons/hr | 1.667 |
| percentage of time release of dredged material | % | 8,7 |
| number of hours release per day | hr | 2,09 |
| disperse in the water column (Deltares) | % | 5% |
| solid release rate (5% assumed dispersable) | tons/hr | 83 |
| tonnes free to disperse per day | tons/day | 174 |
| discharge time per load | hr | 0,73 |
| time between releases | hr | 5,83 |
| depth of diffusor discharge | m | 25 |

| effective solid release duration | | |
|----------------------------------|------|--------|
| solid content | % | 51% |
| solid release volume | tons | 16.784 |
| effective release duration | days | 96 |

| release of fines when dredging clean material with wire grab crane upto -4,5 m (Borg1) and -7 m (Borg 2), 95% confidence | | | | |
|--|---------|---------|-------------|-----------------|
| solids barge production rate | 262 | t/hr | | |
| efficiency | 80% | | | |
| average solids barge production rate | | | 210 | t/hr |
| release rate dredging (% of wire crane production rate, Deltares) | | | 5% | 10 ton/hr |
| hours per day release | | | 15,40 | intermittant |
| release level, average | | | 5 | m, water column |
| release angle , up down or side ways | | | horizontal | |
| barge loading: | | | no overflow | |
| non-contaminated insitu volume | 232.421 | situ m3 | | |
| insitu density | 1,85 | t/m3 | | |
| water density | 1,025 | t/m3 | | |
| solids density | 2,65 | t/m3 | | |
| solid content in situ material | 51% | | | |
| solid tons | 312.696 | tons | 15.635 | (released tons) |
| number of working hrs per week | | 156 | | hrs/wk |
| percentage dredging time | | 69% | | |
| nett hours dredging per week | | 108 | | hrs/wkl |
| total nett hours dredging | | | 1.490 | hours |
| weeks | | | 13,8 | weeks |

| discharging through diffuser with wire grab crane, 95% confidence | | |
|--|----------|-------|
| Nr of release directions (horizontal) | (-) | 8,00 |
| output mixture flow | m3/s | 1,03 |
| output solids flow | m3/s | 0,17 |
| circular shaped diffuser opening between two parallel plates, diameter width (m) | m | 2,00 |
| diffuser window height | m | 0,40 |
| circular area of diffuser discharge | m2 | 2,51 |
| mixture release velocity | m/s | 1,03 |
| mixture release rate | m3/hr | 3.717 |
| | | |
| mixture release rate per diffuser opening | m3/hr | 465 |
| mixture release rate per diffuser opening | m3/s | 0,13 |
| density of released material | kg/m3 | 1.300 |
| water content [%] | % | 83% |
| discharge rate solids | tons/hr | 1.667 |
| percentage of time release of dredged material | % | 8,7 |
| number of hours release per day | hr | 2,09 |
| | | |
| disperse in the water column (Deltares) | % | 5% |
| solid release rate (5% assumed dispersable) | tons/hr | 83 |
| tonnes free to disperse per day | tons/day | 174 |
| discharge time per load | hr | 0,73 |
| time between releases | hr | 5,83 |
| depth of diffuser discharge | m | 25 |

| release of fines when discharging through diffuser with with grab crane, 95% confidence | | | | |
|---|----------------------------|--------|------------|-----------------|
| hopper volume | 1.000 | m3 | | |
| density of released material | 1,775 | ton/m3 | | |
| water content released material | 54% | | | |
| discharge time | 54 | min | | |
| discharge rate solids | 1.667 | t/hr | | |
| Release rate solids from diffuser discharge | | | 5% | 83,34 ton/hr |
| number of cycles per week | | | 18,49 | (-) |
| number of release per day | | | 2,6 | (-) |
| time between releases | | | 8,2 | hrs |
| discharge solids per load | 1.223 | ton | | |
| released solid per load | | | 61 | ton/hr |
| released discharge solids per day | | | 162 | ton/day |
| number of weeks | 13,8 | wks | | |
| total released | | | 15.635 | ton |
| average offshore deposit depth | | | 50 | m, water column |
| release angle from barge discharge | | | horizontal | |
| box shaped discharge opening (l x b) | RAPPORT NO. not applicable | | VERS. ON | |

| effective solid release duration | | |
|----------------------------------|------|--------|
| solid content | % | 51% |
| solid release volume | tons | 15.635 |
| effective release duration | days | 90 |

| 1.400 m3 trailing suction hopper dredging, non-contaminated material between 4,5 and 7 m, Borg 1, 80% confidence | | | | | |
|--|------------|-------------|--|----------|--------|
| dredging | | | discharging through diffuser | | |
| situ density | kg/m3 | 1.850 | Nr of release directions (horizontal) | (-) | 8,00 |
| density in hopper | kg/m3 | 1.350 | output mixture flow | m3/s | 1,40 |
| density seawater | kg/m3 | 1.025 | output solids flow | m3/s | 0,24 |
| density of solids | kg/m3 | 2.650 | circular shaped diffuser opening between two parallel plates, diameter width (m) | m | 2,00 |
| volume concentration in situ material (-) | (-) | 0,51 | diffuser window height | m | 0,40 |
| suction time | min | 18 | circular area of diffuser discharge | m2 | 2,51 |
| cycle time | hr | 2,76 | mixture release velocity | m/s | 0,56 |
| water content in release | % | 80% | mixture release rate | m3/hr | 5.052 |
| discharge time hopper | min | 29 | mixture release rate per diffuser opening | m3/hr | 632 |
| number of trips per week | (-) | 45 | mixture release rate per diffuser opening | m3/s | 0,18 |
| time between dredging operations | hr | 2,47 | density of released material | kg/m3 | 1.300 |
| loading rate solids | ton/hr | 2.426 | water content [%] | % | 83% |
| loading rate in situ m3/hr | situ m3/hr | 1.804 | discharge rate solids | tons/hr | 2.266 |
| | | | percentage of time release of dredged material | % | 11,4 |
| | | | number of hours release per day | hr | 2,74 |
| draghead turbidity | | | effective solid release duration | | |
| sucking rate of solids into draghead | ton/hr | 2.426 | disperse in the water column (Deltares) | % | 5% |
| disperse in the water column (Deltares) | % | 2% | solid release rate (5% assumed dispersible) | tons/hr | 113 |
| solid released volume | tons | 7.102 | tonnes free to disperse per day | tons/day | 311 |
| solid release rate while sucking up material | ton/hr | 49 | discharge time per load | hr | 0,48 |
| height of dispersed column (m) | m | 2 | time between releases | hr | 2,28 |
| release opening (l x b) | m2 | 3.5 x 1.0 m | depth of diffuser discharge | m | 30 |
| | | | | | |
| dredging production and duration | | | effective solid release duration | | |
| dredging production | situ m3/wk | 24.018 | solid content | % | 51% |
| dredge volume (situ m3) | situ m3 | 263.948 | solid release volume | tons | 17.756 |
| number of weeks | (-) | 11,0 | effective release duration | days | 57 |
| number of days | (-) | 76,9 | | | |

| 1.400 m3 trailing suction hopper dredging, non-contaminated material between 4,5 and 7 m, Borg 1, 95% confidence | | | | | |
|--|------------|-------------|--|----------|---------|
| dredging | | | discharging through diffuser | | |
| situ density | kg/m3 | 1.850 | Nr of release directions (horizontal) | (-) | 8,00 |
| density in hopper | kg/m3 | 1.350 | output mixture flow | m3/s | 1,40 |
| density seawater | kg/m3 | 1.025 | output solids flow | m3/s | 0,24 |
| density of solids | kg/m3 | 2.650 | circular shaped diffuser opening between two parallel plates, diameter width (m) | m | 2,00 |
| volume concentration in situ material (-) | (-) | 0,51 | diffuser window height | m | 0,40 |
| suction time | min | 18 | circular area of diffuser discharge | m2 | 2,51 |
| cycle time | hr | 2,76 | mixture release velocity | m/s | 0,56 |
| water content in release | % | 80% | mixture release rate | m3/hr | 5.052 |
| discharge time hopper | min | 29 | mixture release rate per diffuser opening | m3/hr | 632 |
| number of trips per week | (-) | 45 | mixture release rate per diffuser opening | m3/s | 0,18 |
| time between dredging operations | hr | 2,47 | density of released material | kg/m3 | 1.300 |
| loading rate solids | ton/hr | 2.426 | water content [%] | % | 83% |
| loading rate in situ m3/hr | situ m3/hr | 1.804 | discharge rate solids | tons/hr | 2.266 |
| | | | percentage of time release of dredged material | % | 11,4 |
| | | | number of hours release per day | hr | 2,74 |
| draghead turbidity | | | effective solid release duration | | |
| sucking rate of solids into draghead | ton/hr | 2.426 | disperse in the water column (Deltares) | % | 5% |
| disperse in the water column (Deltares) | % | 2% | solid release rate (5% assumed dispersible) | tons/hr | 113 |
| solid released volume | tons | 5.888 | tonnes free to disperse per day | tons/day | 311 |
| solid release rate while sucking up material | ton/hr | 49 | discharge time per load | hr | 0,48 |
| height of dispersed column (m) | m | 2 | time between releases | hr | 2,28 |
| release opening (l x b) | m2 | 3.5 x 1.0 m | depth of diffuser discharge | m | 30 |
| | | | | | |
| dredging production and duration | | | effective solid release duration | | |
| dredging production | situ m3/wk | 24.018 | solid content | % | 50,769% |
| dredge volume (situ m3) | situ m3 | 218.826 | solid release volume | tons | 14.720 |
| number of weeks | (-) | 9,1 | effective release duration | days | 47 |
| number of days | (-) | 63,8 | | | |

| 7.700 m3 trailing suction hopper dredging, non-contaminated material below 7 m, Borg 1 and Borg 2, 80% confidence | | | | | |
|---|------------|-------------|--|---------|---------|
| dredging | | | discharging through diffuser | | |
| situ density | kg/m3 | 1.850 | Nr of release directions (horizontal) | (-) | 8,00 |
| desnity in hopper | kg/m3 | 1.350 | output mixture flow | m3/s | 3,49 |
| density seawater | kg/m3 | 1.025 | output solids flow | m3/s | 0,59 |
| density of solids | kg/m3 | 2.650 | circular shaped diffuser opening between two parallel plates, diameter width (m) | m | 2,00 |
| volume concentration in situ material (-) | (-) | 0,51 | diffuser window height | m | 0,40 |
| suction time | min | 35 | circular area of diffuser discharge | m2 | 2,51 |
| cycle time | hr | 2,90 | mixture release velocity | m/s | 1,39 |
| water content in release | % | 80% | mixture release rate | m3/hr | 12.553 |
| discharge time hopper | min | 52 | mixture release rate per diffuser opening | m3/hr | 1.569 |
| number of trips per week | (-) | 43 | mixture release rate per diffuser opening | m3/s | 0,44 |
| time between dredging operations | hr | 2,31 | density of released material | kg/m3 | 1.300 |
| loading rate solids | ton/hr | 6.740 | water content [%] | % | 83% |
| loading rate in situ m3/hr | situ m3/hr | 5.010 | discharge rate solids | tons/hr | 5.630 |
| | | | percentage of time release of dredged material | % | 24,2 |
| | | | number of hours release per day | hr | 5,81 |
| draghead turbidity | | | effective solid release duration | | |
| sucking rate of solids into draghead | ton/hr | 6.740 | solid content | % | 51% |
| disperse in the water column (Deltares) | % | 2% | solid release volume | tons | 136.681 |
| solid released volume | tons | 54.672 | effective release duration | days | 84 |
| solid release rate while sucking up material | ton/hr | 135 | | | |
| height of dispersed column (m) | m | 2 | | | |
| release opening (l x b) | m2 | 3.5 x 1.0 m | | | |
| dredging production and duration | | | effective solid release duration | | |
| dredging production | situ m3/wk | 126.420 | solid content | % | 51% |
| dredge volume (situ m3) | situ m3/wk | 2.031.843 | solid release volume | tons | 136.681 |
| number of weeks | (-) | 16,1 | effective release duration | days | 84 |
| number of days | (-) | 112,5 | | | |

| 7.700 m3 trailing suction hopper dredging, non-contaminated material below 7 m, Borg 1 and Borg 2, 95% confidence | | | | | |
|---|------------|-------------|--|---------|---------|
| dredging | | | discharging through diffuser | | |
| situ density | kg/m3 | 1.850 | Nr of release directions (horizontal) | (-) | 8,00 |
| desnity in hopper | kg/m3 | 1.350 | output mixture flow | m3/s | 3,49 |
| density seawater | kg/m3 | 1.025 | output solids flow | m3/s | 0,59 |
| density of solids | kg/m3 | 2.650 | circular shaped diffuser opening between two parallel plates, diameter width (m) | m | 2,00 |
| volume concentration in situ material (-) | (-) | 0,51 | diffuser window height | m | 0,40 |
| suction time | min | 35 | circular area of diffuser discharge | m2 | 2,51 |
| cycle time | hr | 2,90 | mixture release velocity | m/s | 1,39 |
| water content in release | % | 80% | mixture release rate | m3/hr | 12.553 |
| discharge time hopper | min | 52 | mixture release rate per diffuser opening | m3/hr | 1.569 |
| number of trips per week | (-) | 43 | mixture release rate per diffuser opening | m3/s | 0,44 |
| time between dredging operations | hr | 2,31 | density of released material | kg/m3 | 1.300 |
| loading rate solids | ton/hr | 6.740 | water content [%] | % | 83% |
| loading rate in situ m3/hr | situ m3/hr | 5.010 | discharge rate solids | tons/hr | 5.630 |
| | | | percentage of time release of dredged material | % | 24,2 |
| | | | number of hours release per day | hr | 5,81 |
| draghead turbidity | | | effective solid release duration | | |
| sucking rate of solids into draghead | ton/hr | 6.740 | solid content | % | 51% |
| disperse in the water column (Deltares) | % | 2% | solid release volume | tons | 128.063 |
| solid released volume | tons | 51.225 | effective release duration | days | 78 |
| solid release rate while sucking up material | ton/hr | 135 | | | |
| height of dispersed column (m) | m | 2 | | | |
| release opening (l x b) | m2 | 3.5 x 1.0 m | | | |
| dredging production and duration | | | effective solid release duration | | |
| dredging production | situ m3/wk | 126.420 | solid content | % | 51% |
| dredge volume (situ m3) | situ m3 | 1.903.738 | solid release volume | tons | 128.063 |
| number of weeks | (-) | 15,1 | effective release duration | days | 78 |
| number of days | (-) | 105,4 | | | |

deployment of one backhoe dredger for dredging contaminated material, confidence level 80%

| Borg 1 and Borg 2 dredging programme | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
|--------------------------------------|-----------|------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| backhoe dredge | 736.258 | 20.422 | 36,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| long reach backhoe in shallows | 6.175 | | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| less than 4,5 grab wire crane | 249.502 | 16.812 | 14,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,5 to 7 m, small hopper | 263.948 | 24.018 | 11,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 7 m medium hopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total including overdredging | 2.031.843 | 126.420 | 16,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

deployment of two backhoe dredgers for dredging contaminated material, confidence level 80%

| Borg 1 and Borg 2 dredging programme | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
|--------------------------------------|-----------|------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| backhoe dredge | 736.258 | 40.844 | 18,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| long reach backhoe in shallows | 6.175 | | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| less than 4,5 grab wire crane | 249.502 | 16.812 | 14,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,5 to 7 m, small hopper | 263.948 | 24.018 | 11,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 7 m medium hopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total including overdredging | 2.031.843 | 126.420 | 16,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

deployment of two backhoe dredgers for dredging contaminated material, confidence level 80% to be completed in one season

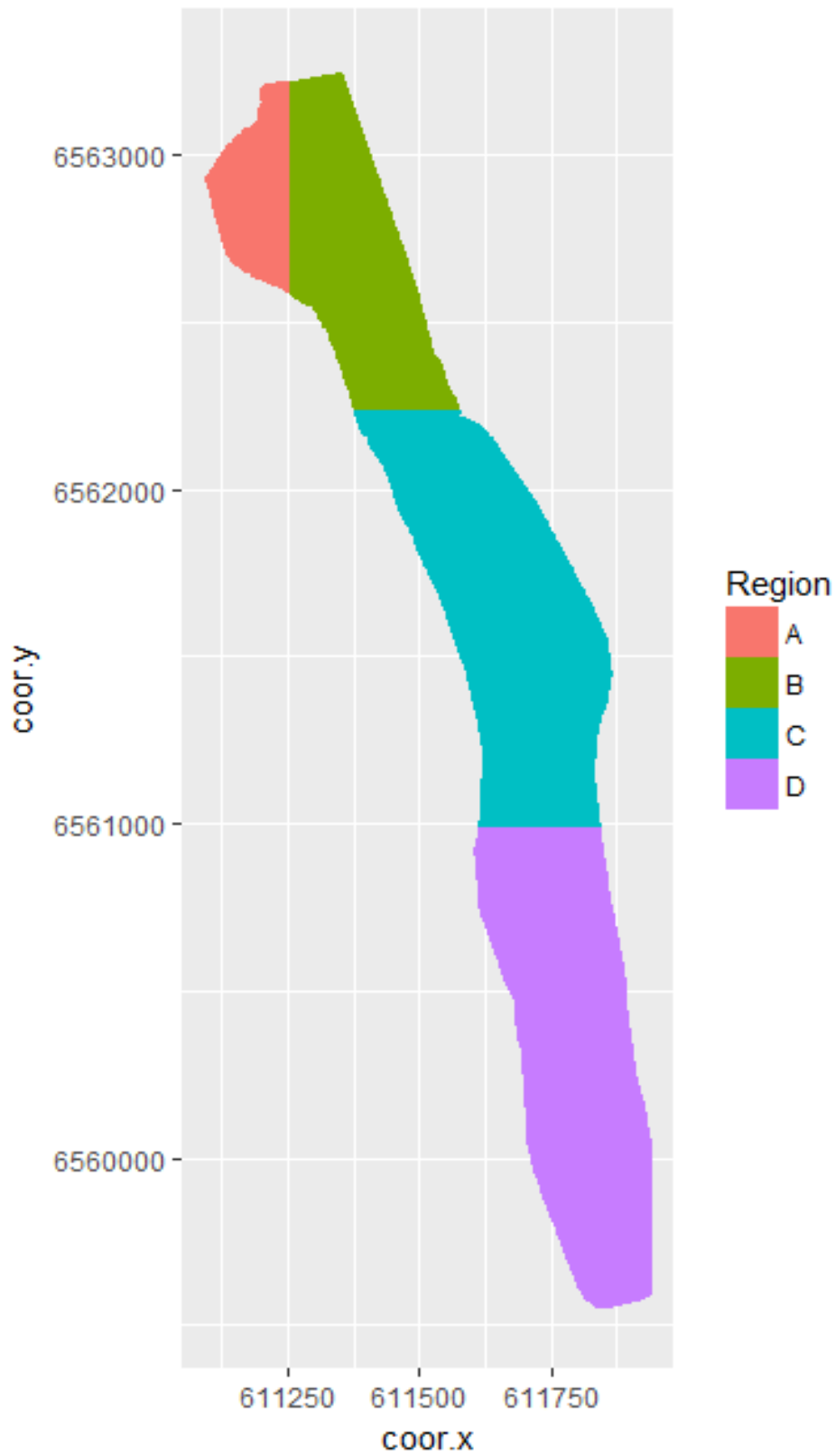
| first season | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
|--------------------------------|-----------|------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| backhoe dredge | 736.258 | 40.844 | 18,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| long reach backhoe in shallows | 249.502 | | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| less than 4,5 grab wire crane | 249.502 | 16.812 | 14,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

second season

| Borg 1 dredging and Borg 2 programme | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
|--------------------------------------|-----------|------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,5 to 7 m, small hopper | 263.948 | 24.018 | 11,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 7 m medium hopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total including overdredging | 2.031.843 | 126.420 | 16,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

