

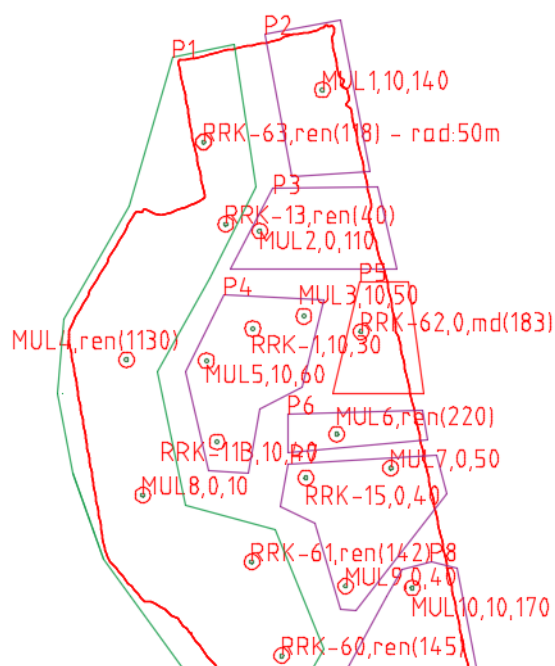
Beregnet til
Kystverket

Dokument type
Rapport

Dato
Mars, 2018

FARLEDSUTBEDRING BORG HAVN

OPPSUMMERING AV VOLUMBEREG- NINGER OG RESULTATER



OPPSUMMERING AV VOLUMBEREGNINGER OG RESULTATER

Prosjektnummer: 1110438
Prosjektnavn: Rammeavtale Kystverket - Røsvikrenna
Dokument nummer: 00
Fil navn: M-rap-057-1110438-Oppsummering av volumberegninger_rev00.docx

Revisjon:	00
Dato:	20.03.2018
Forfatter:	Ingvild Fladvad Størdal
Kontrollert av:	Tom Jahren
Godkjent av:	Tom Jahren
Kort beskrivelse:	Rapporten beskriver de ulike volumberegningene for tiltaksområdet i farleden inn mot Borg Havn.

Kystverket har jobbet med planlegging av farledsutbedring Borg havn de siste 10 årene. I prosjektet skal sedimenter med et miljøgiftinnhold tilsvarende tilstandsklasse I-III legges i dypvannsdeponi ved Møkka-lassen og Svaleskjær. Sedimenter som klassifiserer til tilstandsklasse IV-V skal legges i deponier på land. For å oppnå forutsigbarhet i prosjektet er forurensede sedimenter avgrenset og volumberegnet. Opp gjennom prosjektet har volumberegningene endret seg. Årsaken til disse variasjonene har både vært endringer i metodikk for volumberegninger og økt omfang av prøvetaking. Det har også blitt gjennomført en ny volumberegning som resultat av endringer av grenseverdier for miljøgiftinnhold i sediment.

Rambøll har utført sine volumberegninger i NOVAPOINT. Beregningene er basert på at hver sedimentkjerne som er tatt er tolket og gitt grunnlaget for et areal som får lik avgrensning av rene og forurensede sedimenter. Mellom arealene har nivåene for avgrensning mellom forurenset og rent blitt interpolert.

NIVA har utarbeidet en romlig modell av miljøgiftkonsentrasjonen i sedimentet som skal mudres. Denne baserer seg på resultatene fra miljøgiftanalysene som også er brukt i Rambølls 3D-modell. NIVA har beregnet volum sediment som skal mudres for Borg 1, samt for snuplassen Fuglevikbukta og Flyndregrunnen i Borg 2. I denne modellen er variasjon i miljøgiftkonsentrasjon håndtert som romlig variasjon i flere dybdelag.

I Sintef sine spredningsberegninger er NIVAs teoretiske volum for rent og forurenset sediment modifisert etter det som antas å være praktisk gjennomførbart og brukt som inngangsdata i spredningsmodellen DREAM (Dose related Risks and Effects Assessment Model).

Volumene er beregnet med ulike metoder og forutsetningene for de tre volumberegningene er ulike. Det er derfor ikke mulig å direkte sammenligne alle volumene. Det er i midlertid mulig å sammenligne enkelte summer. Sammenligningen av volum forurenset sediment beregnet for Borg 1 av Vant' Hoff og NIVA at Vant' Hoff's beregninger er konservative og ligger nære oppunder volumene forurenset sediment beregnet med 95% konfidens.

INNHALDSFORTEGNELSE

1.	INTRODUKSJON	1
1.1	Målsetting med rapporten	2
1.2	Kort beskrivelse av tiltaket	2
2.	METODE FOR VOLUMBEREGNINGER	5
2.1	Rambølls volumberegninger	5
2.2	NIVAs volumberegninger	6
2.3	Sintef og Van't Hoff's volumberegninger	8
3.	RESULTATER OG DISKUSJON	11
3.1	Rambølls volumberegninger	11
3.2	NIVAs volumberegninger	11
3.3	Sintef og Vant' Hoff's volumberegninger	13
3.4	Sammenhengen mellom volumene beregnet av NIVA og av Sintef og Vant' Hoff	13
4.	KONKLUSJON	15
	REFERANSER	15

VEDLEGG

1. INTRODUKSJON

I samsvar med *Kystverkets Handlingsprogram for perioden 2014 til 2023* (Kystverket, 2013) planlegger Kystverket å utbedre innseilingen til Borg Havn. Tiltaket består av utvidelse av farleden i bredde og dybde samt etablering av en ny snuplass i Fuglevikbukta. Tiltaksområdet er delt inn i to delprosjekter: Borg 1 og Borg 2 (Figur 1). Borg 1 tar for seg de nordlige delene av farleden som er Røsvikrenna og snuplassen i Fuglevikbukta, mens Borg 2 tar for seg den sørlige delen av farleden, det vil si grunnene fra Flyndregrunnen i nord til Duken i sør. Områdene som skal mudres i Borg 1 tilsvarer et areal på 672 000 m² og grunnene som skal mudres eller sprenges i Borg 2 tilsvarer et areal på 204 000 m². Grunnen som kalles Flyndregrunnen utgjør alene et areal på 55 400 m² av det som skal mudres i Borg 2. Til sammen omfatter tiltaket mudring av ca. 2,7 mill. m³ løsmasser, og sprengning av ca. 250 000 m³ fjell.