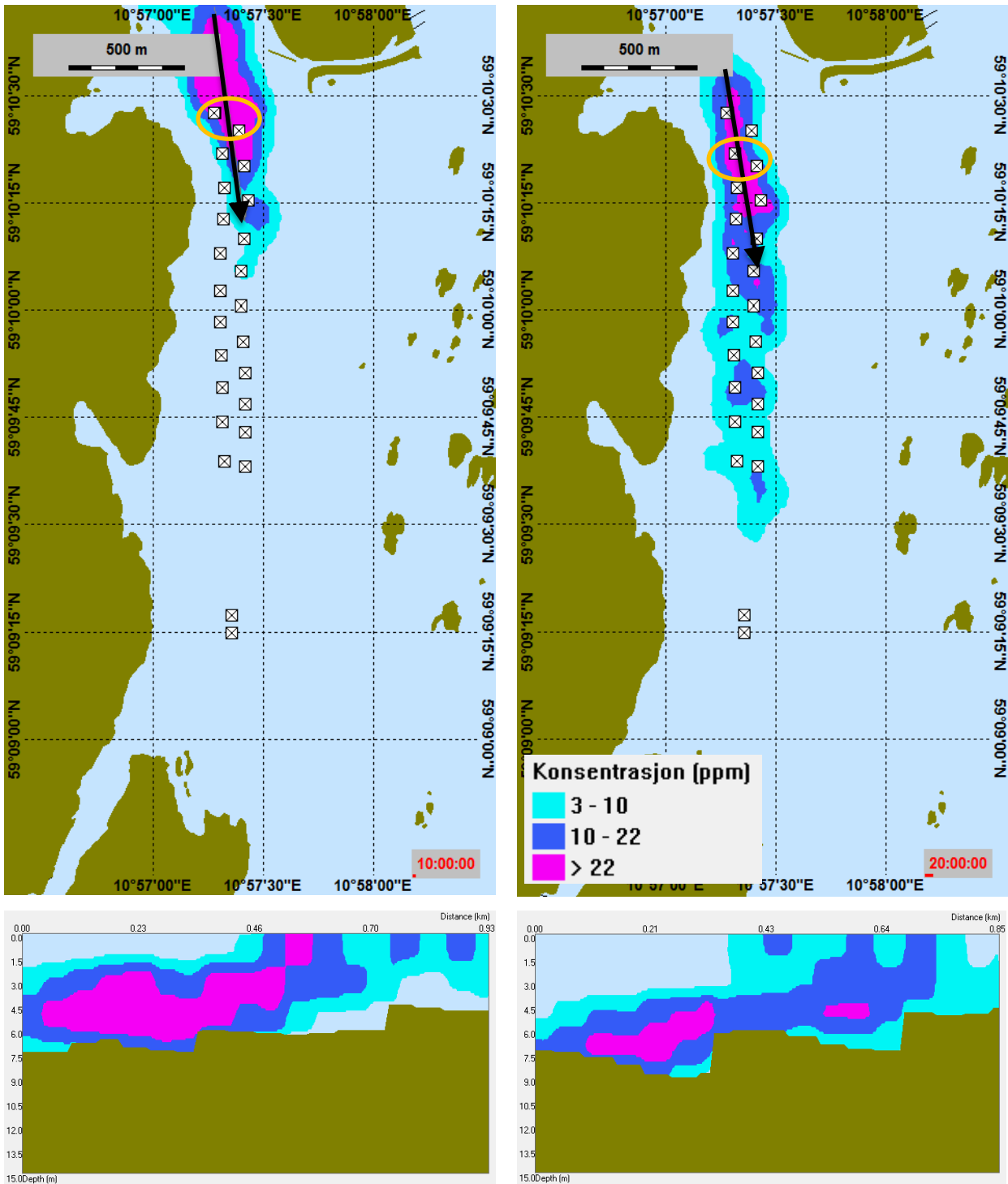
| | | | | deployment of one backhoe dredger for dredging contaminated material, confidence level 95% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|---------------------|-------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Borg 1 and Borg 2 dredging programme | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| backhoe dredge | 957.553 | 20.422 | 46,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| long reach backhoe in shallows | 6.175 | | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| less than 4,5 grab wire crane | 232.421 | 16.812 | 13,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,5 to 7 m, small hopper | 218.826 | 24.018 | 9,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 7 m medium hopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total including overdredging | 1.903.738 | 126.420 | 15,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | deployment of two backhoe dredgers for dredging contaminated material, confidence level 95% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Borg 1 and Borg 2 dredging programme | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| backhoe dredge | 957.553 | 40.844 | 23,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| long reach backhoe in shallows | 6.175 | | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| less than 4,5 grab wire crane | 232.421 | 16.812 | 13,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,5 to 7 m, small hopper | 218.826 | 24.018 | 9,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 7 m medium hopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total including overdredging | 1.903.738 | 126.420 | 15,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | deployment of two backhoe dredgers for dredging contaminated material, confidence level 95% to be completed in one season | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| first season | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| backhoe dredge | 957.553 | 40.844 | 23,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| long reach backhoe in shallows | 232.421 | | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| less than 4,5 grab wire crane | 232.421 | 16.812 | 13,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | second season | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Borg 1 dredging and Borg 2 programme | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
| | volume m3 | production mr/wk | weeks wk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| non-contaminated | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,5 to 7 m, small hopper | 218.826 | 24.018 | 9,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 7 m medium hopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total including overdredging | 1.903.738 | 126.420 | 15,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A.1 Mudringsområder, Borg 1

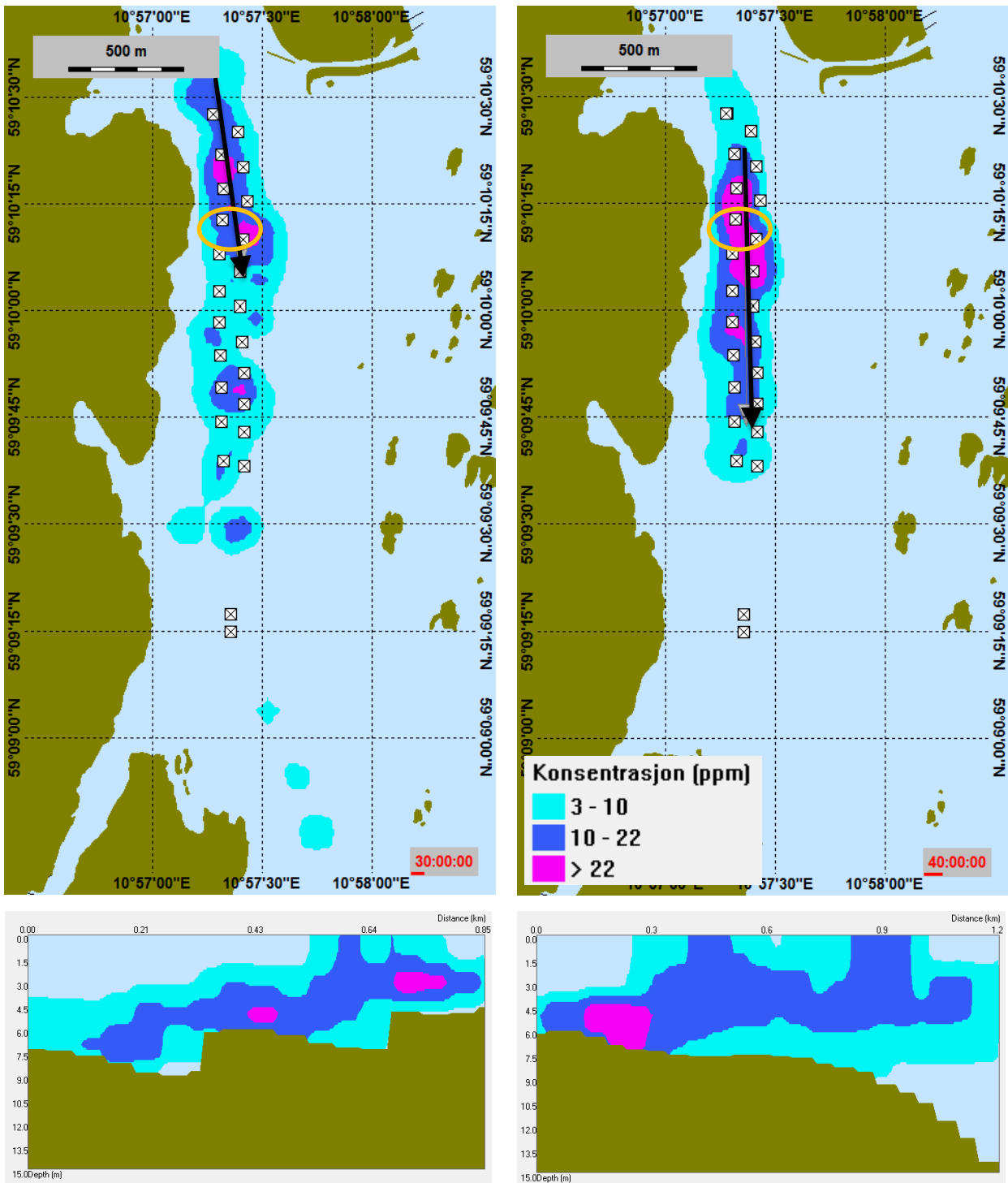


B Particle concentration in the water column

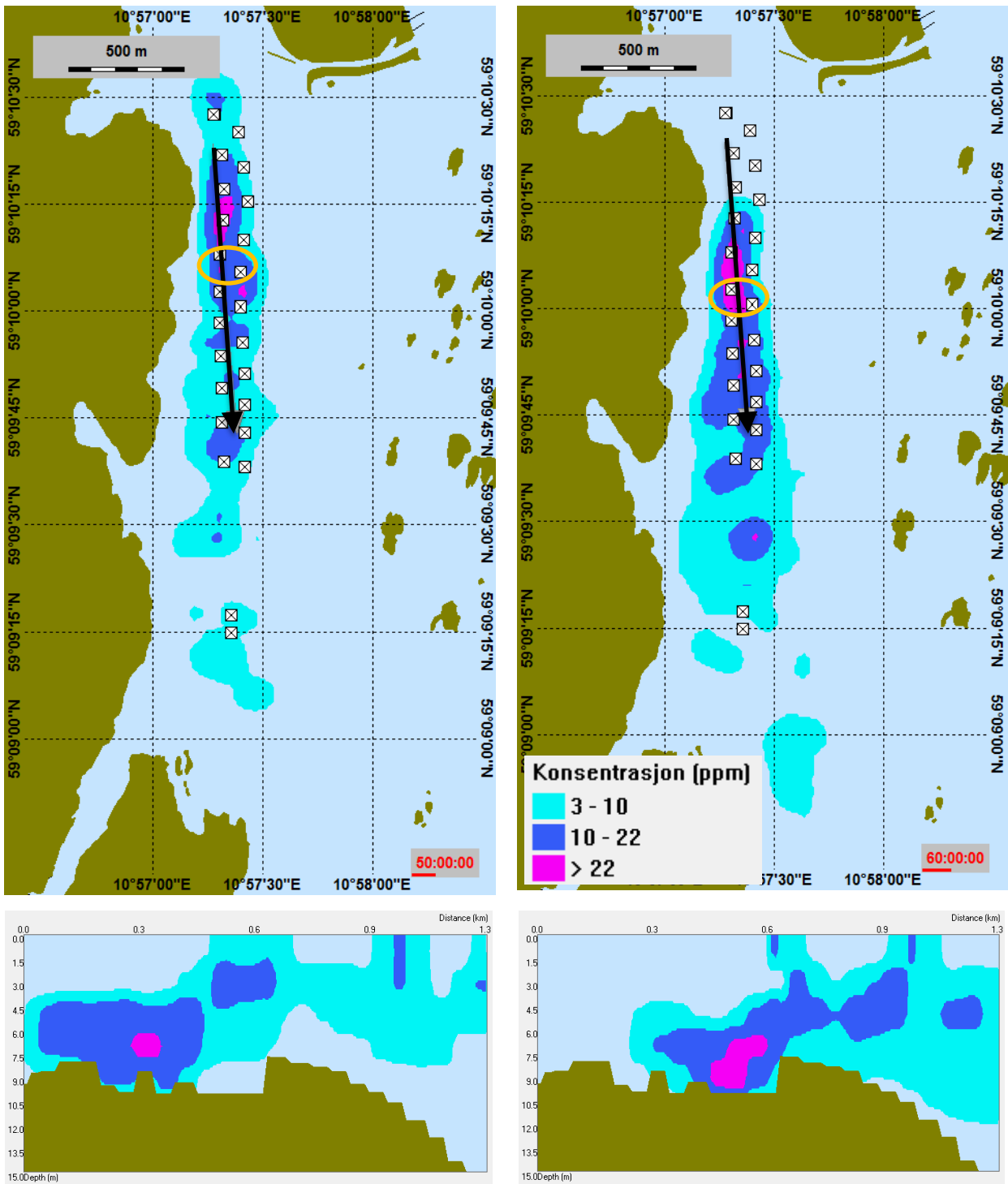
B.1 Mudring av forurensete masser med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 – Flyndregrunnen) – 80 % konfidensintervall



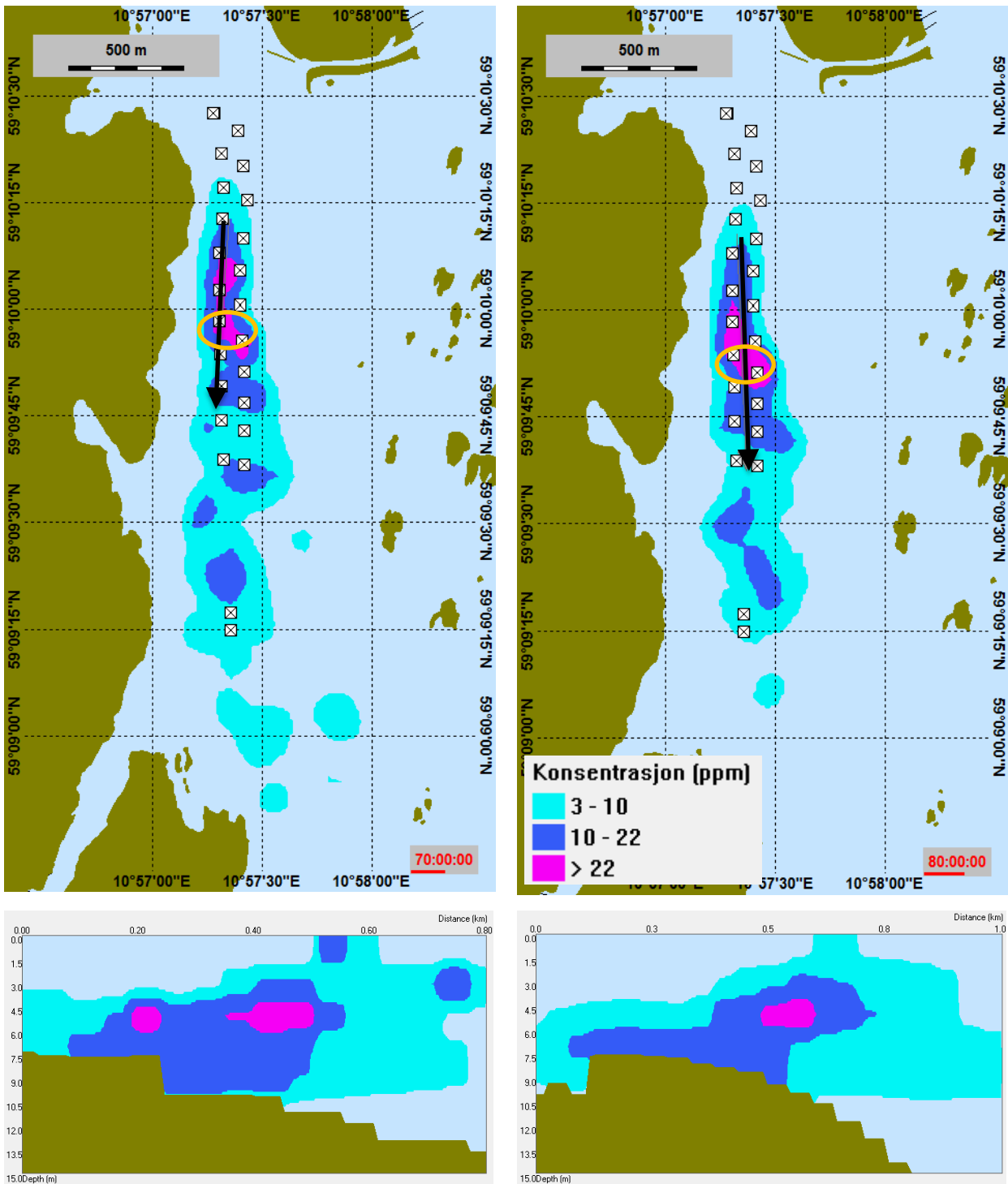
Figur B. 1 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



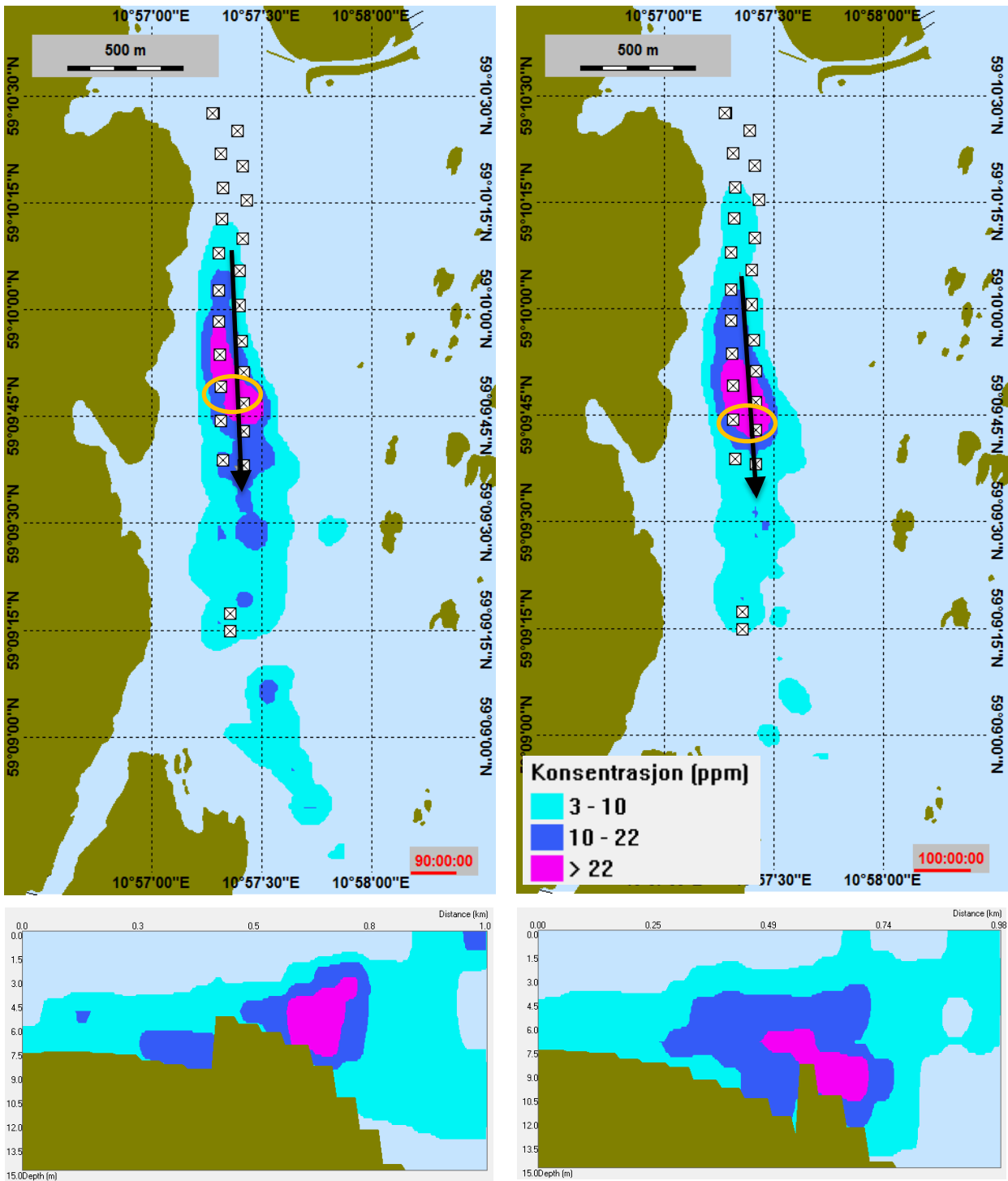
Figur B. 2 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgn (venstre) og 40 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



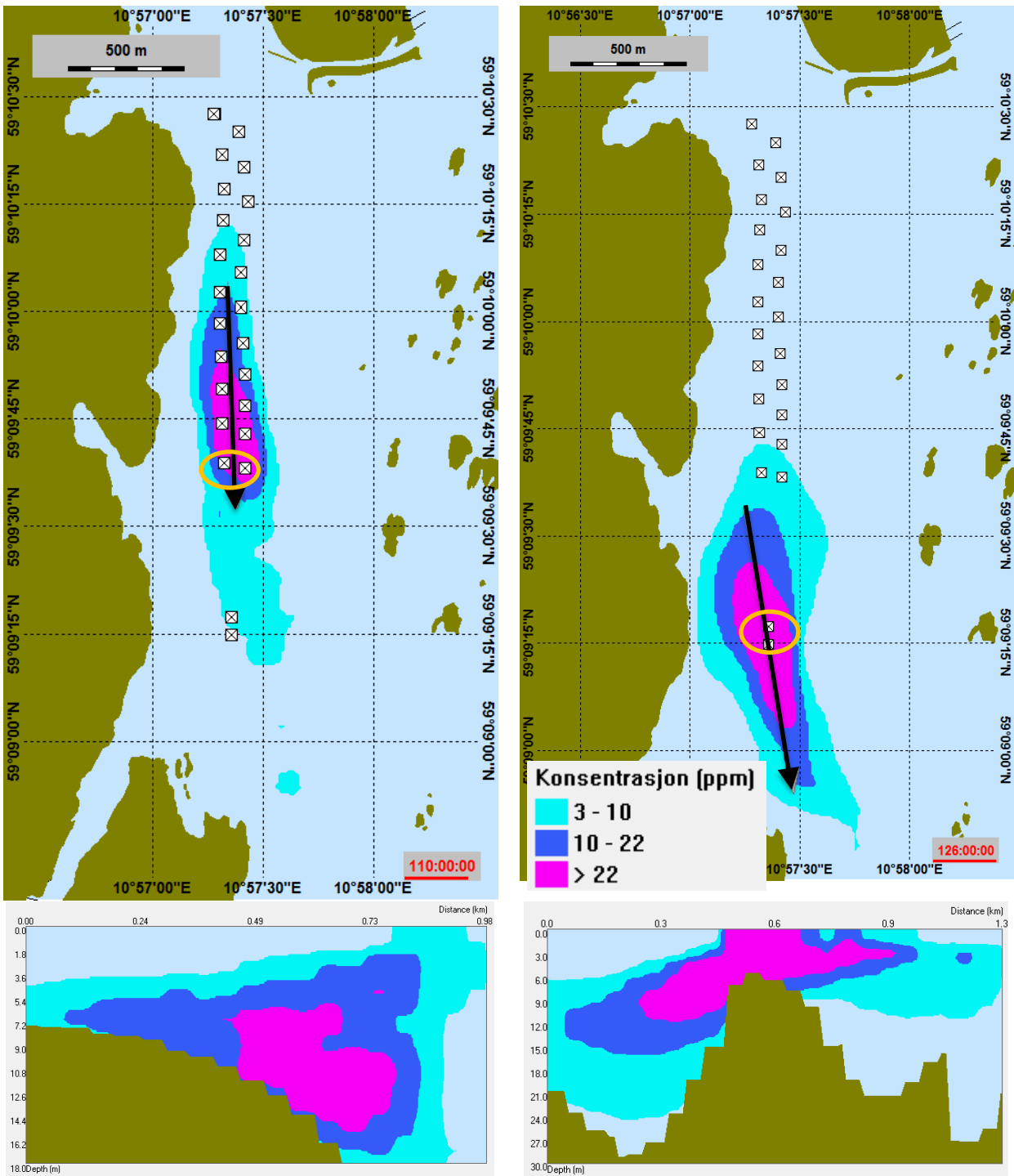
Figur B. 3 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgner (venstre) og 60 døgner (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



Figur B. 4 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 70 døgn (venstre) og 80 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.

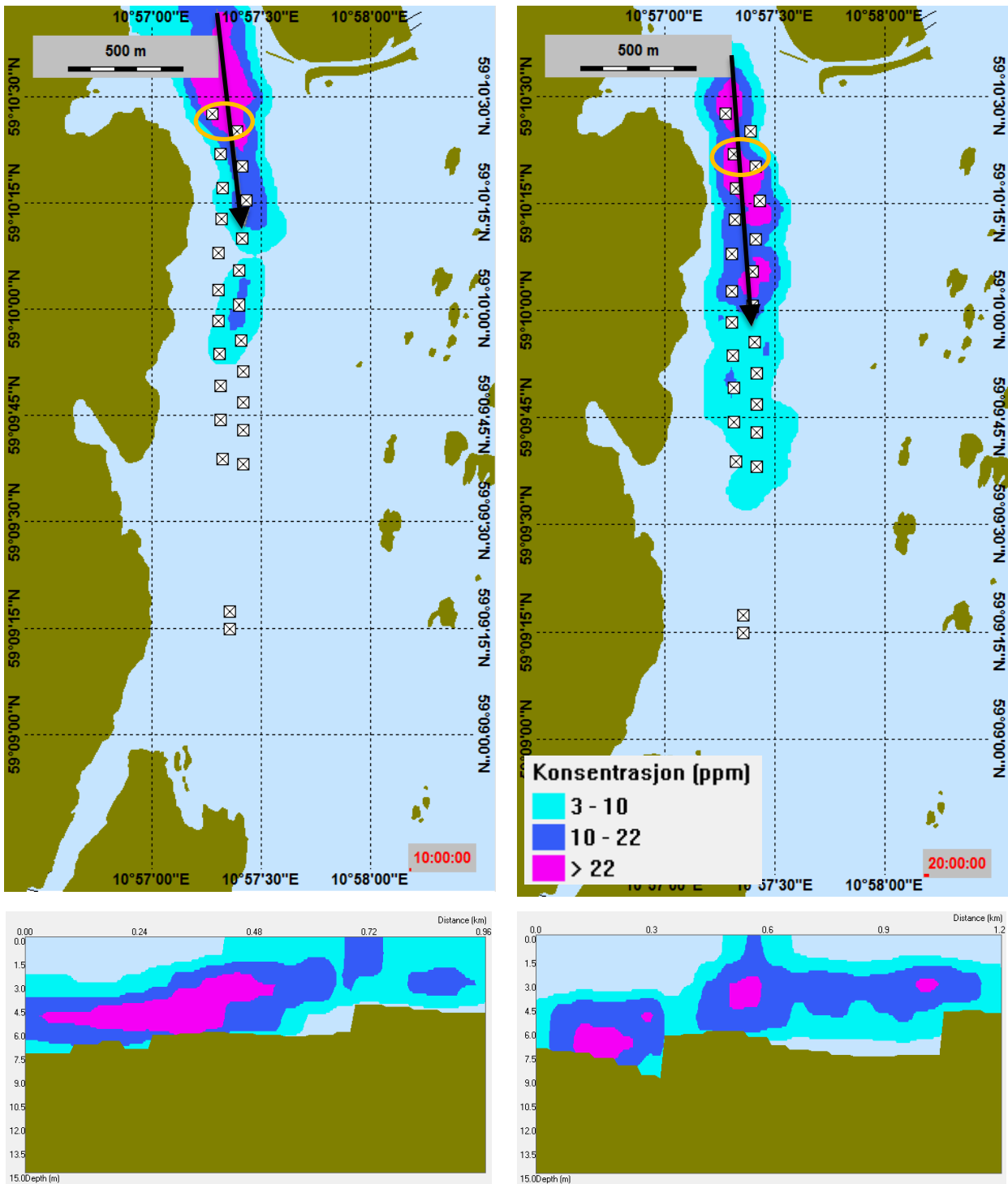


Figur B. 5 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 90 døgn (venstre) og 100 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.

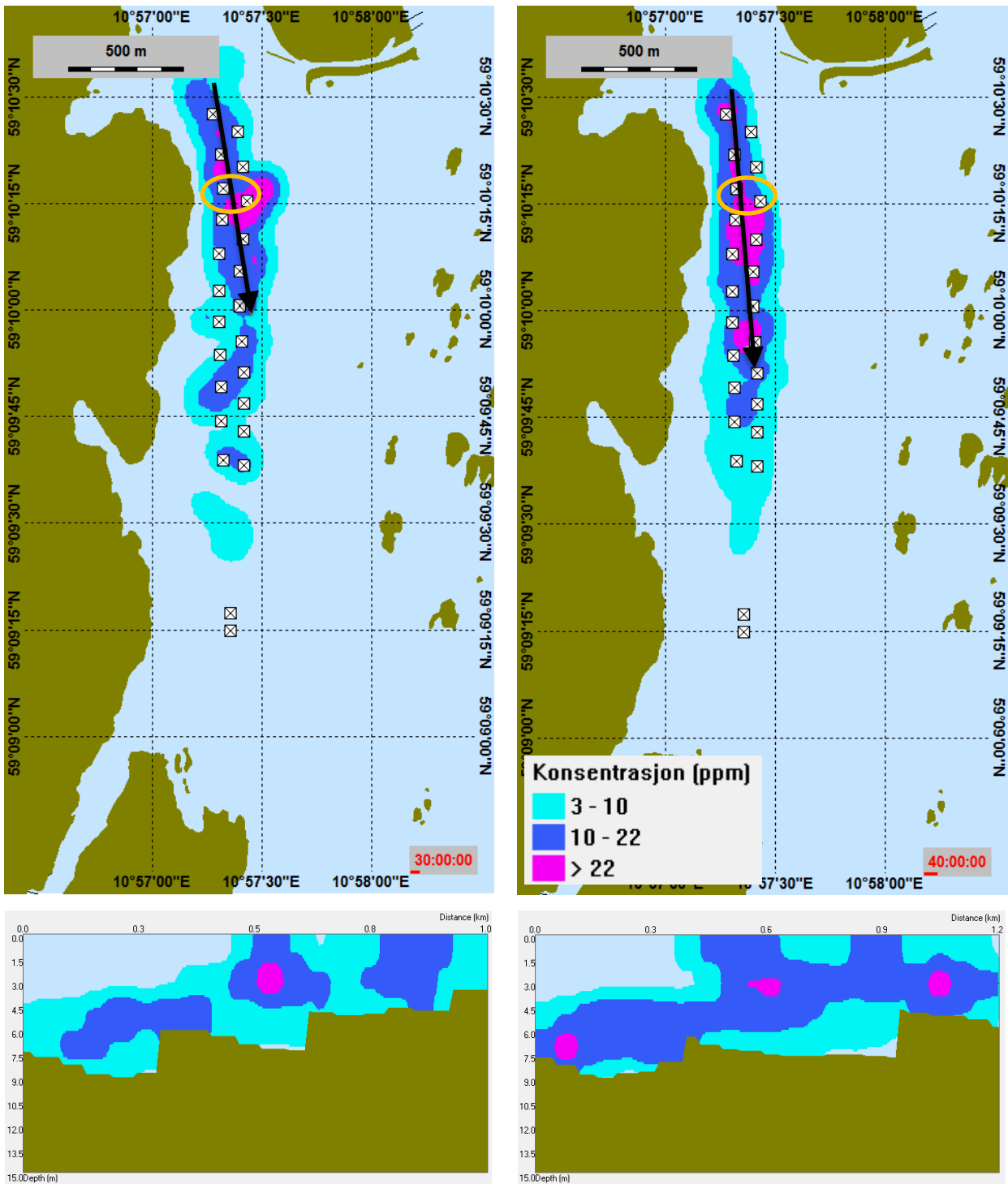


Figur B. 6 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 110 døgn (venstre) og 126 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved hhv Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen). Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 80 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.

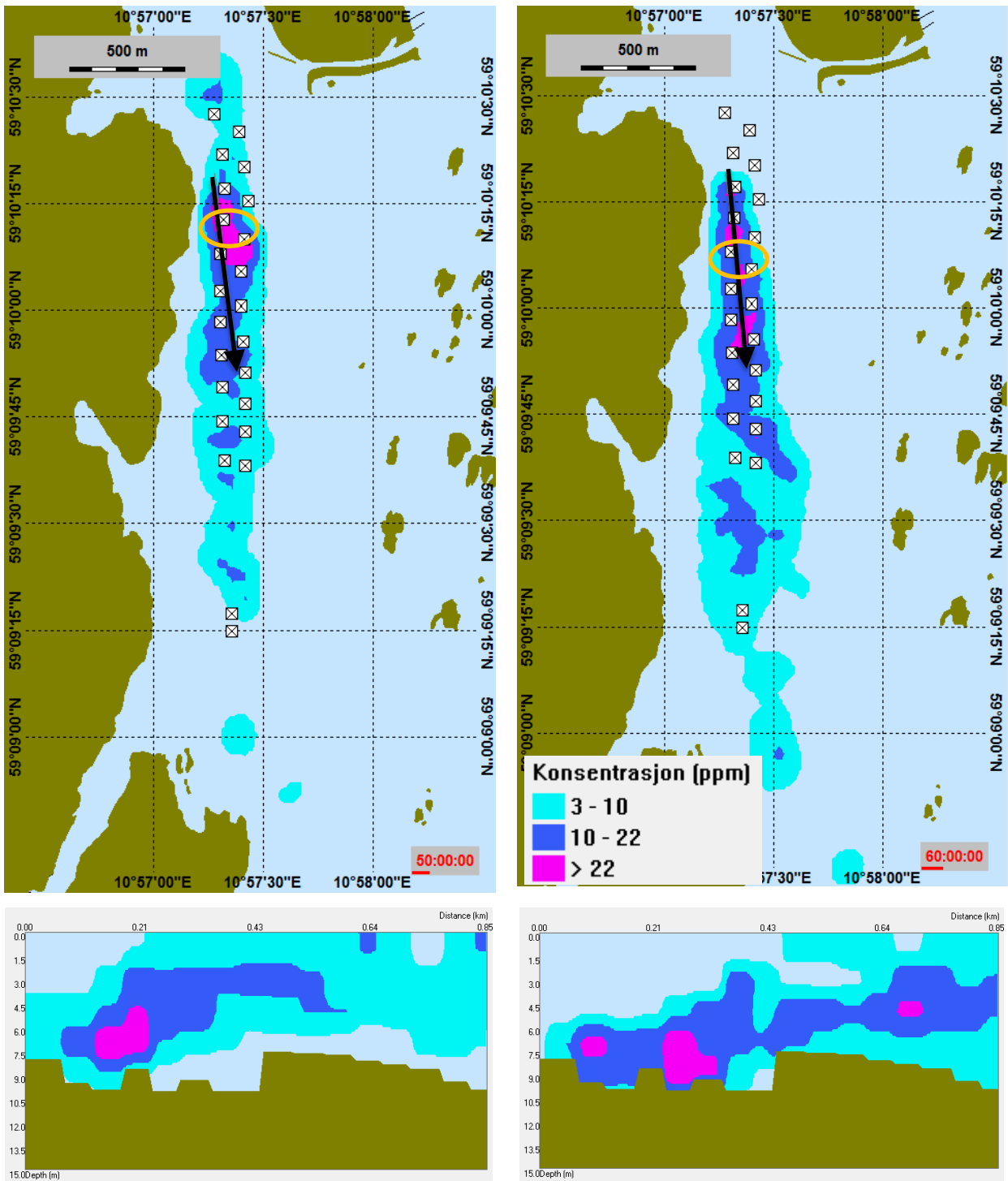
B.2 Mudring av forurensede masser med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 – Flyndregrunnen) – 95 % konfidensintervall



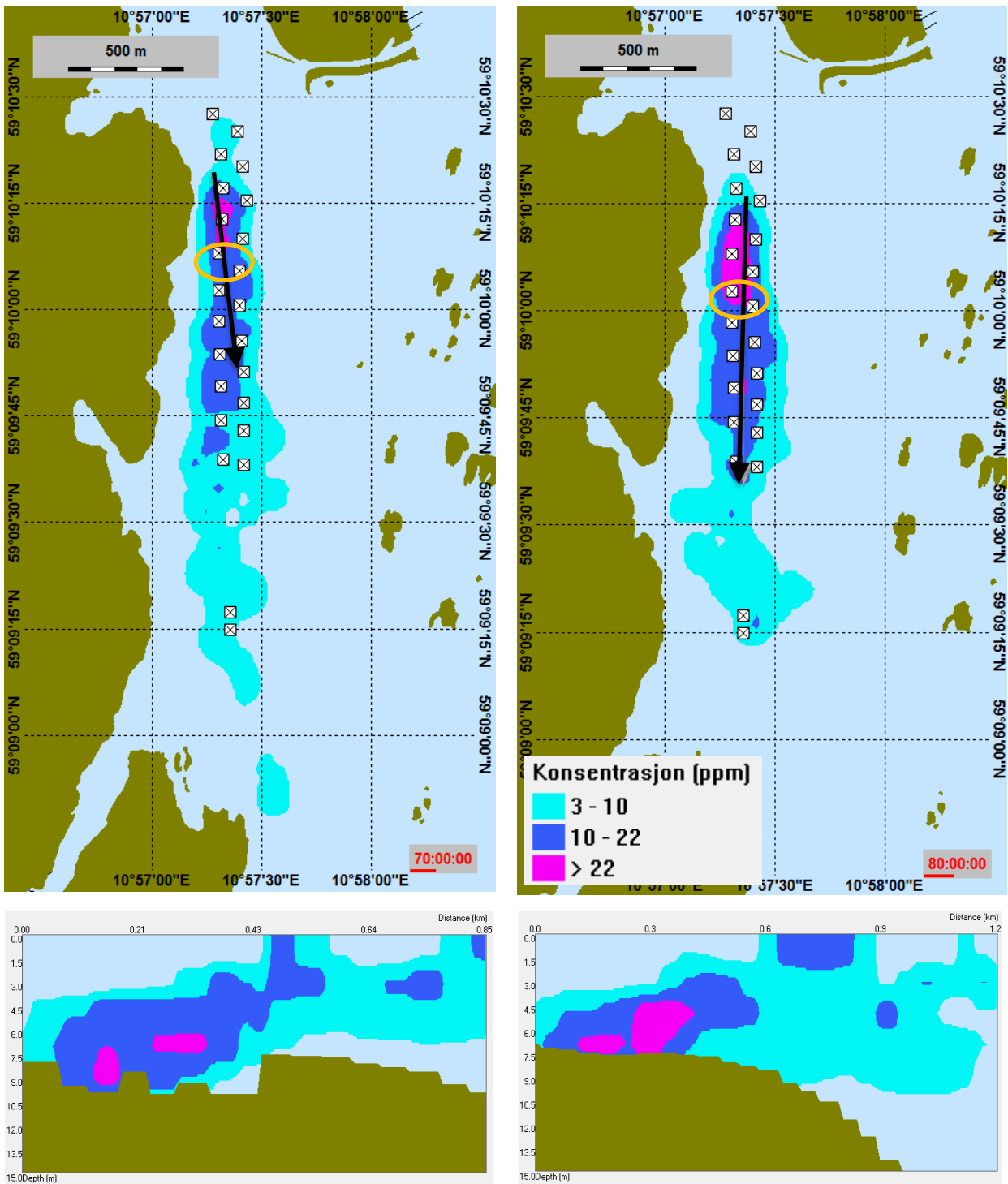
Figur B. 7 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.*