Massene som fjernes fra farleden skal legges enten i landdeponi hos FREVAR KF på Øra eller i sjødeponi ved Møkkalasset og Svaleskjær. Om massene skal legges i landdeponi eller sjødeponi er avhengig av konsentrasjonen av miljøgifter i massene. For å bestemme miljøgiftkonsentrasjonen i sedimentet er det tatt prøver av sediment langs tiltaksområdet. Etter analyse er konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentet klassifisert etter grenseverdier i *Miljødirektoratets veileder M-608/2016 Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota* (Miljødirektoratet, 2018). Grensene i veilederen klassifiserer sediment i fem tilstandsklasser ut fra konsentrasjonen av metaller og organiske miljøgifter.

De fem tilstandsklassene i M-608/2016 er:

1. Bakgrunn (tilstandsklasse, TK, I)
2. God tilstand (TK II)
3. Moderat tilstand (TK III)
4. Dårlig tilstand (TK IV)
5. Svært Dårlig tilstand (TK V)

Til foreliggende prosjekt er forurensete masser definert som masser med sediment i tilstandsklasse IV og V, mens rene masser er definert som masser i tilstandsklasse I-III. Forurensete masser er planlagt å legges i landdeponi, mens rene masser skal til sjødeponi.

Beregninger av volum rent og forurenset sediment

Det er nødvendig å kjenne volum rent og forurenset sediment for å kunne gjøre kostnadsoverslag og for å planlegge gjennomføring av mudringsarbeidet. Det er derfor gjort flere volumberegninger i forbindelse med arbeidet med tiltaket:

1. Rambøll har laget en 3D-modell over tiltaksområdet, med horisontale avgrensninger mellom rent og forurenset sediment. I denne modellen er det beregnet volum rent og forurenset sediment mellom avgrensningene. Siden 2011 er det utført flere volumberegninger. Rambølls volumberegninger er beskrevet i (Rambøll, 2018).
2. NIVA har utarbeidet en statistisk modell som beregner volum rent og forurenset sediment med 80% konfidensintervall og 95% konfidensintervall. NIVAs volumberegninger er beskrevet i (NIVA, 2018).
3. Sintef har, i samarbeid med det nederlandske mudre-selskapet Van't Hoff, beregnet volum rent og forurenset sediment som antas å mudres i praksis. Disse volumene er beregnet fra erfaringstall Van't Hoff har med fra tidligere mudreprosjekter og antatt behov for overmudring. Volumene er brukt som inngangsdata til Sintef sine beregninger av partikkelspredning. Sintef og Van't Hoff sine volumberegninger er beskrevet i (Sintef, 2018).

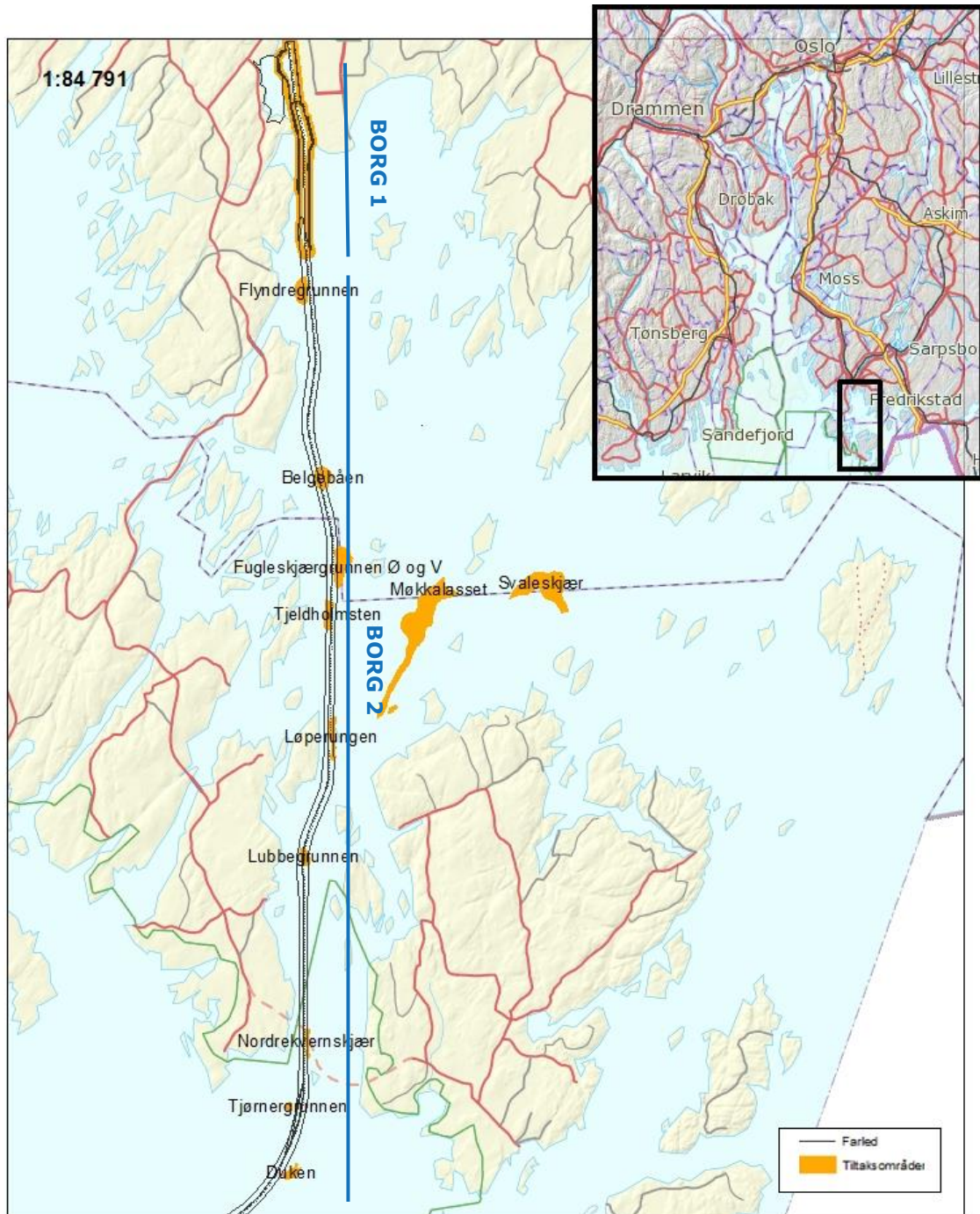
1.1 Målsetting med rapporten

Hensikten med foreliggende rapport er å beskrive metodikken bak de ulike volumberegningene og rapportere resultatene, det redegjøres også for forskjellen i metodikk mellom de ulike beregningene og hvorfor volumene som beregnes i de tre rapportene er noe forskjellige.

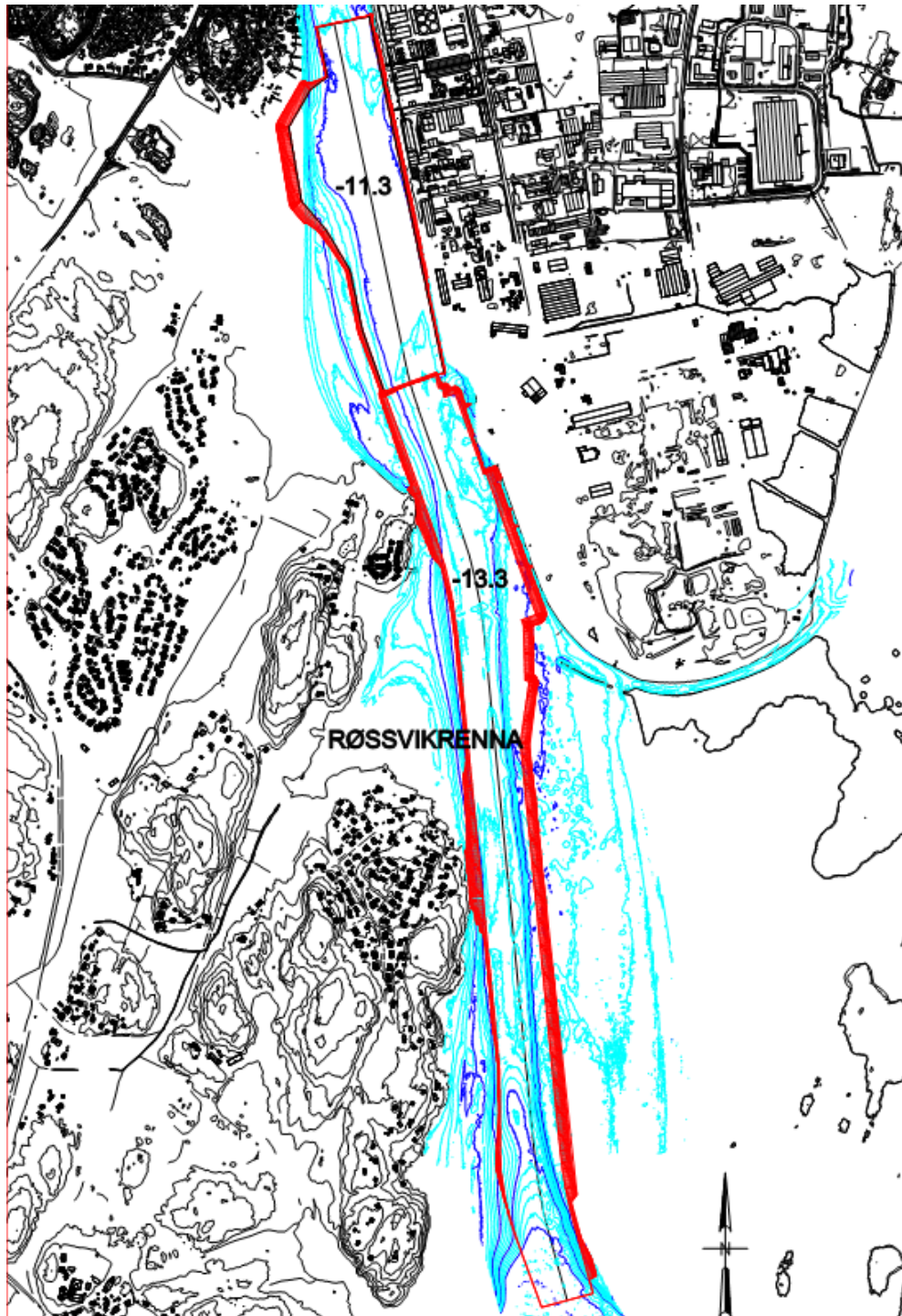
1.2 Kort beskrivelse av tiltaket

Tiltaket og området er beskrevet i detalj i andre rapporter (Rambøll, 2015). Nedenfor er det derfor kun gjengitt en kort oversikt.