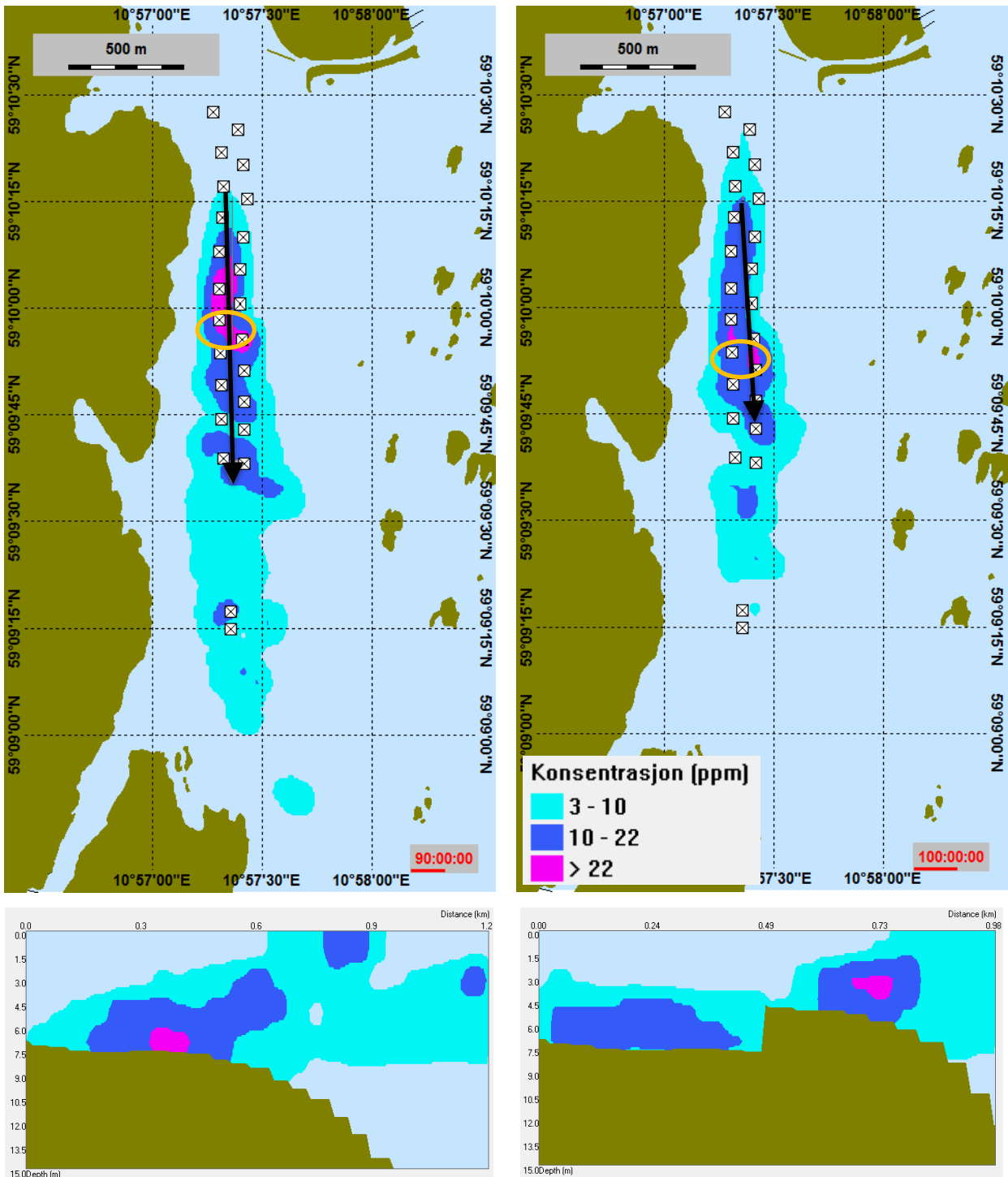
Figur B. 8 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgn (venstre) og 40 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



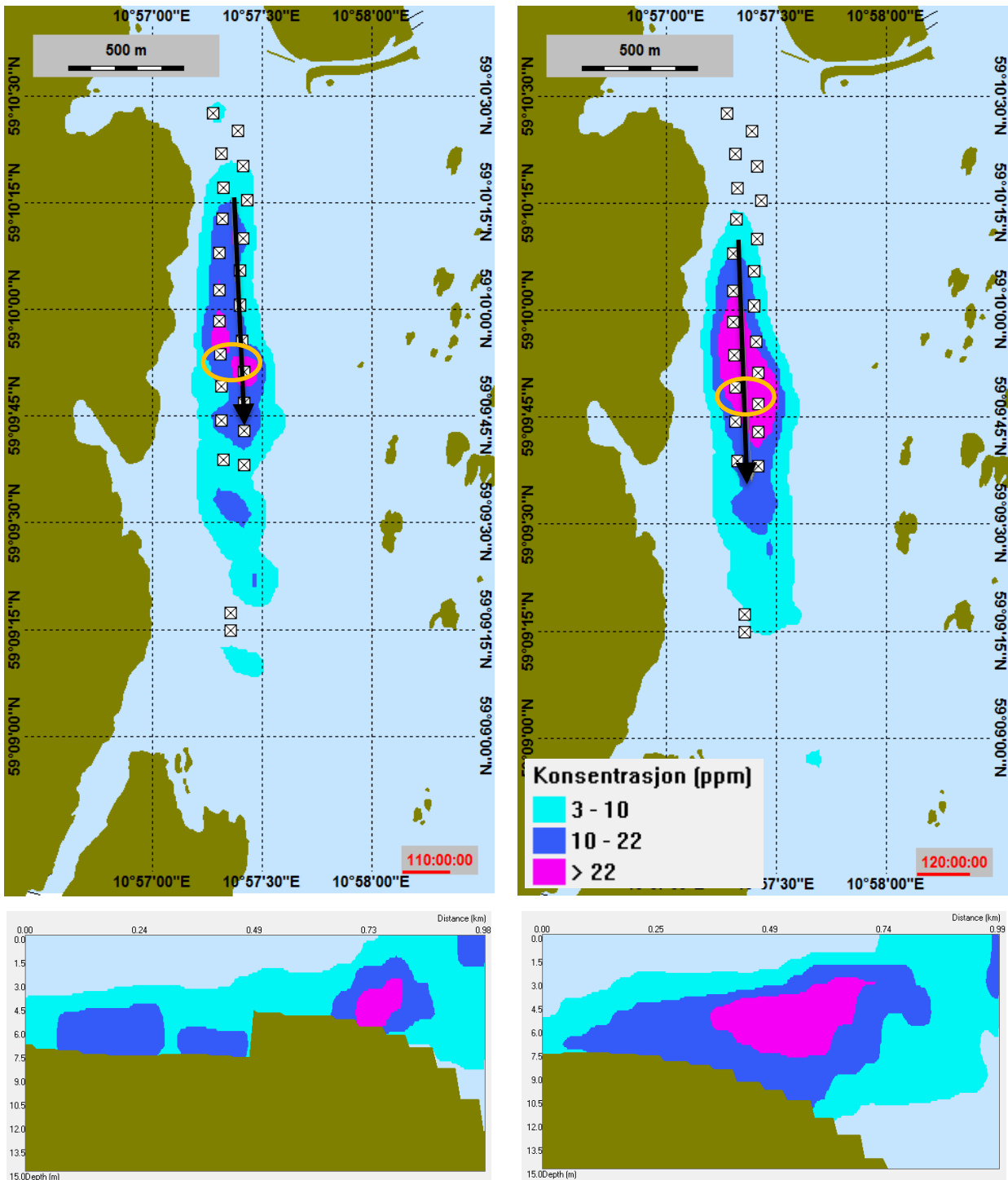
Figur B. 9 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgn (venstre) og 60 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



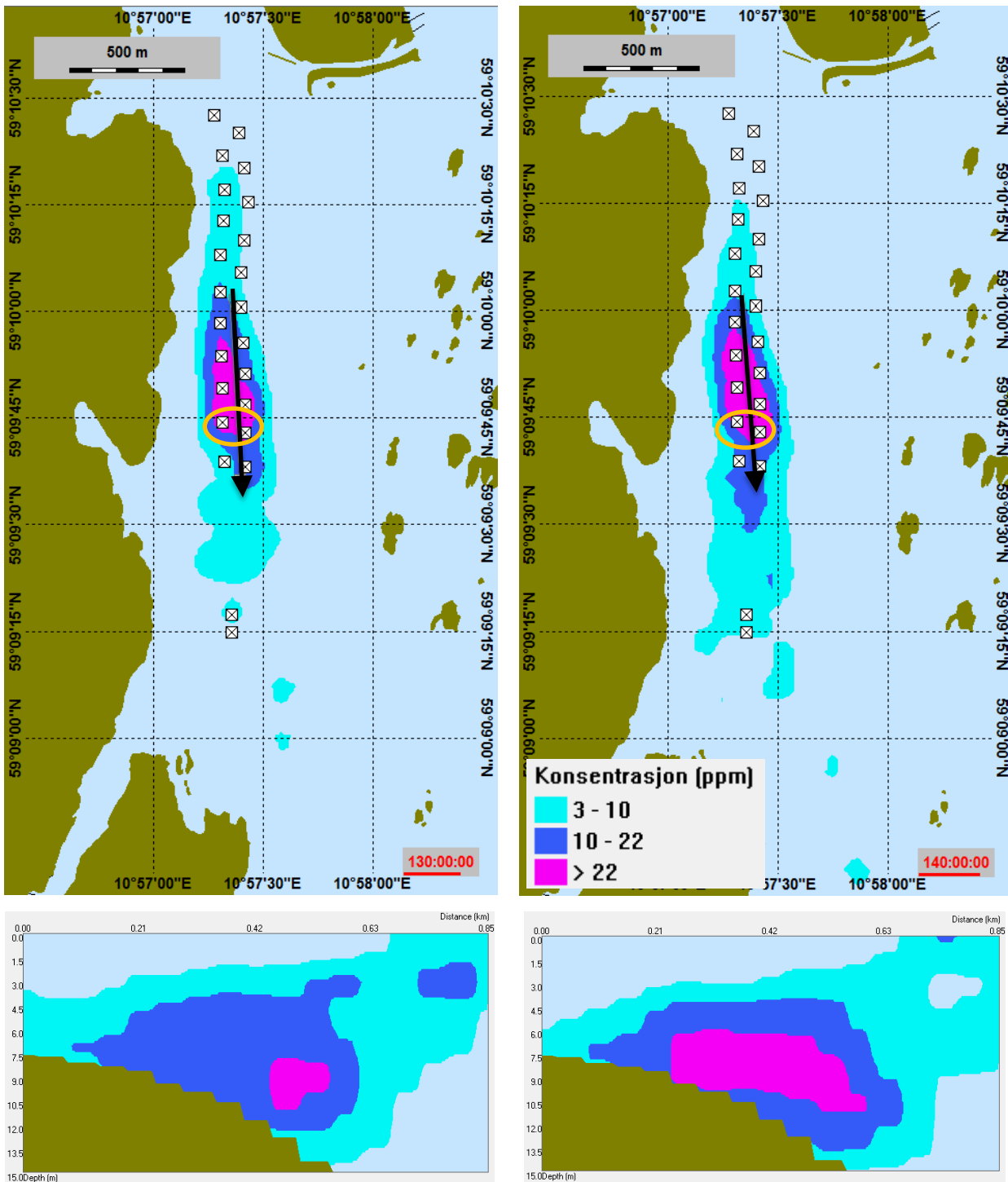
Figur B. 10 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 70 døgn (venstre) og 80 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



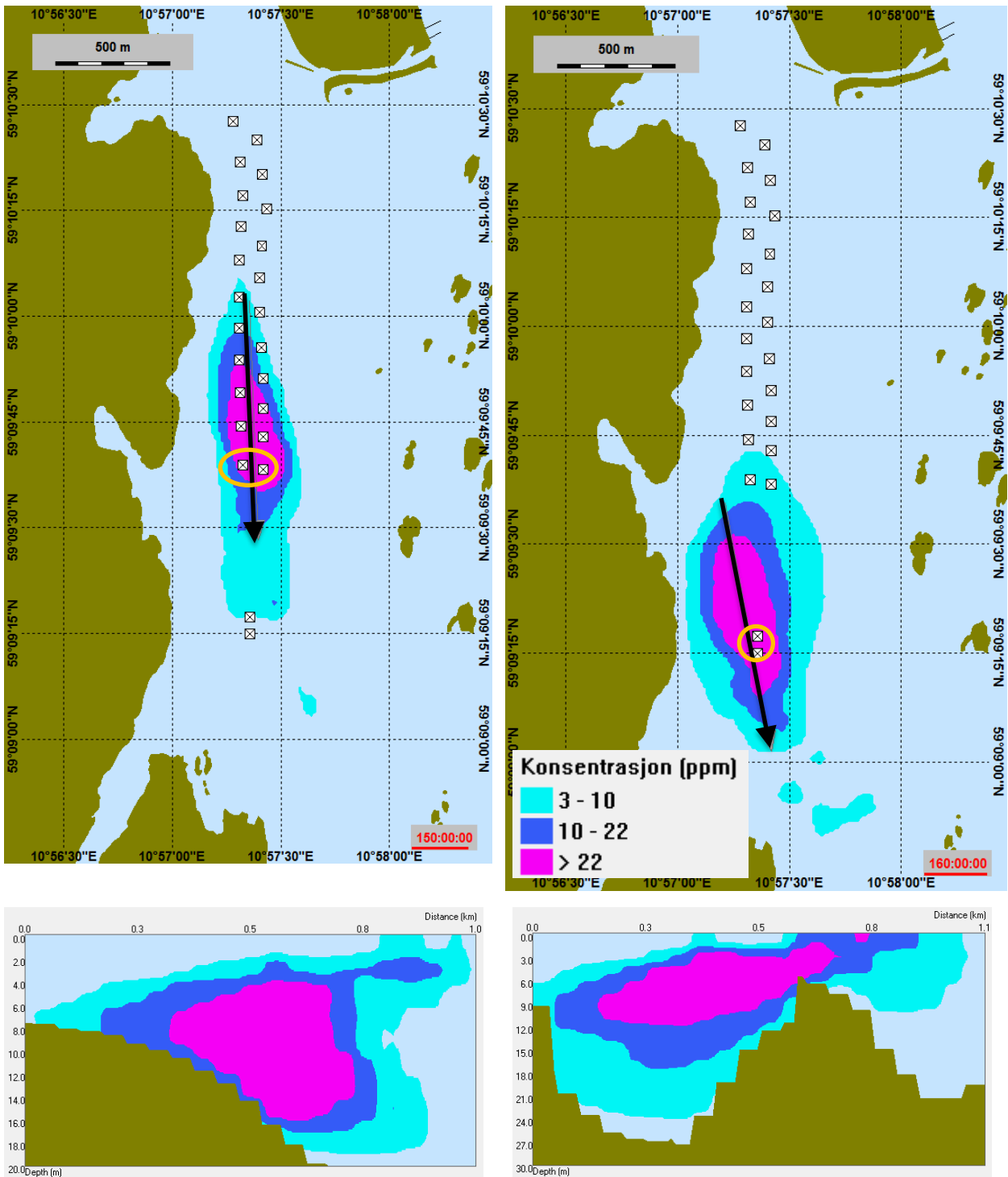
Figur B. 11 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 90 døgn (venstre) og 100 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95% konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.



Figur B. 12 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 110 døgn (venstre) og 120 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.

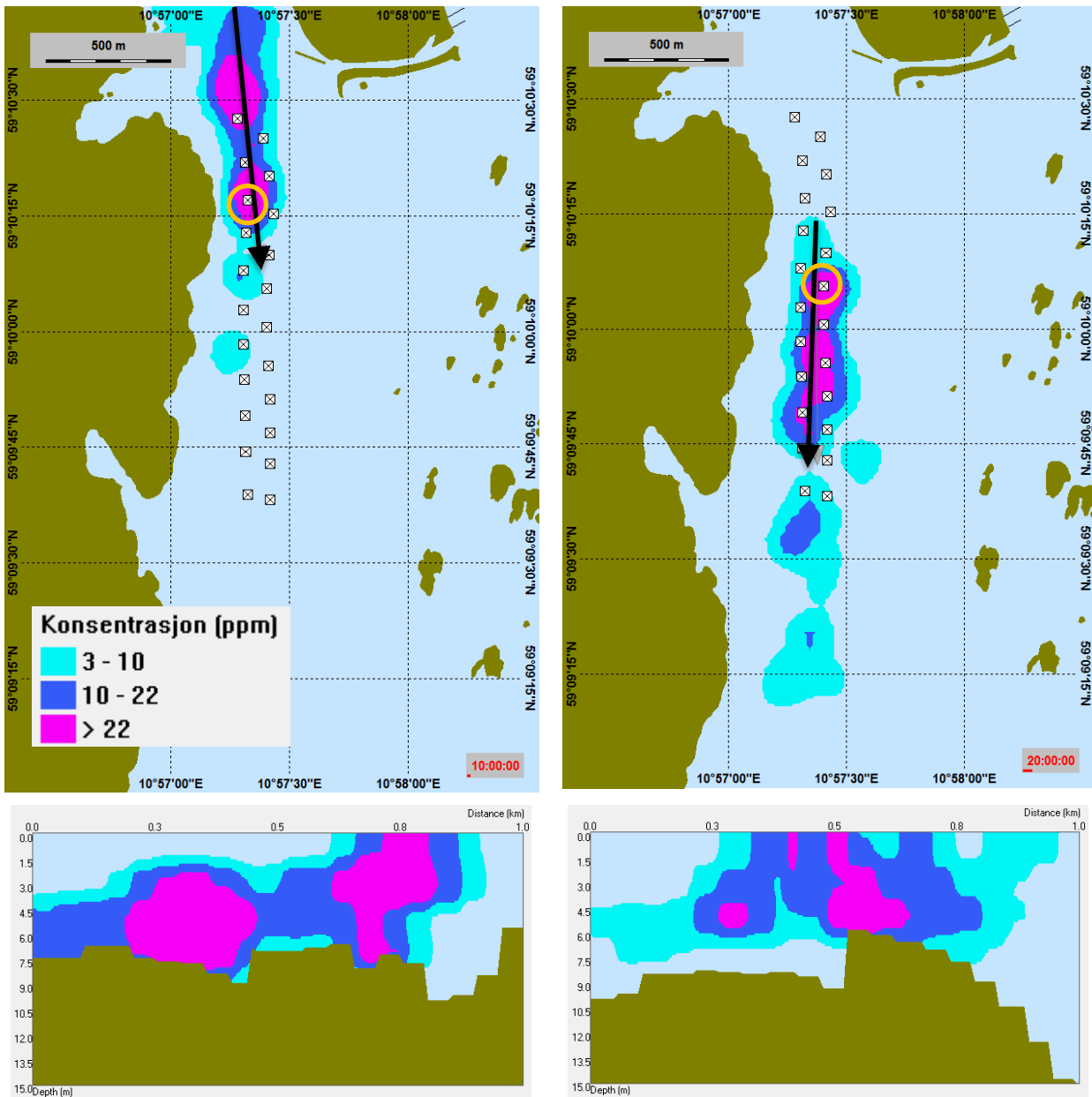


Figur B. 13 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 130 døgn (venstre) og 140 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.