Avgrensningene for tiltaksområdet i Borg 1 er vist i Figur 2. I Borg 1 skal det mudres til 11,3 meters vanddyb i den nordlige delen, ved snuplassen i Fuglevika og mot kaiene, mens det i den sørlige delen av Borg 1 skal mudres til 13,3 meters vanddyb. Grensen mellom 11,3 og 13,3 meters vanddyb er vist i Figur 2. I Borg 2 er det planlagt å mudre til mellom 13,3 og 16,3 meters vanddyb, avhengig av hvilken grunne det er snakk om. For Flyndregrunnen skal det mudres til 13,3 meters vanddyb. Planlagt mudringsdyb for øvrige grunner er beskrevet i tidligere (Rambøll, 2015).



Figur 1. Tiltaket som skal gi dypere og bredere farled inn mot Borg Havn strekker seg i sør fra grunnen kalt Duken til nord ved området kalt Fuglevikbukta. Tiltaksområdet er delt inn i to: Borg 1 og Borg 2. Borg 1 omfatter det som kalles Røsvikrenna og snuplassen Fuglevikbukta, Borg 2 omfatter grunnene Flyndregrunnen, Belgebåen, Fugleskjærgrunnen vest, Tjeldholmsten, Løperungen, Lubbegrunnen, Nordre Nordkvernskjær, Tjørnegrunnen og Duken. Sjødeponiene er lokalisert ved Møkkalasset og Svaleskjær.



Figur 2. Oversiktskart som viser avgrensningen til tiltaket i Borg Havn i Fuglevikbukta og Røssvikrenna som til sammen utgjør delprosjektet Borg 1. Leden slik den er planlagt per 15/11/2017 er markert med rødt omriss. Tykkelsen på omrisset varierer og er avhengig av høyde på graveskråningen.

2. METODE FOR VOLUMBEREGNINGER

Nedenfor er metodene som ligger til grunn for de tre volumberegningene grovt beskrevet. Alle metodene er beskrevet i detalj i de tre rapportene som det henvises til innledningsvis

2.1 Rambølls volumberegninger

Til Rambølls volumberegninger er det utarbeidet en 3D-modell som viser farleden og avgrensningen til tiltaksområdet. Det er beregnet volum for sediment som skal mudres i Borg 1 og for sediment og fjell som skal fjernes i Borg 2. I 3D-modellen er det lagt inn horisontale avgrensninger (flater) mellom rent sediment og forurenset sediment. De horisontale avgrensningene i modellen er laget basert på resultater fra miljøgiftsanalyser av sedimentkjernepøver. Konsentrasjonene av miljøgifter er analysert i delprøver av kjernene og klassifisert etter grenser gitt i M-608/2016 der TK I, II og III regnes som rent sediment, mens TK IV og V regnes som forurenset sediment. Delprøvene er tatt fra ulike dyp i sedimentkjernene.

Etter at det er lagt inn horisontale avgrensninger i 3D-modellen er følgende volum for rent og forurenset sediment beregnet:

- V_{TOT} = Totalt volum sediment som skal mudres
- V_F = Volum forurenset sediment
- V_R = Volum rent sediment
- V_L = Volum rent sediment i linser
- V_{R+F} = Volum rent + forurenset sediment

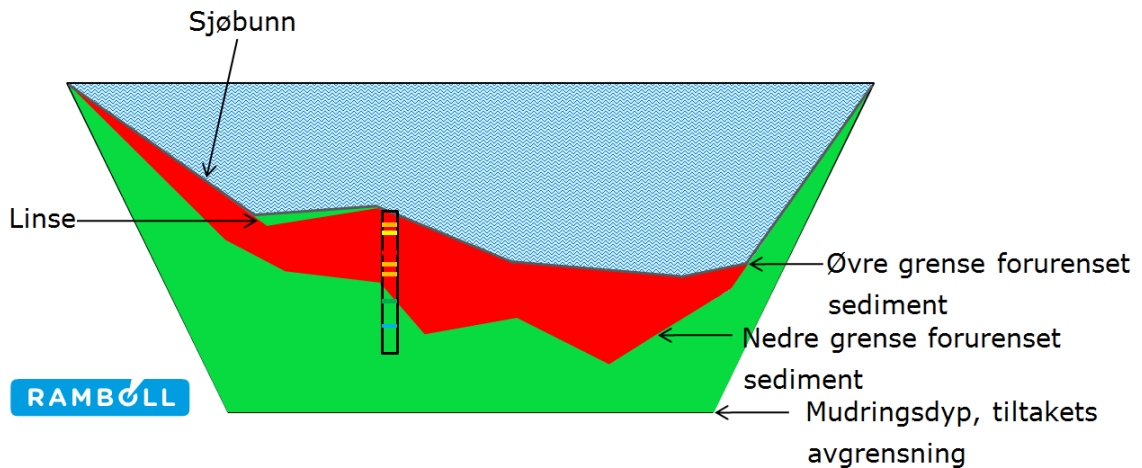
Volumene er beregnet mellom de horisontale avgrensningene i modellen, slik:

1. «Sjøbunn» til «Mudringsdyp, tiltaksområdets avgrensning»
Dette gir totalt volum sediment som skal mudres = V_{TOT}
2. «Øvre grense forurenset sediment» til «Mudringsdyp, tiltaksområdets avgrensning»
Dette gir rent og forurenset sediment, unntatt linsene = V_{R+F}
3. «Nedre grense forurenset sediment» til «Mudringsdyp, tiltaksområdets avgrensning»
Dette gir volum rent sediment, unntatt linsene = V_R
4. Videre er V_L funnet ved å trekke V_{R+F} fra V_{TOT} : $V_{TOT} - V_{R+F} = V_L$
5. V_F er funnet ved å trekke V_R fra V_{R+F} : $V_{R+F} - V_R = V_F$

Figur 3 viser en skisse av 3D-modellen over tiltaksområdet i Borg Havn. Tiltakets avgrensning er det samme som planlagt mudringsdyp. Dette er også lagt inn i 3D-modellen.