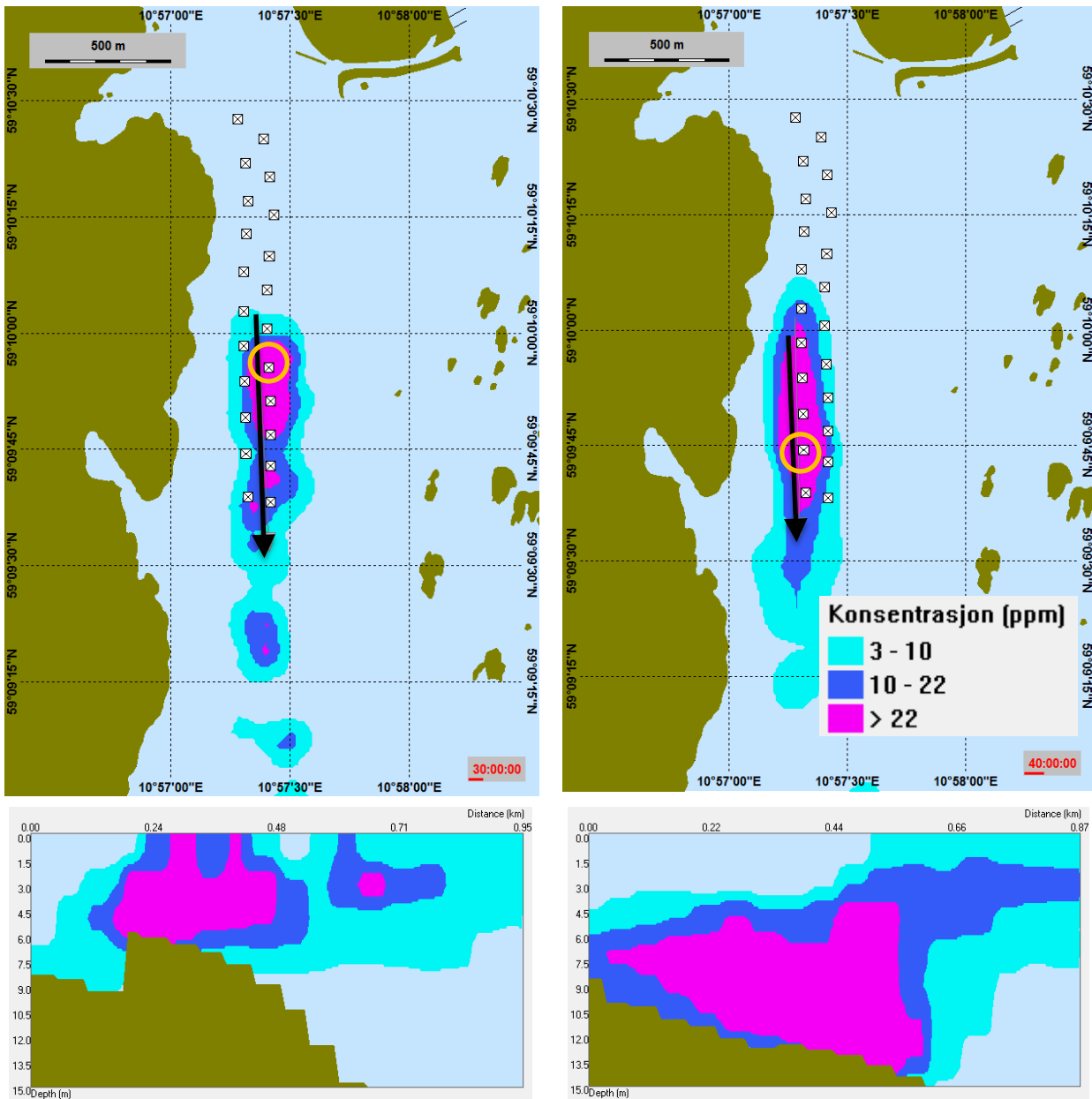


Figur B. 14 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 150 døgn (venstre) og 160 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved hhv Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen). Konsentrasjonen i tversnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Forurenset materiale med 95 % konfidensintervall. De to hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser de aktive mudrelokasjonene ved dette tidspunktet.

B.3 Mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire (Borg 1 og Borg 2) – 80 % konfidensintervall

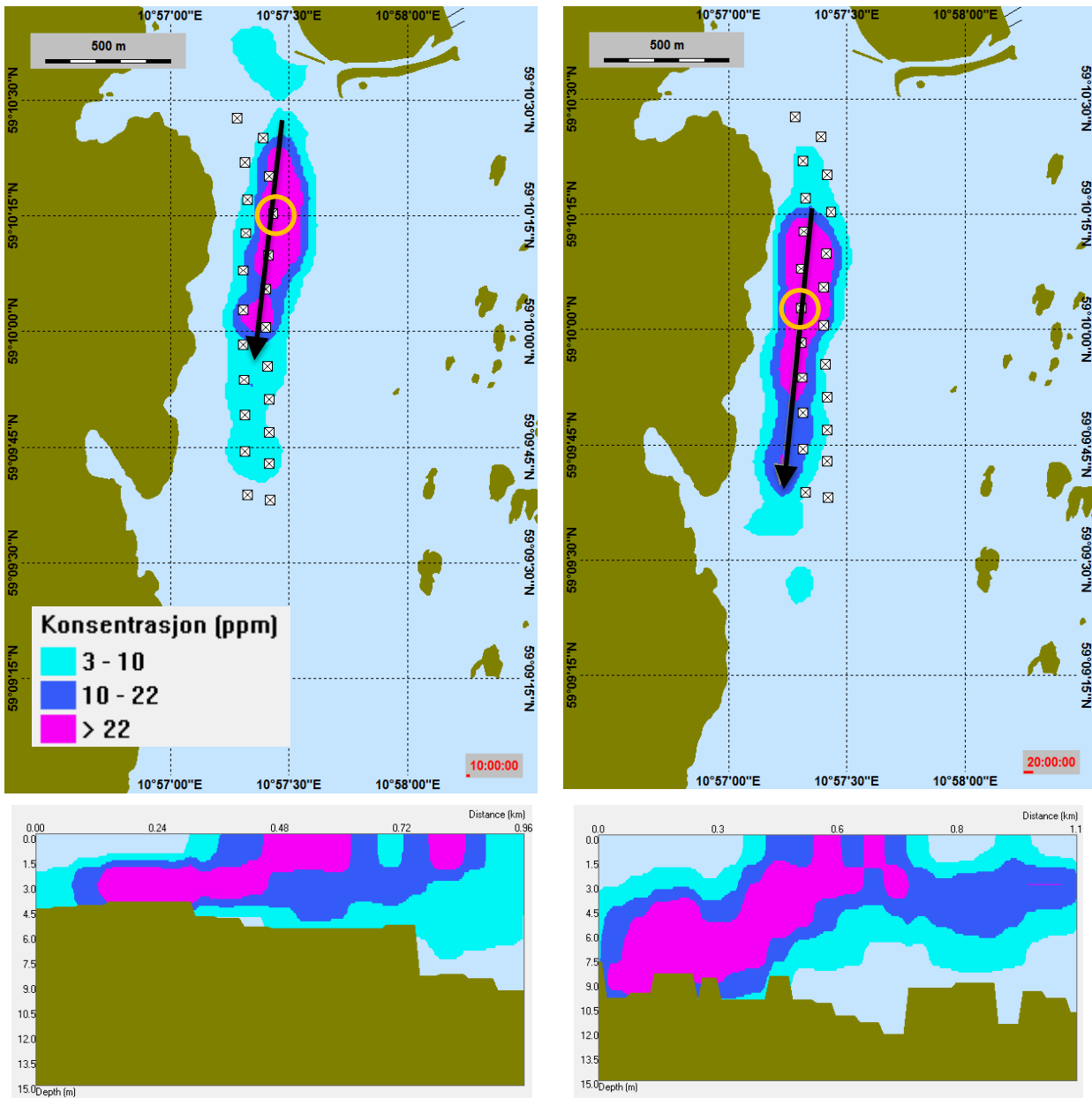


Figur B. 15 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med grabb i wire med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*

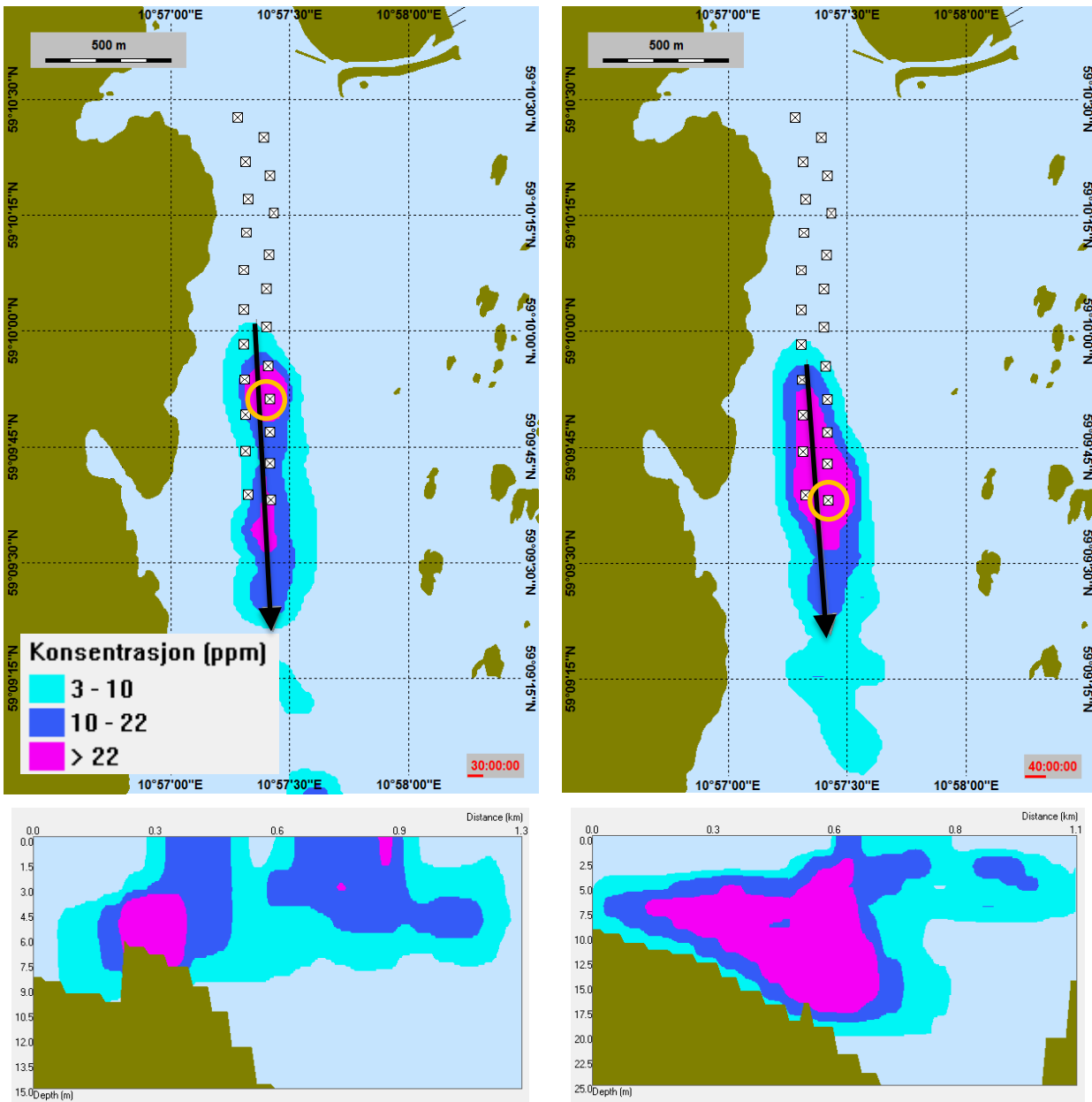


Figur B. 16 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgnet (venstre) og 40 døgnet (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med grabb i wire med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.

B.4 Mudring av ikke-forurenset materiale med grabb i wire (Borg 1 og Borg 2) – 95 % konfidensintervall

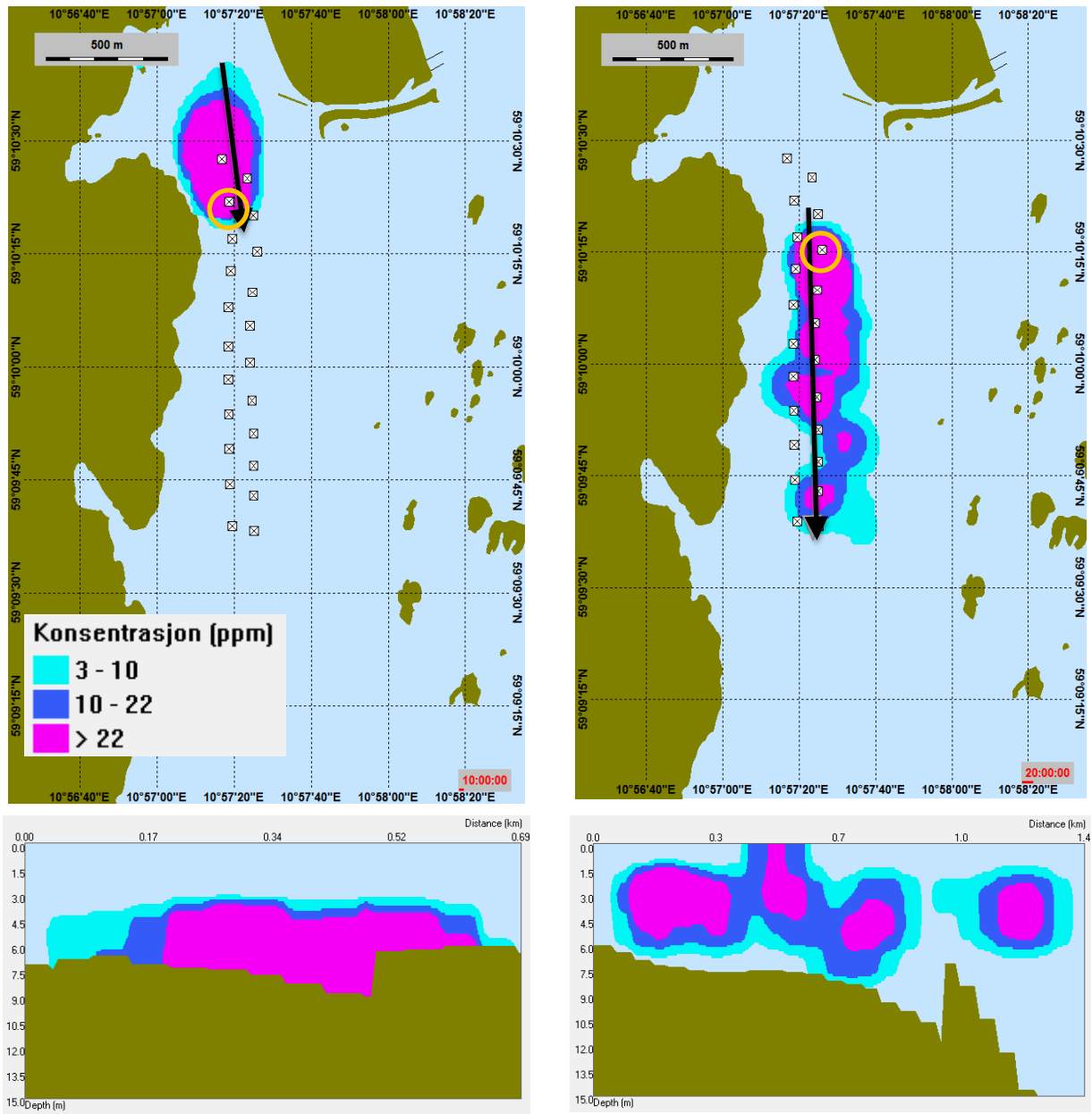


Figur B. 17 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med grabb i wire med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*

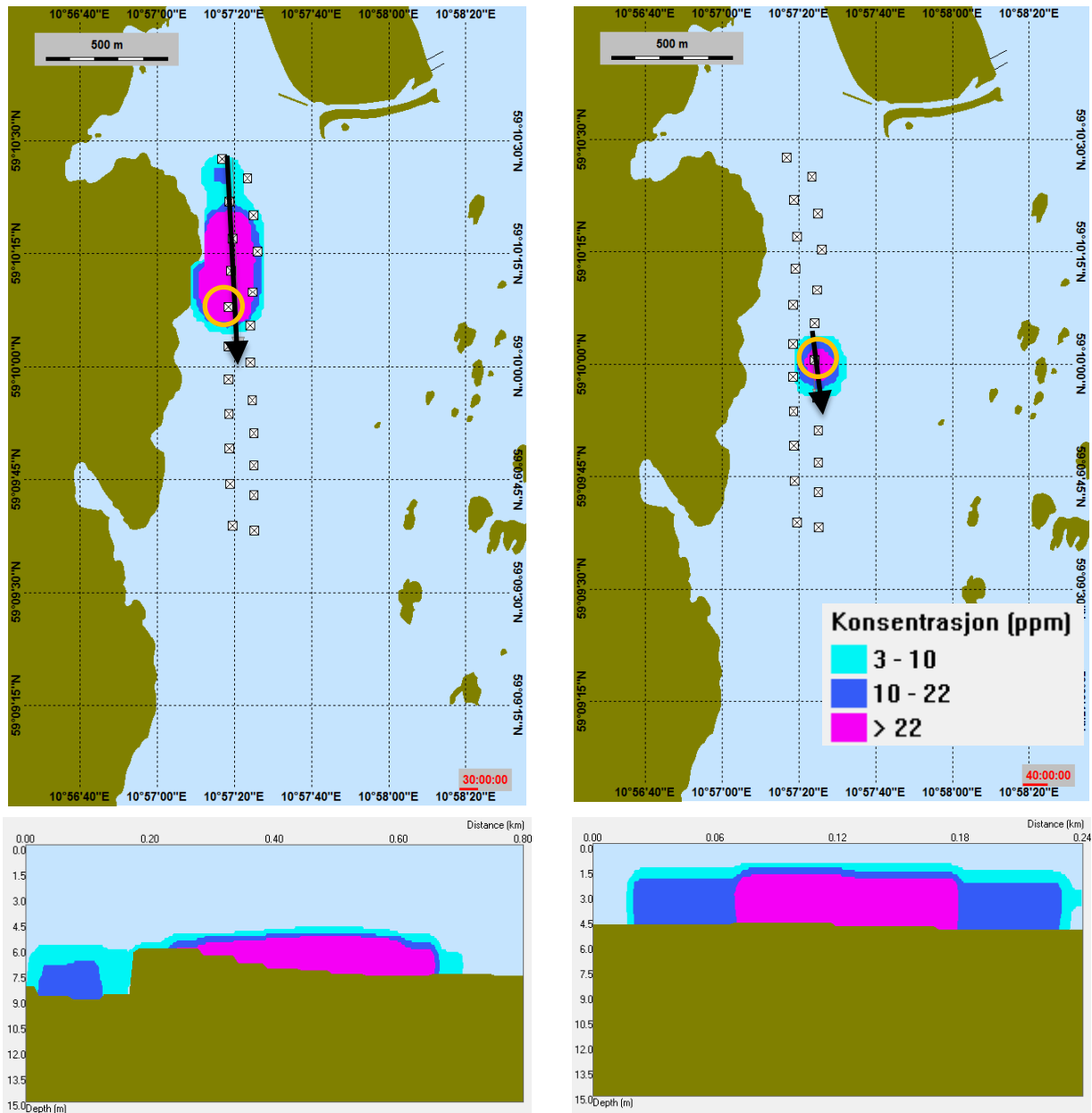


Figur B. 18 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgn (venstre) og 40 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med grabb i wire med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.