Prøvetakingen av sedimentkjerner er gjort i punkter fordelt innenfor tiltaksområdet i farleden inn til Borg Havn. I tillegg er analysene av miljøgiftkonsentrasjon gjort i 10 cm skiver av kjernene. Ut fra datagrunnlaget er dermed kjennskapen til miljøgiftkonsentrasjonen punktvis. For å lage avgrensninger mellom rent og forurenset sediment er den punktvis informasjonen ekstrapolert til områder der det ikke er tatt kjerneprøver, eller det ikke er gjort miljøgiftanalyser. I Rambølls 3D-modell er dette gjort manuelt, ut fra en faglig vurdering basert på miljøgiftanalyser, batyometri og strømningsmønster innenfor tiltaksområdet.

I noen punkter er kjernene for korte til å rekke helt ned til mudringsdyp. I disse tilfellene er det i Rambølls volumeregning antatt at sedimentet er forurenset ned til mudringsdyp. Hvilke områder det gjelder er vist i (Rambøll, 2018).



Figur 3. Prinsippskisse av et tverrsnitt av 3D-modellen som representerer tiltaksområde i Borg Havn hvor farleden skal gjøres bredere og dypere. Sedimentet er rent (farget grønn, tilstandsklasse (TK) 1-3 iht. Miljødirektoratets veileder M-608/2016) eller forurenset (farget rød, TK 4 og 5). Forurensningsmektheten er kartlagt i punkt med prøvetaking.

2.2 NIVAs volumberegninger

Ekstrapolering av den punktvis informasjonen fra kjerneprøvene er også gjort med bruk av statistiske metoder. NIVA har utarbeidet en romlig modell av miljøgiftkonsentrasjonen i sedimentet som skal mudres. Denne baserer seg på resultatene fra miljøgiftanalysene som også er brukt i Rambølls 3D-modell. NIVA har beregnet volum sediment som skal mudres for Borg 1, samt for snuplassen Fuglevikbukta og Flyndregrunnen i Borg 2. I denne modellen er variasjon i miljøgiftkonsentrasjon håndtert som romlig variasjon i flere dybdelag. Tiltaksområdet ble ut fra fordelingen av prøver og miljøgiftkonsentrasjonen i sedimentet delt inn i dybdelag, som følger: Sedimentet grunnere enn 2 meters sedimentdyp ble delt inn i dybdelagene 0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm, og 100-200 cm; mens sedimentet dypere enn 2 meter ble delt inn i 1 metersintervaller. Den romlige variasjonen i forurensning er modellert for hvert sedimentlag separat. Det er satt opp statistiske modeller for hvert dybdelag spesifisert over, og variasjonen i miljøgiftkonsentrasjon i z-planet er derfor ikke modellert. Forurensningen er kun avhengig av posisjonen i x- og y-retningen. I hvert dybdelag er sedimentet delt inn i 5×1×0,1 m store kuber.

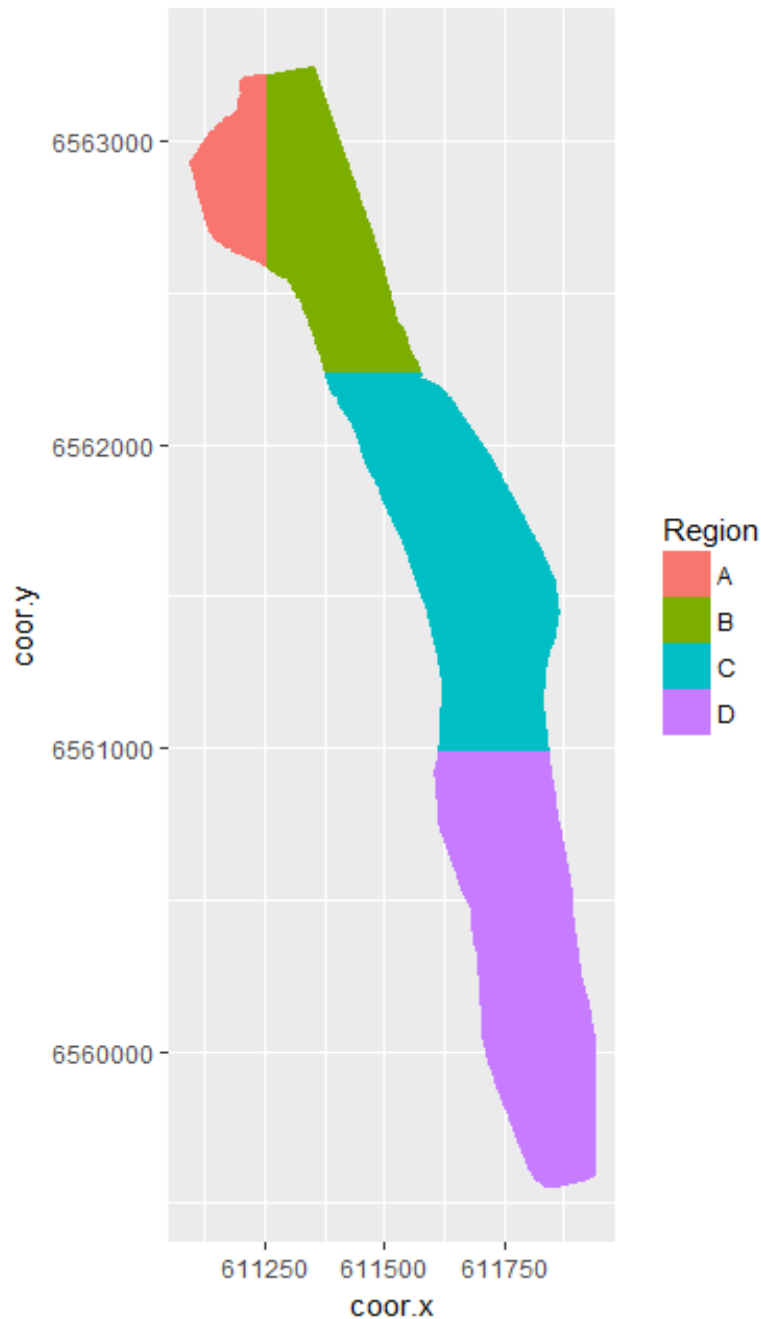
Deretter ble miljøgiftkonsentrasjonen i sedimentet regnet om til en \log_{10} -verdi av forholdet mellom konsentrasjonen som ble målt i sedimentet og grenseverdien som skiller rent og forurenset sediment, slik:

$$C_{\text{relativ}} = \text{Log}_{10}(x/\text{grenseverdi})$$

Når C_{relativ} er 0 er konsentrasjonen av forbindelsen i sedimentet tilsvarende grenseverdien for forbindelsen, verdier < 0 betyr at sedimentet ikke er forurenset mens verdier > 0 angir forurenset sediment. C_{relativ} ble bestemt for alle miljøgifter kvantifisert i sedimentprøven, men den miljøgiften som har høyest verdi for C_{relativ} er styrende for om sedimentet klassifiseres som forurenset eller ikke. Den høyeste C_{relativ} kalles $C_{\text{maxrelativ}}$.

Det er brukt to varianter av en generalisert lineær modell (GAM; Generalized additive modell) i hvert dybdelag. Det er verdien for $C_{\text{maxrelativ}}$ som er modellert i alle dybdelag. Denne verdien er modellert for de posisjonene der det ikke foreligger sedimentprøver. Dette gjøres ut fra de faktiske miljøgiftkonsentrasjonen som er kvantifisert i sedimentprøvene, som er lagt inn i modellen som C_{relativ} . For hver beregning er det også knyttet en verdi som sier noe om hvor riktig man kan anta at beregningen er. Fra denne verdien kan konfidensintervallet for $C_{\text{maxrelativ}}$ beregnes.

Volumet rent og forurenset sediment i tiltaksområdet er beregnet ved å telle opp antall kuber på $5 \times 1 \times 0,1$ m som ligger over/under ønsket konfidensnivå. I foreliggende prosjekt er volumet forurenset sediment beregnet for to konfidensnivå: 80% og 95%. Til NIVAs volumberegninger er tiltaksområdet for Borg 1 delt inn i fire områder: Område A, Område B, Område C og Område D. Disse områdene er markert i Figur 4.



Figur 4. Til NIVAs volumberegninger ble tiltaksområdet i Borg1 delt inn i fire områder: A, B, C, D. Figuren er hentet fra Sintefs rapport (Sintef, 2018).

Når volumene beregnet i NIVAs romlige modell ble sammenlignet med volumene beregnet i Rambølls 3D-modell ble det funnet at volumene beregnet av Rambøll var 4,689% høyere. Årsaken til avviket mellom de to volumberegningene er at det er brukt to ulike tilnærminger for å finne volu-

met rent og forurenset sediment. Fordi det er ønskelig å være konservativ i estimeringene av volum sediment som må håndteres fra mudringen ble derfor volumene rent og forurenset sediment beregnet i NIVAs romlige modell oppjustert med 4,689%.

2.3 Sintef og Van't Hoff's volumberegninger

Volum rent og forurenset sediment er videre brukt til å beregne spredning av partikler fra mudringen. I Sintef sine spredningsberegninger er NIVAs teoretiske volum for rent og forurenset sediment modifisert etter det som antas å være praktisk gjennomførbart og brukt som inngangsdata i spredningsmodellen DREAM (Dose related Risks and Effects Assessment Model).

Både Rambølls 3D-modell og NIVAs statistiske modell er utviklet uten å ta hensyn til hvordan det er praktisk mulig å gjennomføre mudringen i tiltaksområdet. For at spredningsberegningene skulle bli mest mulig riktige var det derfor nødvendig å vurdere hvordan mudringen skulle gjennomføres i de ulike områdene. Vurderingene tar hensyn til både egenskaper ved sedimentet: Batymetri, vanddyp og vertikal og horisontal fordeling av forurensningen, og egenskaper ved mulige mudringsmetoder. Siden arbeidet med mudringen skal ut på anbud er det ikke kjent i detalj hvilke metoder som skal benyttes. Vant' Hoff er et nederlandsk mudrefirma med erfaring med mudring. Vant' Hoff har gått gjennom tiltaksområdet og avgrensningene mellom rent og forurenset sediment og sett hvilke metoder som er best egnet til å bruke i de ulike områdene. Det er videre sett på hvordan disse metodene fungerer og hvor stort volum sediment som bør mudres fra hvert område for at man skal være sikker på at det forurensete sedimentet er fjernet.