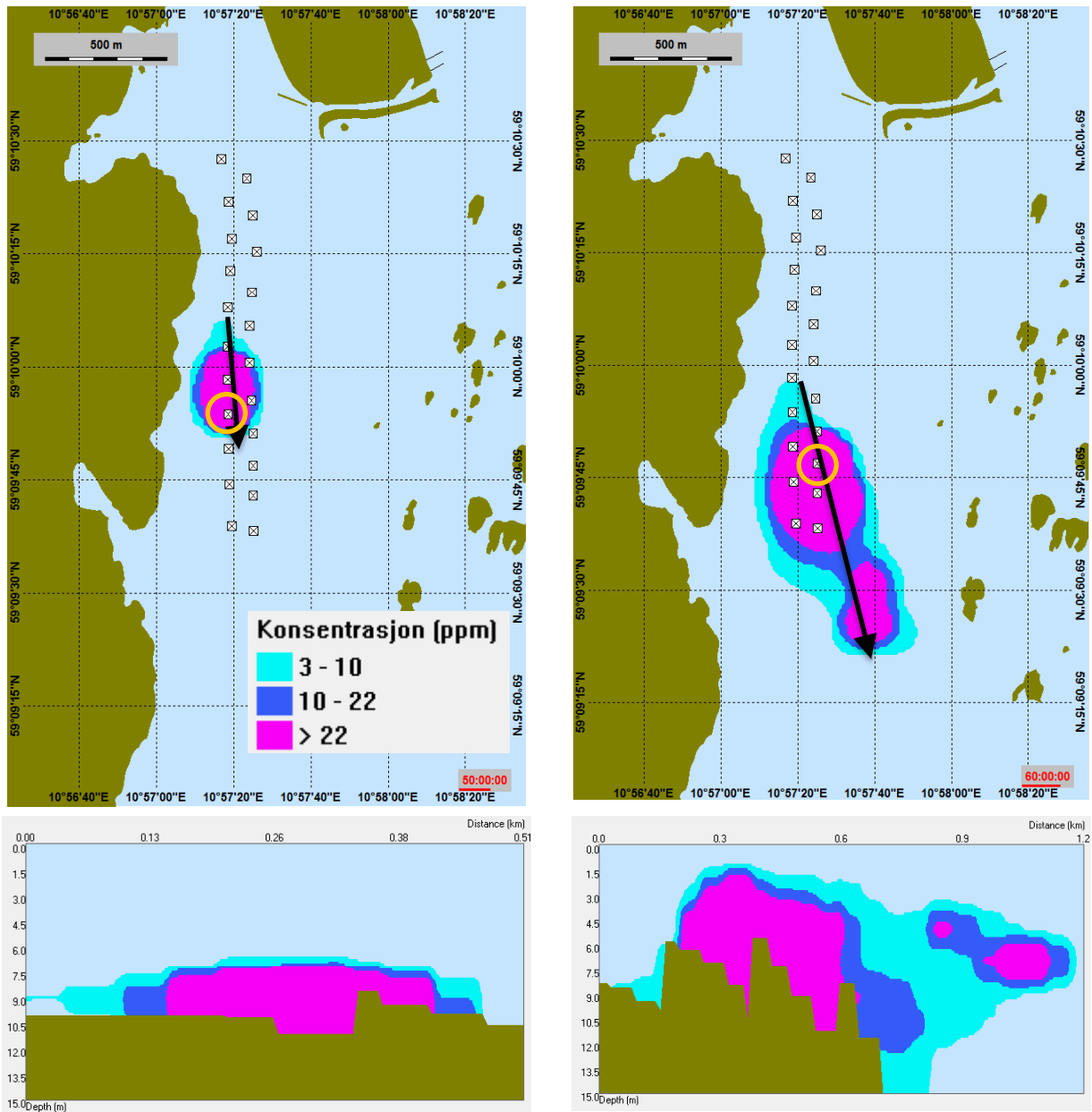
B.5 Sugemudring med liten sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 – 80 % konfidensintervall



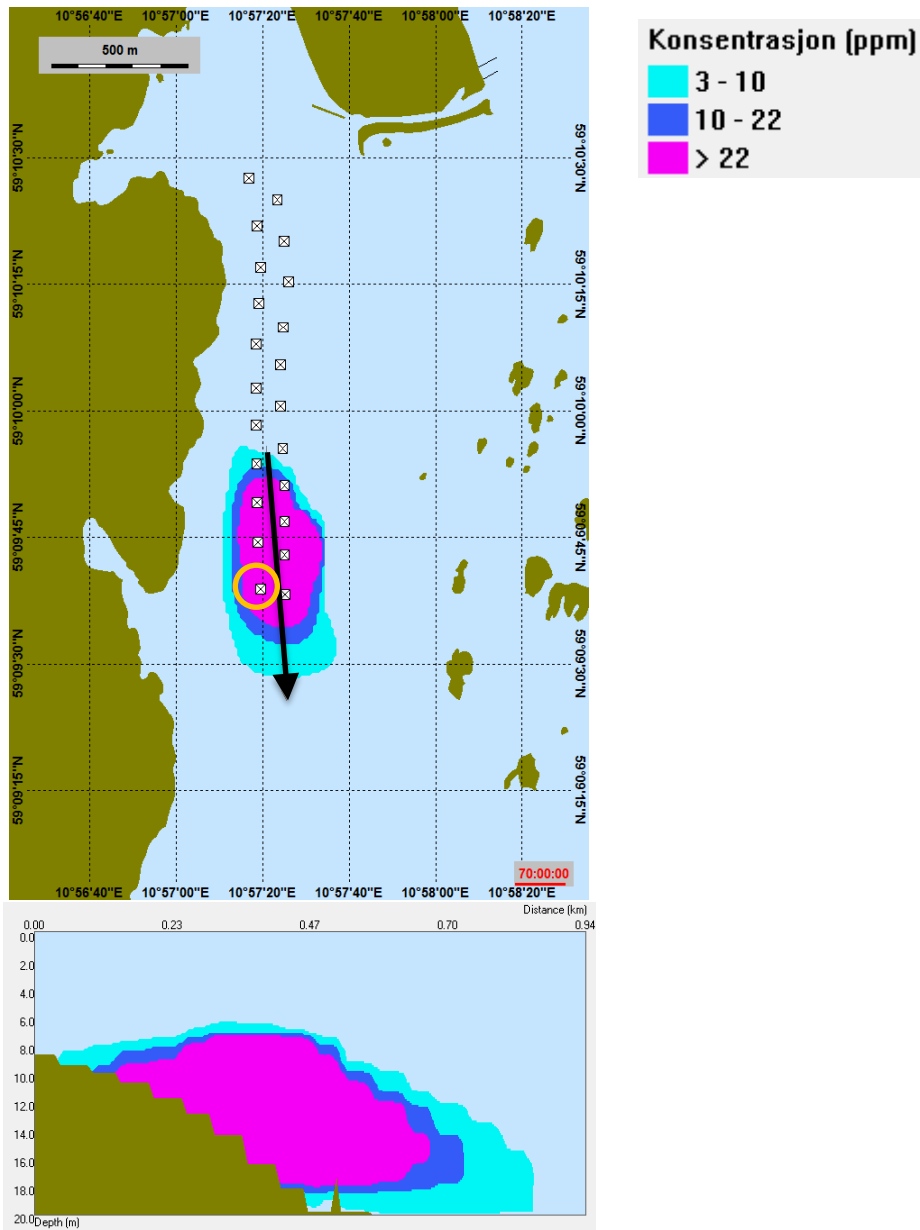
Figur B. 19 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med liten sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



Figur B. 20 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgn (venstre) og 40 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med liten sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.

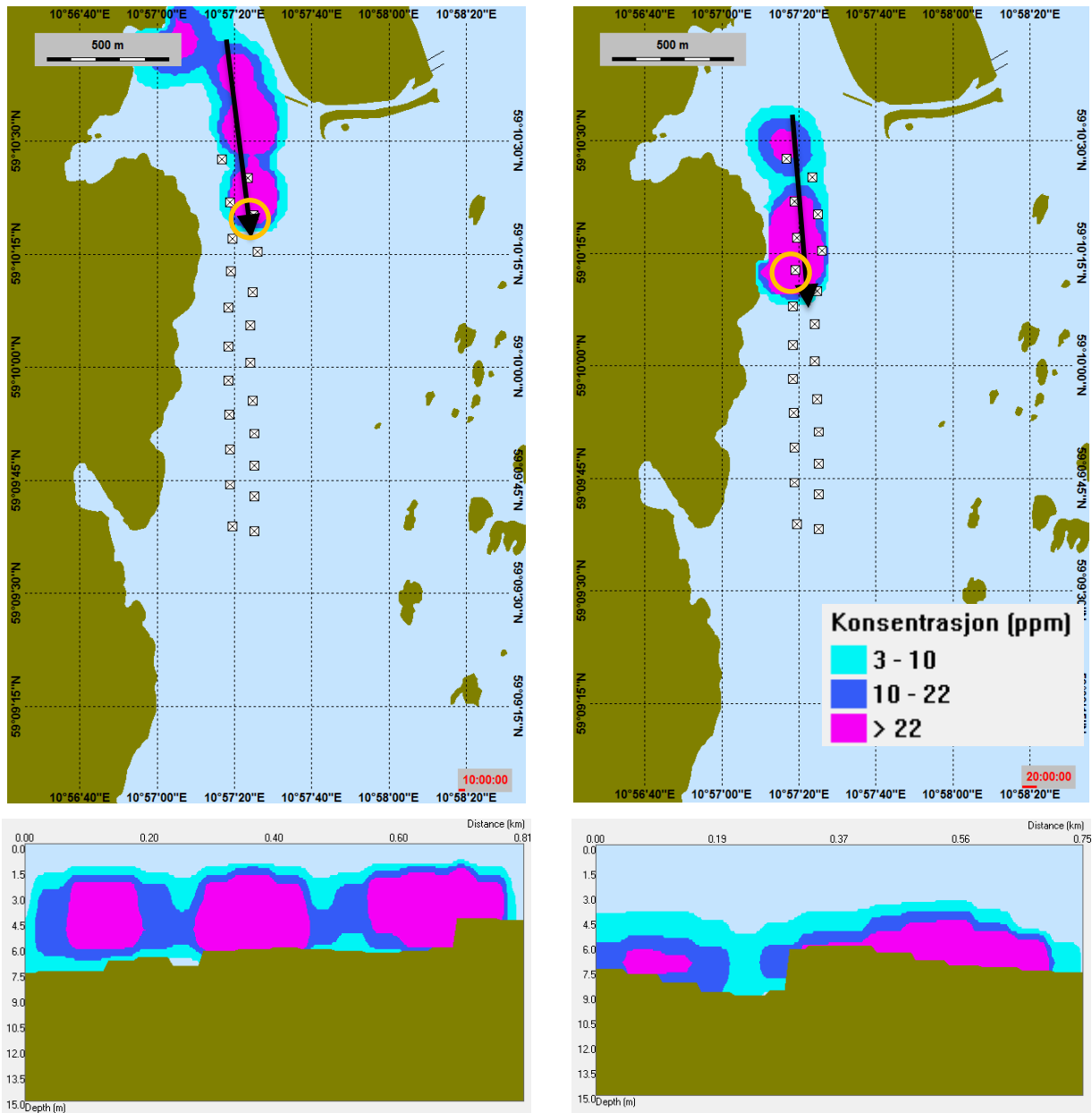


Figur B. 21 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgn (venstre) og 60 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med liten sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*

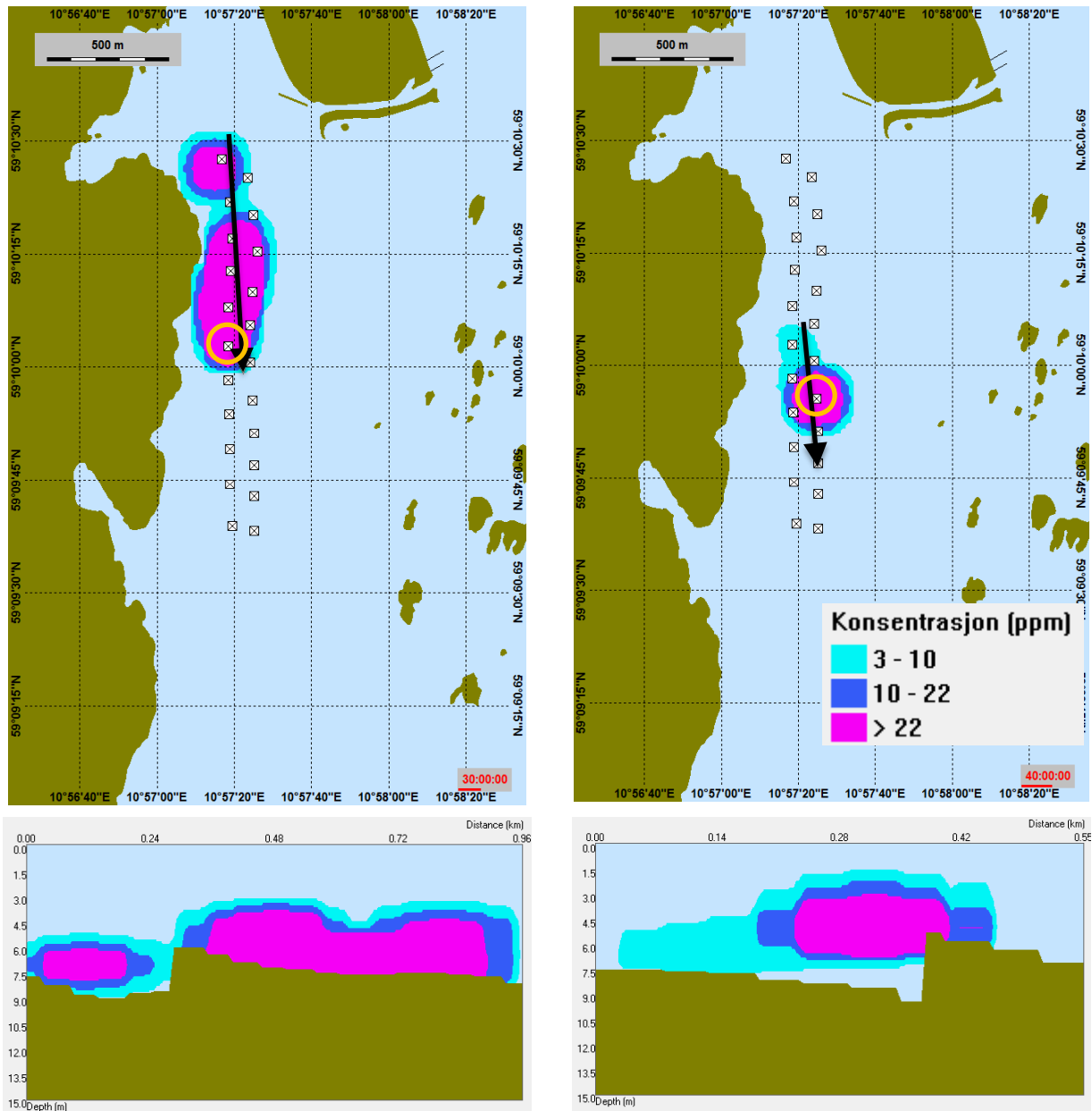


Figur B. 22 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 70 døgn inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med liten sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet..*

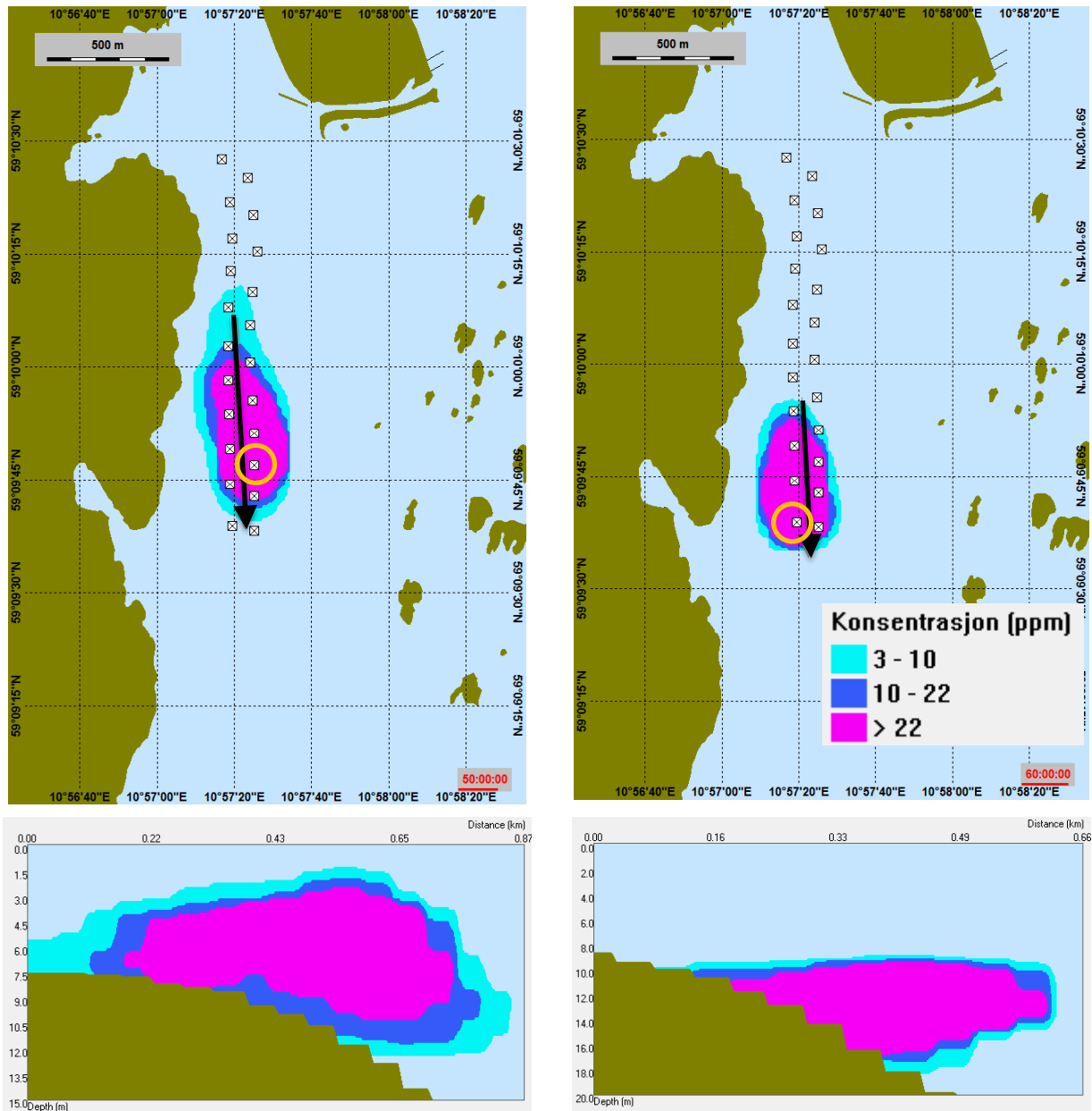
B.6 Sugemudring med liten sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 – 95 % konfidensintervall



Figur B. 23 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med liten sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*

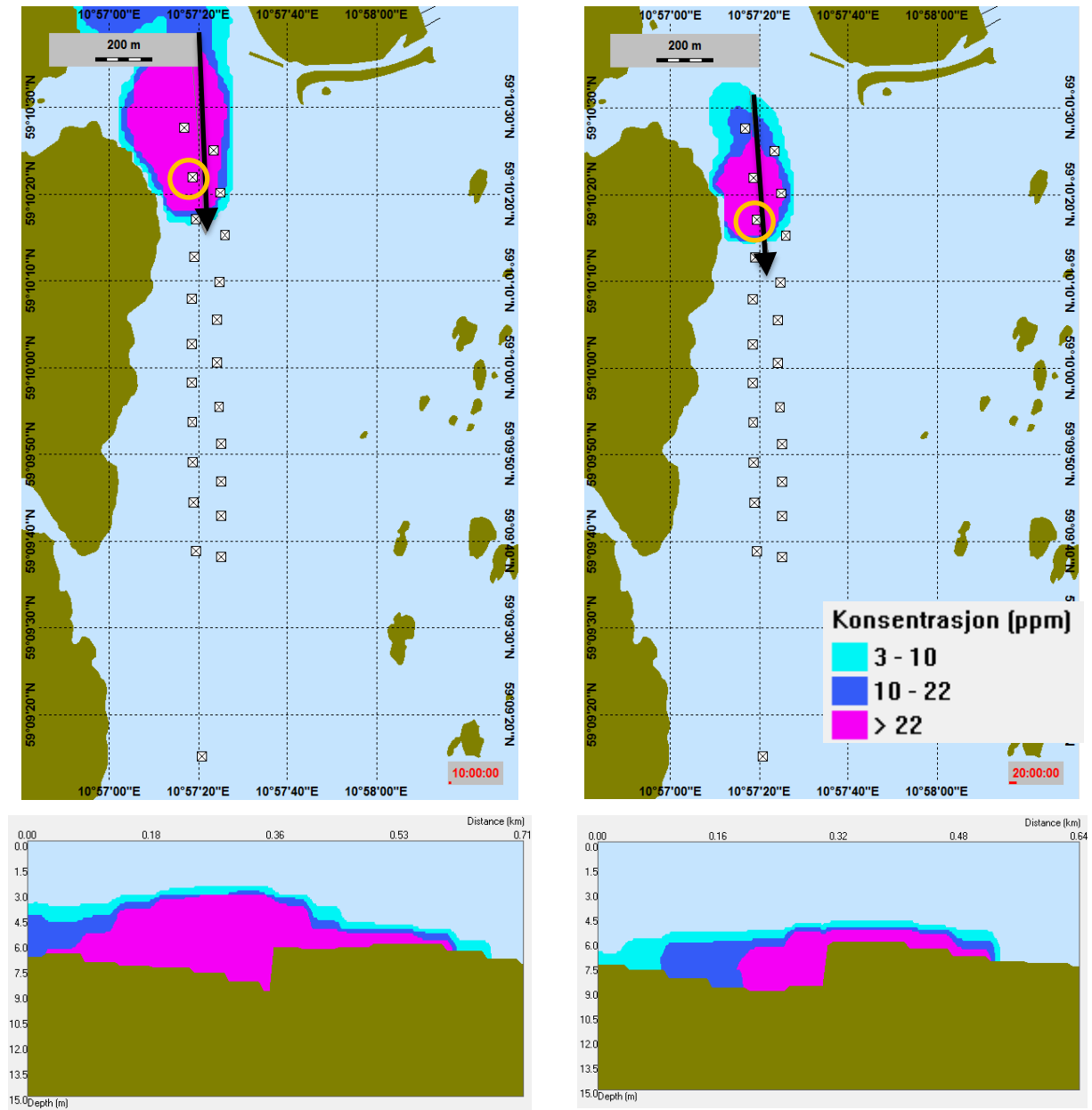


Figur B. 24 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgn (venstre) og 40 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med liten sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.