Hensikten med Sintef sitt arbeid er å beregne konsentrasjonen av partikler i vannet, og hvordan disse spres over tid. Tiltaksområdet er derfor delt inn i scenarier, etter hvilken mudringsmetode som er egnet i området og om sedimentet som skal mudres er forurenset eller ikke. Spredningsberegningene er gjort for 8 ulike scenarier, 5 scenarier for mudring og 3 for deponering. Scenariene er beskrevet i Tabell 1. Disse 8 scenariene tar til sammen for seg alt som skal gjøres i arbeidet med å utvide farleden inn mot Borg Havn.

Tabell 1. Spredning og konsentrasjon av partikler er beregnet for 8 ulike scenarier i tiltaksområdet i Borg Havn. Scenariene er ikke fortløpende nummerert fordi de er nummerert etter rekkefølgen de er presentert i Sintefs rapport (Sintef, 2018; Tabell 6.2), scenario 1, 2, 3, 5 og 7 er mudring, mens scenario 4, 6 og 8 er deponering av de mudrede massene.

Nr.	Metode	Område	Sediment
Mudring			
1	Kran med lang rekkevidde	Snuplassen i Fuglevika	Forurenset
2	Bakgraver	Borg 1 + Flyndregrunnen (Borg 2)	Forurenset
3	Kran med grab i wire	Borg 1 + Borg 2	Ikke forurenset
5	Liten sugemudrer	Borg 1	Ikke forurenset
7	Stor sugemudrer	Borg 1 + Flyndregrunnen og Belgebåen (Borg 2)	Ikke forurenset
Deponering			
4a	Kran med grabb i wire	Møkkalasset	Ikke forurenset
4b	Kran med grabb i wire	Svaleskjær	Ikke forurenset
6a	Liten sugemudrer	Møkkalasset	Ikke forurenset
6b	Liten sugemudrer	Svaleskjær	Ikke forurenset
8a	Stor sugemudrer	Møkkalasset	Ikke forurenset
8b	Stor sugemudrer	Svaleskjær	Ikke forurenset

For å kunne beregne konsentrasjonen av partikler i vannet under arbeidet med mudring og deponering er det nødvendig å kjenne mengden masse som må håndteres i hvert av scenarioene. NIVAs volumberegninger danner grunnlaget for dette. Det er i midlertid gjort egne volumberegninger til hvert av de 8 scenarioene beskrevet i Tabell 1.

For hvert scenario er det beregnet partikkelkonsentrasjon og -spredning for NIVAs 80% og 95% beregninger av volum forurenset sediment fra de ulike områdene.

Volumberegningene som er gjort til Sintefs spredningsberegninger er gjort for hvert scenario separat og er gjort med utgangspunkt i de fire områdene presentert i Figur 4. Det er beregnet volum masser som må håndteres med utgangspunkt i areal av området og med utgangspunkt i volum rent/forurenset sediment som NIVA har beregnet at må mudres innenfor området. Beregningene er presentert i sin helhet i Vedlegg 1.

Det er to generelle påslag som er brukt for å regne om volumene fra NIVA til inngangsdata til bruk i Sintefs spredningsberegning:

- Alle areal er økt med en «mudrefaktor/usikkerhetsfaktor» på 10%
- Alle volumer for forurenset sediment er økt med en faktor på 4,689% for å ta hensyn til forskjellene i totalvolum for forurenset sediment beregnet i Rambølls 3D-modell og det som ble beregnet i NIVAs romlige modell

Det er gjort spesifikke volumberegninger for hvert scenario, som beskrevet nedenfor.

Scenario 1. Forurenset overflatesedimentet i område A

I dette scenarioet håndteres forurenset overflatesedimentet i område A, snuplassen i Fuglevikbukta. Antatt mudremetode er kran med lang rekkevidde, da det er svært grunt i dette området. Volum sediment er beregnet fra arealet som skal mudres (17 875 m²), samt at det er antatt at det må mudres til 0,3 m sedimentdyp for at alt forurenset sediment skal være fjernet. Med de to generelle påslagene resulterer dette i at 6 175 m³ forurenset sediment antas å ville bli mudret i dette scenarioet.

Scenario 2. Gjenværende forurenset sediment i område A, alt forurenset sediment i område B, område C, område D og Borg 2

I dette scenarioet håndteres gjenværende forurenset sediment i område A, samt alt forurenset sediment i område B, område C, område D og Borg 2. Dette sedimentet antas å mudres med bakgraver. I Vedlegg 1 er det gjort tre ulike beregninger for å finne volumet til dette sedimentet: 1) Område A og B, 2) Område C og Borg 2, 3) Område D og Flyndregrunnen.

Volumet sediment i disse områdene er hentet fra NIVAs beregnede volum for forurenset sediment for område A, område B, område C, område D og Borg 2. Disse volumene er økt med de to generelle påslagsfaktorene.

I tillegg er det for alle områdene lagt til et volum for overmudring i de ulike områdene. Dette er funnet ved å bruke arealet til området i overgangen mellom rent og forurenset sediment og anta at det er nødvendig med 0,25 m overmudring for å sikre at alt forurenset sediment fjernes.

Den beregnede overmudringen i de tre beregningene utgjør 31 100 + 20 104 + 13 022 m³, til sammen 64 225 m³ sediment. Volumet forurenset sediment i de tre beregningene utgjør 118 396 + 201 731 + 351 906 m³. Til sammen resulterer dette i at 736 258 m³ forurenset sediment antas å ville bli mudret fra disse områdene.