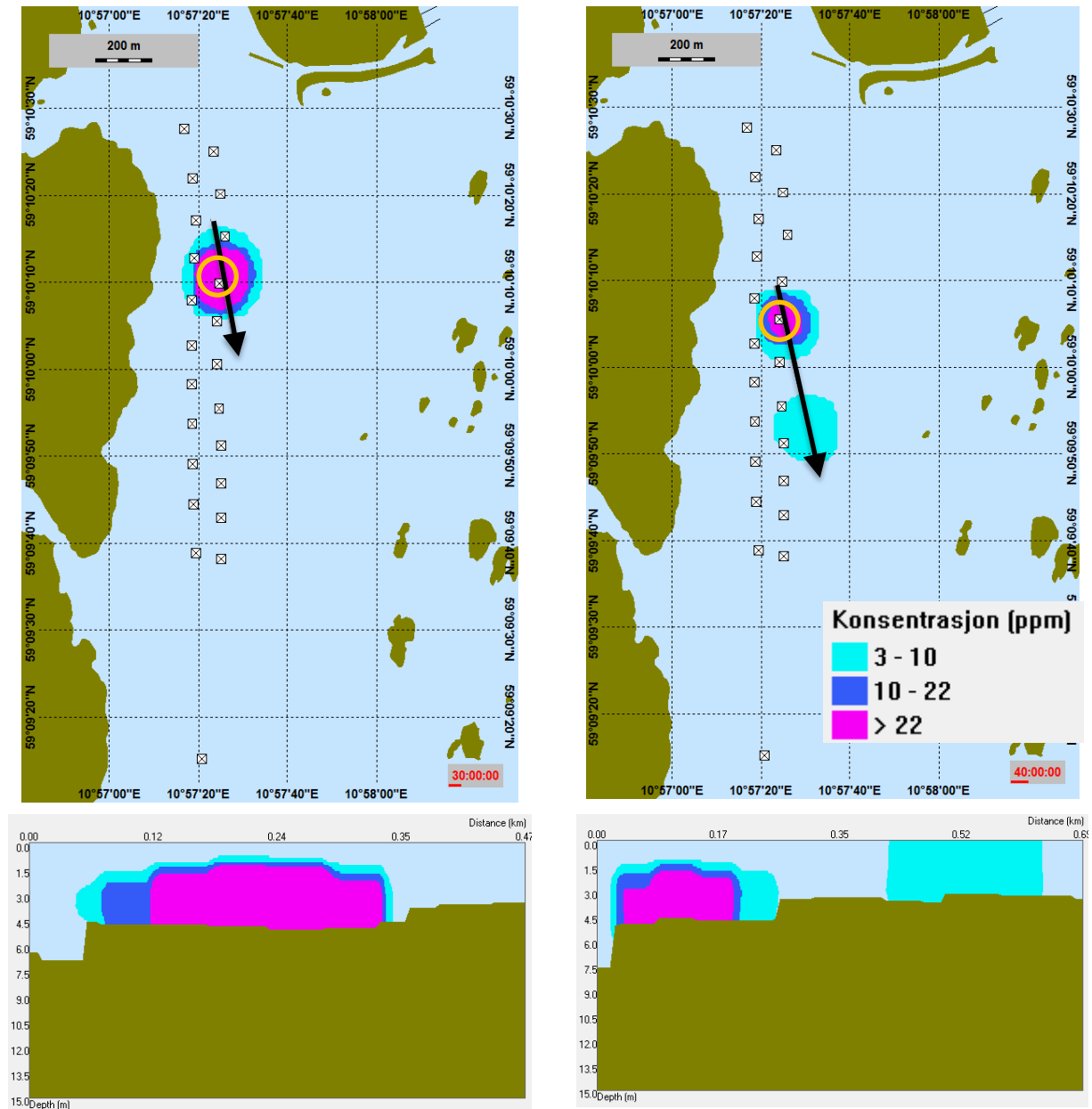


Figur B. 25 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgn (venstre) og 60 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med liten sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.

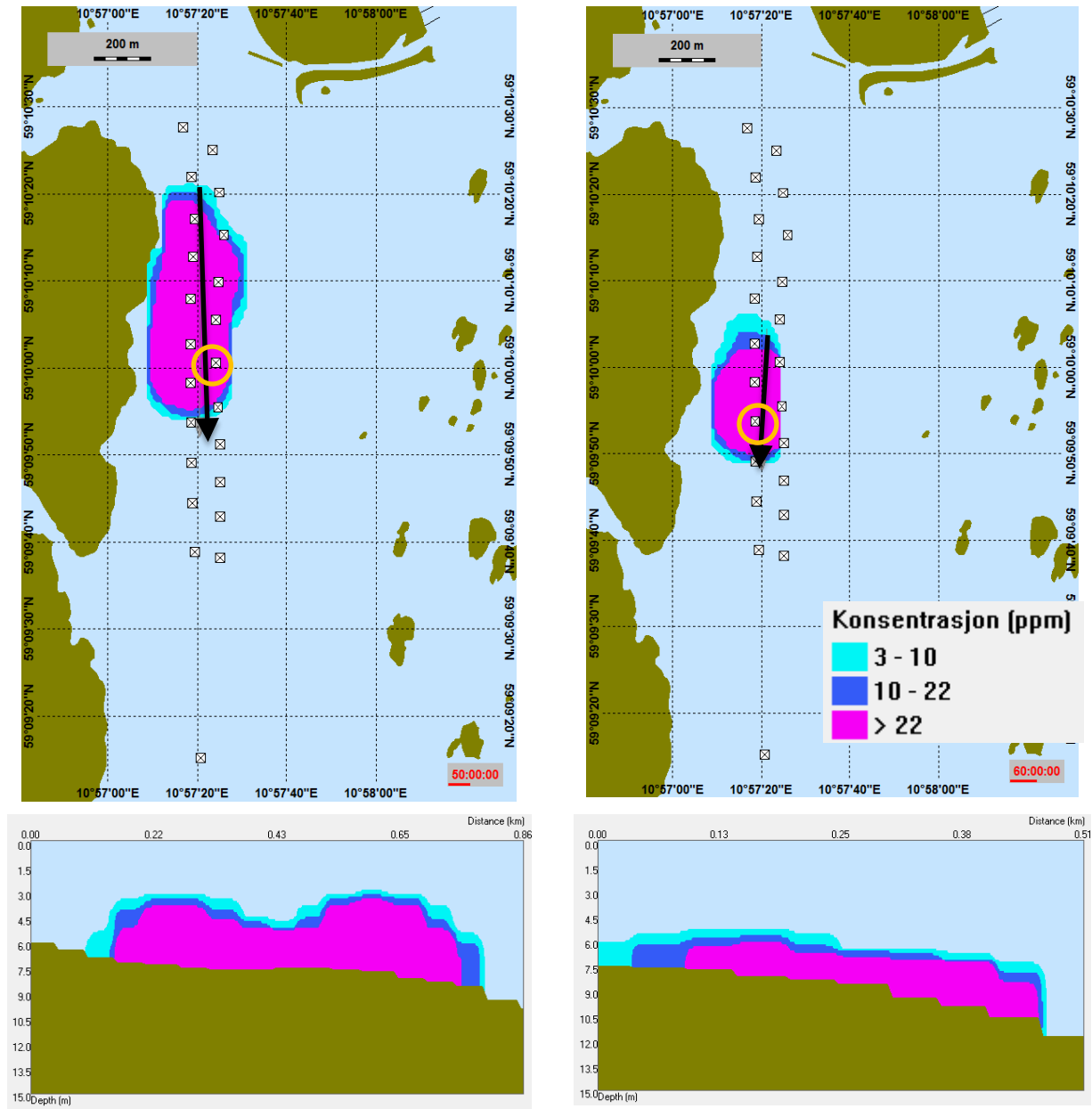
B.7 Sugemudring med stor sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen) – 80 % konfidensintervall



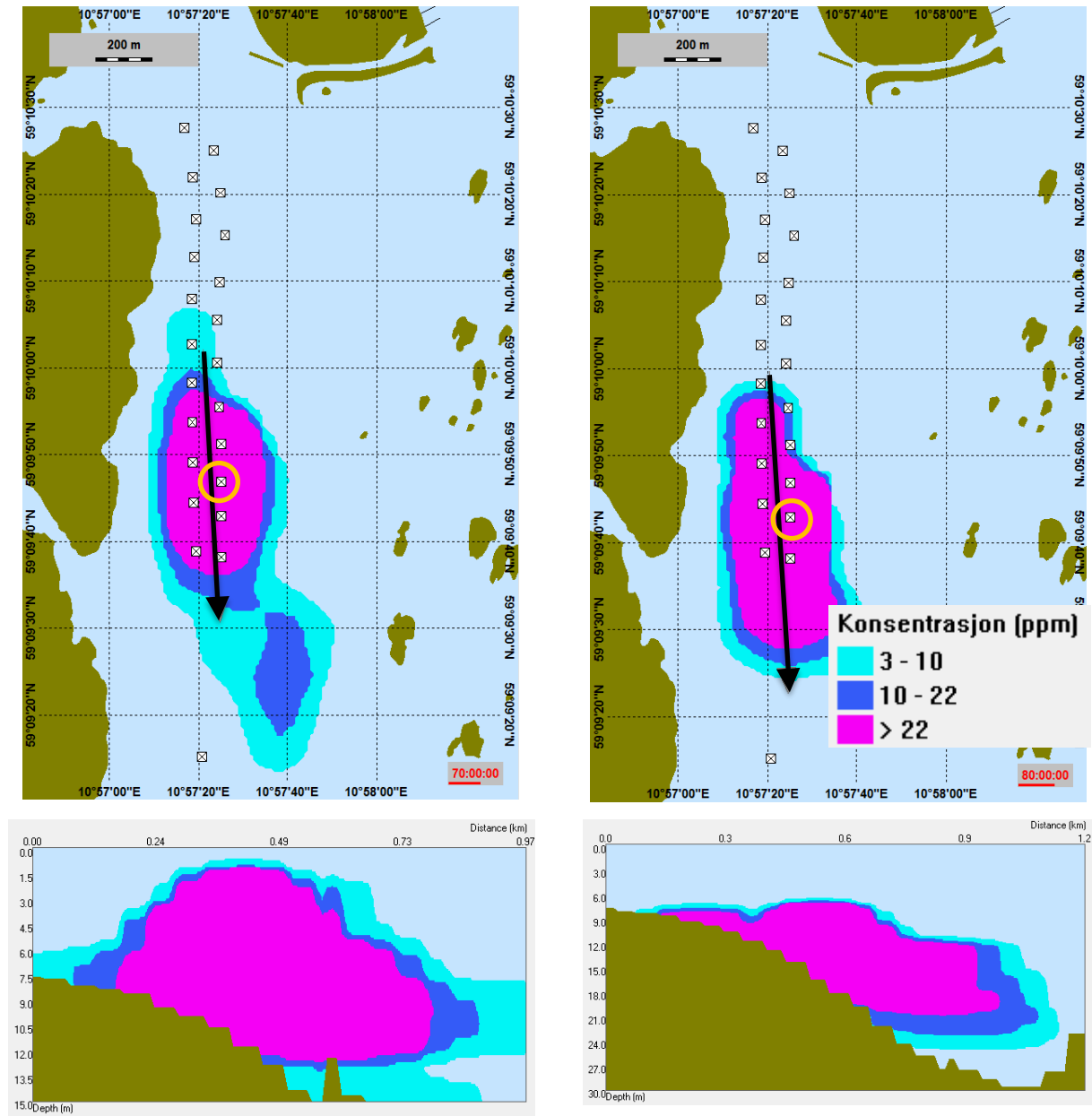
Figur B. 26 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



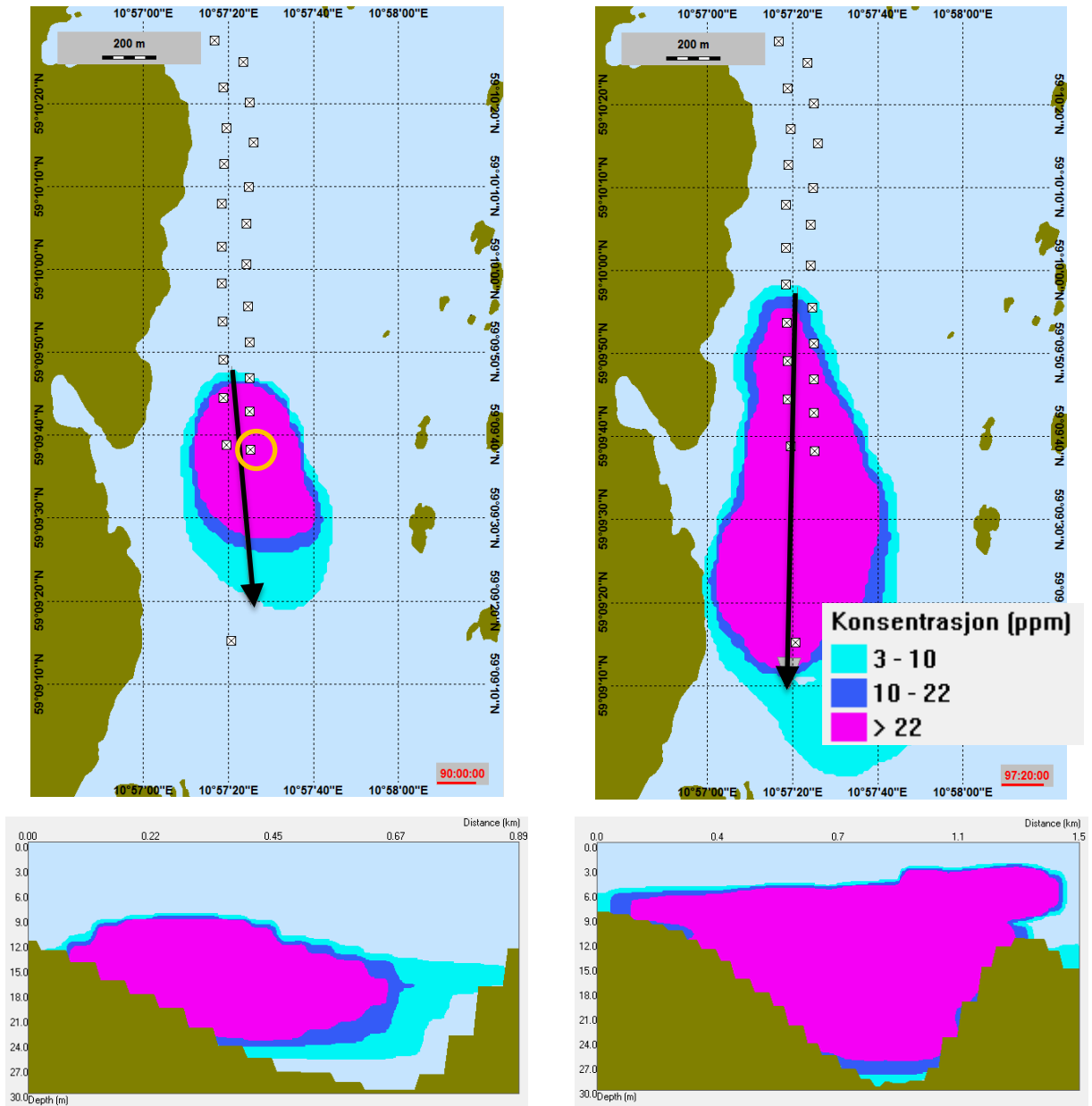
Figur B. 27 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgn (venstre) og 40 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.



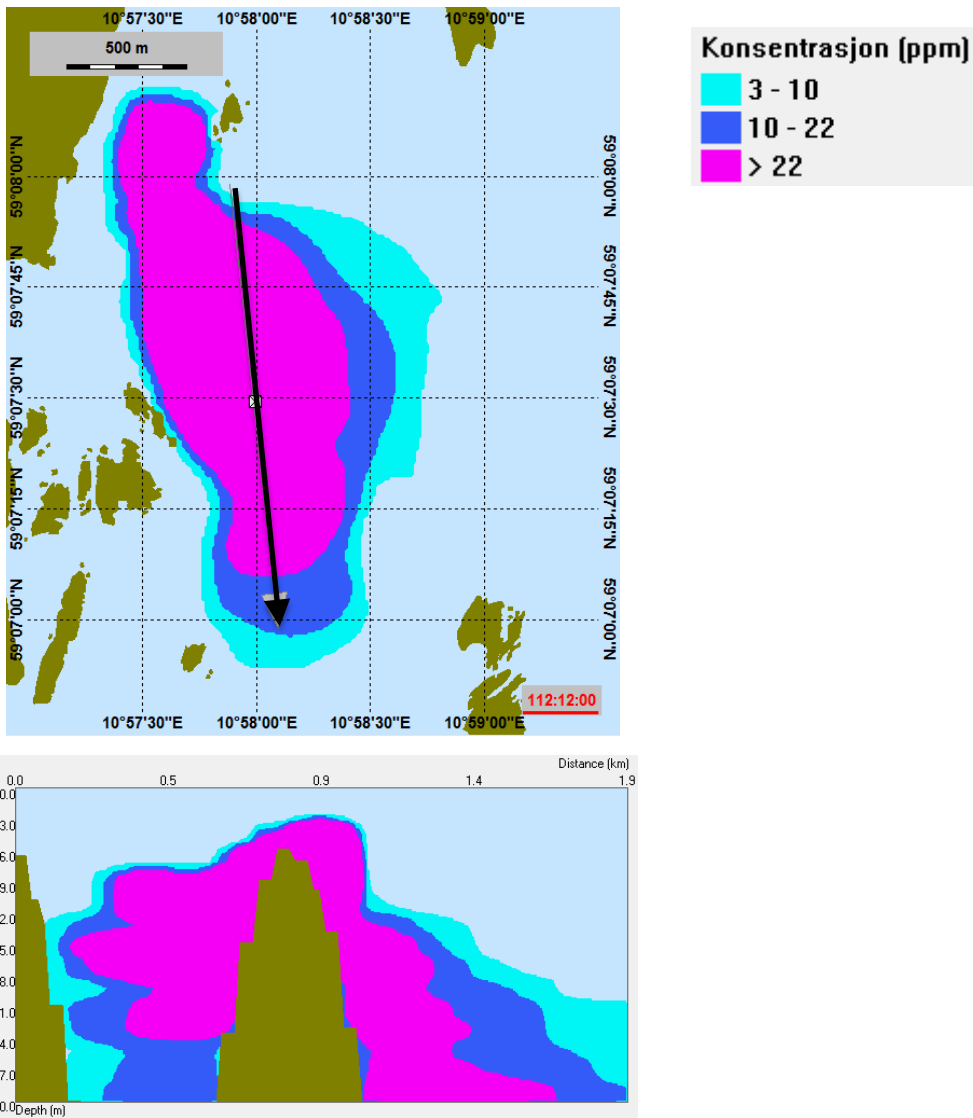
Figur B. 28 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgnet (venstre) og 60 døgnet (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



Figur B. 29 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 70 døgnet (venstre) og 80 døgnet (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*

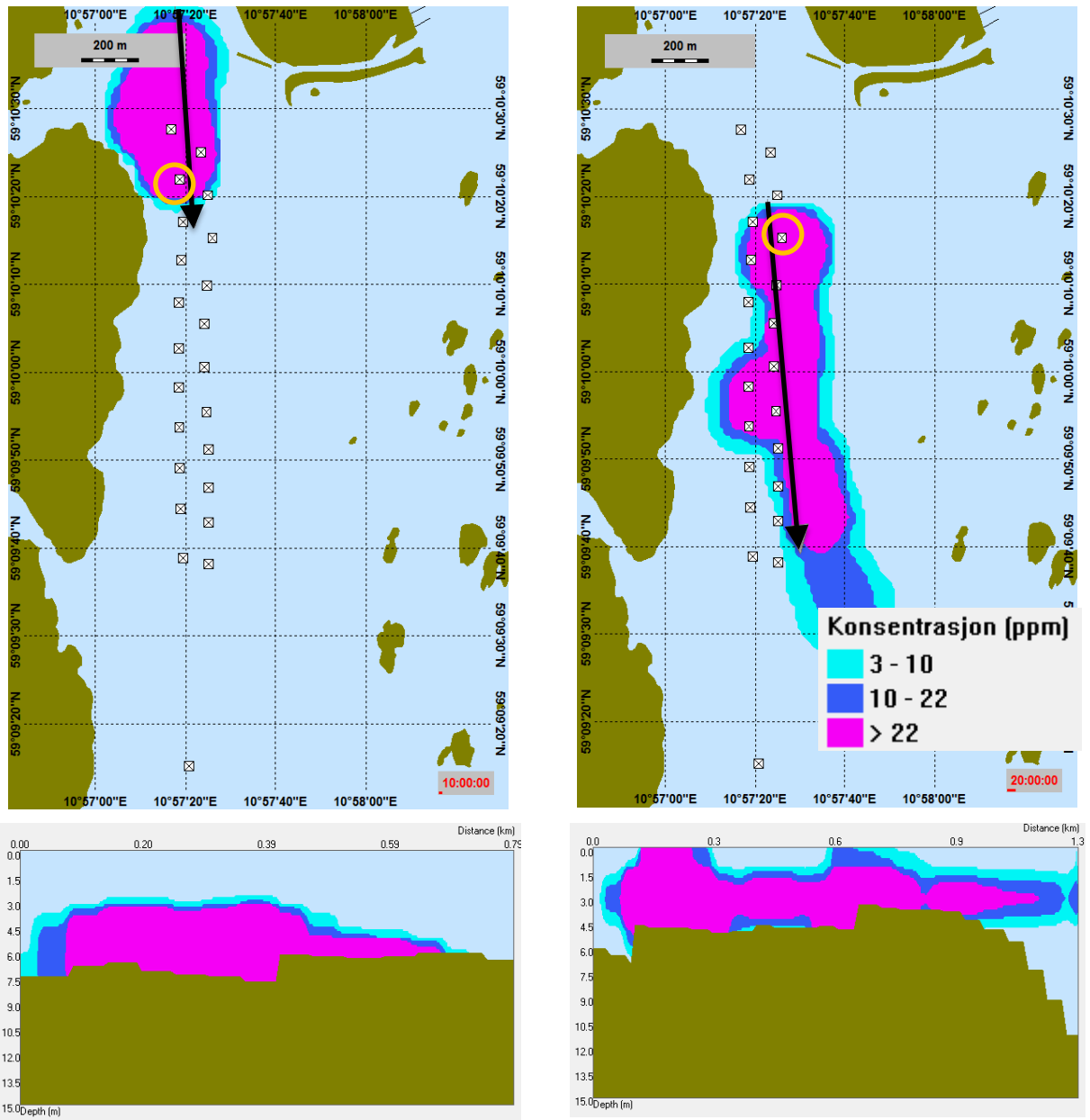


Figur B. 30 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 90 døgn (venstre) og 97 døgn, 20 timer (høyre) inn i mudreoperasjonen ved hhv Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen). Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 80 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.

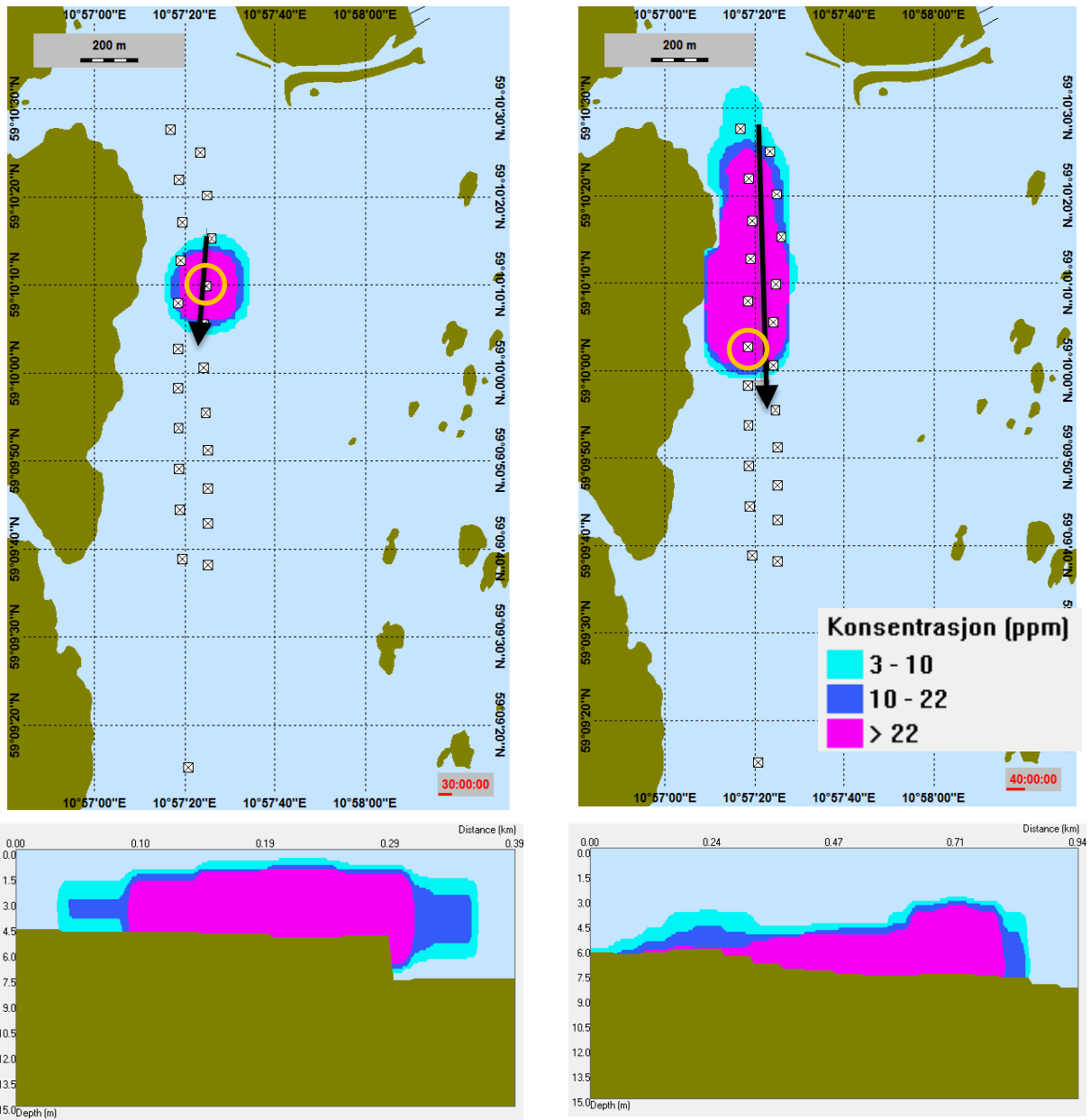


Figur B. 31 Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 112 døgn og 12 timer inn i mudreoperasjonen ved Borg 2 (Belgebåen). Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 80 % konfidensintervall.

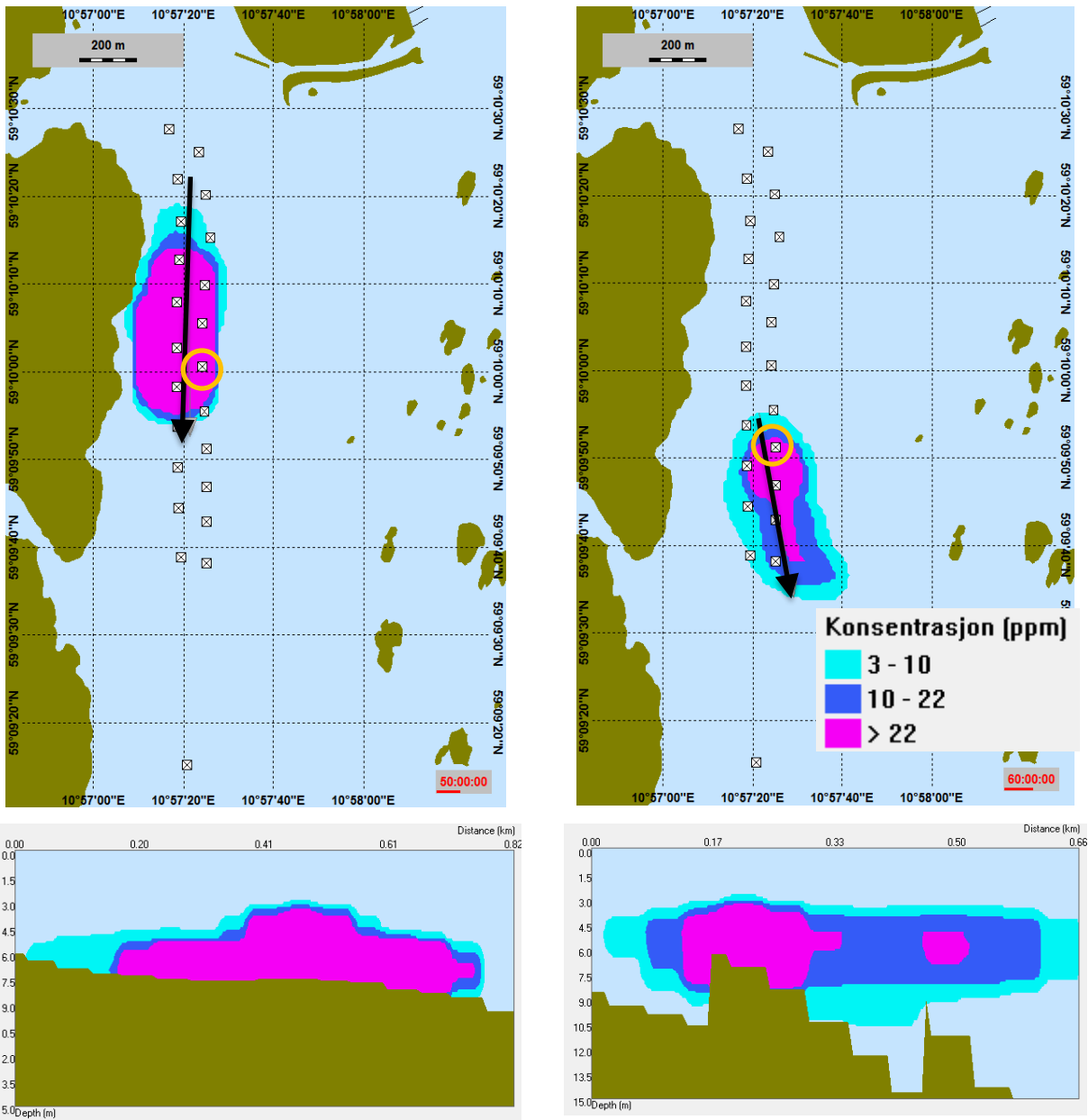
B.8 Sugemudring med stor sugemudrer av ikke-forurenset materiale ved Borg 1 og Borg 2 (Flyndregrunnen og Belgebåen) – 95 % konfidensintervall



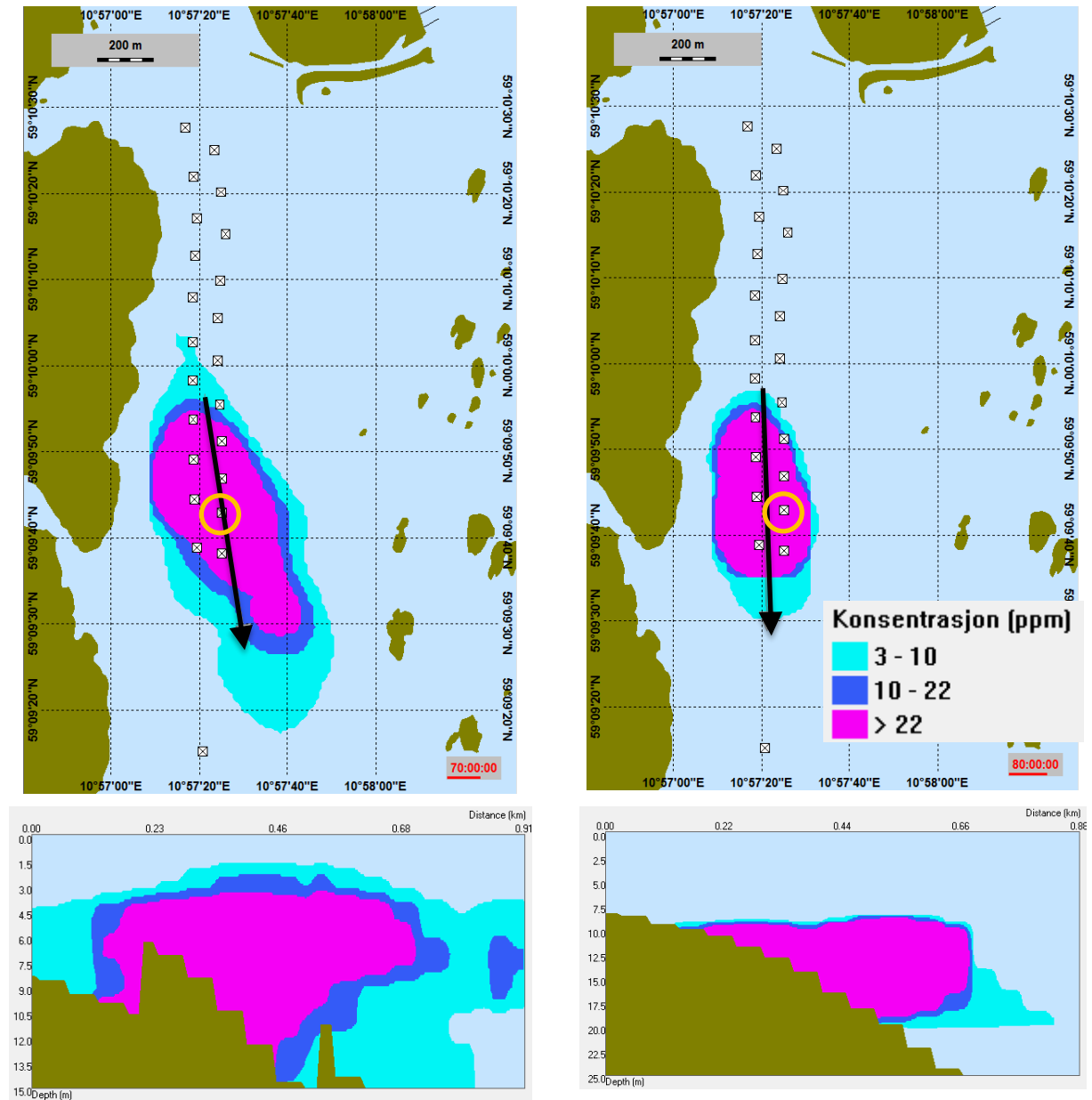
Figur B. 32 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 10 døgn (venstre) og 20 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



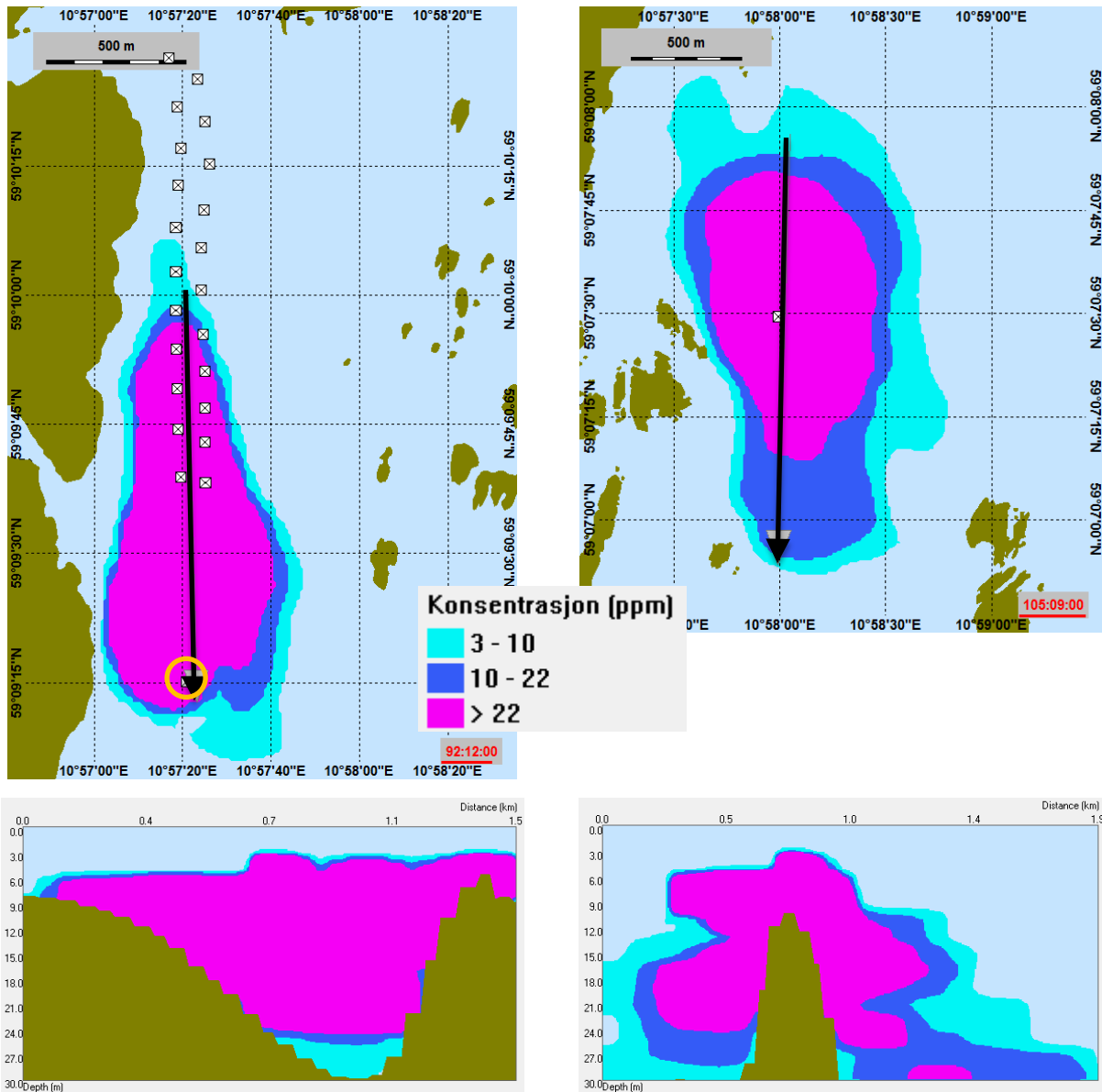
Figur B. 33 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 30 døgnet (venstre) og 40 døgnet (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet..*



Figur B. 34 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 50 døgnet (venstre) og 60 døgnet (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



Figur B. 35 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 70 døgn (venstre) og 80 døgn (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 1. Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurenset materiale mudret med stor sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*



Figur B. 36 *Maksimal partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen 92 døgn og 12 timer (venstre) og 105 døgn og 9 timer (høyre) inn i mudreoperasjonen ved Borg 2 (Flyndregrunnen til venstre og Belgebåen til høyre). Konsentrasjonen i tverrsnittet gitt av den svarte pila er vist i figuren til høyre. Ikke-forurensset materiale mudret med stor sugemudrer med 95 % konfidensintervall. Den hvite firkantene angitt av den oransje ringen viser den aktive mudrelokasjonen ved dette tidspunktet.*