Scenario 3. Rent sediment som ligger grunnere enn 4,5 m i Borg 1 og grunnere enn 7 m i Borg 2

Det er foreslått å mudre det rene sedimentet som ligger grunnere enn 4,5 m i Borg 1 og grunnere enn 7 m i Borg 2 med en kran med grabb i wire. Til volumberegningene av dette er NIVAs

beregnete volum brukt, samt at det er lagt til 10% for den generelle mudrefaktoren/usikkerhetsfaktoren. Til sammen resulterer dette i et beregnet volum på 249 502 m³ rene sedimenter som skal håndteres.

Table 6.2 Description of the modelled scenarios. All volumes include over-dredging.

	Modelling scenario description	Area	Confidence level	Volume to be dredged/ discharged [m ³]	Volume free to disperse [m ³]	% free to disperse	Tonnes of solids free to disperse
1	Dredging of contaminated material with long reach crane	Borg 1	80 %	6 175	309	5 %	239
2	Backhoe dredging of contaminated material	Borg 1 and Borg 2 (Flyndregrunnen)	80 % 95 %	736 258 957 553	36 813 47 878	5 %	28.516 37.087
3	Dredging of non-contaminated material with wire grab crane up to -4.5m (Borg 1) and -7m (Borg 2)	Borg 1 and Borg 2	80 % 95 %	249 502 232 421	12 475 11 621	5 %	16.784 15.635
4	Discharge through diffuser after dredging of non-contaminated material with wire grab crane up to -4.5m (Borg 1) and -7m (Borg 2)	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
5	Trailing suction hopper dredging of non-contaminated material between -4.5 and -7 m	Borg 1	80 % 95 %	263 948 218 826	5 279 4 377	2 %	7.102 5.888
6	Discharge through diffuser after trailing suction hopper dredging of non-contaminated material between -4.5 and -7 m (Borg 1)	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
7	Trailing suction hopper dredging of non-contaminated material below -7 m (Borg 1) and Borg 2 (Flyndregrunnen and Belgebåen)	Borg 1 and Borg 2 (Flyndregrunnen and Belgebåen)	80 % 95 %	2 031 843 1 903 738	40 637 38 075	2 %	54.672 51.225
8	Discharge through diffuser after trailing suction hopper dredging of non-contaminated material below -7 m (Borg 1) and Borg 2 (Flyndregrunnen and Belgebåen)	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

Figur 5. Tabellen er hentet fra Sintef sin rapport (Sintef, 2018) som beskriver spredningsberegningene for tiltaket. Tabellen beskriver de 8 scenarier som spredning og konsentrasjon av partikler er beregnet for. Nummerering til venstre er lagt på i ettertid av Rambøll.

Scenario 4a og b. Deponering av rent sediment fra mudring med kran med grabb i wire

Til dette scenarioet er det ikke gjort noen beregninger, fordi volumet sediment som må håndteres i dette scenarioet er identisk med det som mudres i scenario 3: 249 502 m³ rene sedimenter.

Scenario 5. Rent sediment som ligger dypere enn 4,5 m og grunnere enn 7 meter

Det er foreslått å mudre rent sediment mellom 4,5 og 7 m dyp med en liten sugemudrer. Til volumberegningene av dette er NIVAs beregnede volum brukt, samt at det er lagt til 10% for den generelle mudrefaktoren/usikkerhetsfaktoren. Til sammen resulterer dette i et beregnet volum på 263 948 m³ rene sedimenter som skal håndteres.

Scenario 6a og b. Deponering av rent sediment fra mudring med liten sugemudrer

Til dette scenarioet er det ikke gjort noen beregninger, fordi volumet sediment som må håndteres i dette scenarioet er identisk med det som mudres i scenario 5: 263 948 m³ rene sedimenter.

Scenario 7. Rent sediment dypere enn 7m

Det er foreslått å mudre rent sediment dypere 7 m dyp med en større sugemudrer. Til volumberegningene av dette er NIVAs beregnede volum brukt, samt at det er lagt til 10% for den generelle mudrefaktoren/usikkerhetsfaktoren. Til sammen resulterer dette i et beregnet volum på 2 031 843 m³ rene sedimenter som skal håndteres.

Scenario 8a og b. Deponering av rent sediment fra mudring med større sugemudrer

Til dette scenarioet er det ikke gjort noen beregninger, fordi volumet sediment som må håndteres i dette scenarioet er identisk med det som mudres i scenario 7: 2 031 843 m³ rene sedimenter.

Vant' Hoff og Sintef har også beregnet hvor store volum med sediment som må håndteres for hvert av de 8 scenarioene ut fra NIVAs volumer beregnet med 95% konfidensintervall. Det er gjort spredningsberegninger både for volumene beregnet med 80% konfidensintervall og 95% konfidensintervall. Beregningene som ligger til grunn for spredningsberegningene for volumene fra 95% konfidensintervallet blir ikke gjennomgått i detalj i foreliggende rapport. Beregningene er i midlertid presentert i Vedlegg 1. Etter at det ble utarbeidet et utkast til Sintef sin spredningsrapport ble det klart at volumene beregnet med 80% konfidensintervall ble omtrent tilsvarende volumene beregnet med 95% konfidensintervall etter at det var lagt på 10% i usikkerhet og 4,689% for å ta høyde for forskjellen mellom Rambølls og NIVAs volum. Det ble med bakgrunn i dette bestemt at prosjektet går videre med volumene beregnet med 80% konfidensintervall.

3. RESULTATER OG DISKUSJON

Nedenfor er resultatene fra de ulike volumberegningene presentert. Det er også inkludert et avsnitt som diskuterer sammenhengen mellom NIVAs volumberegninger og volumene som brukes som inngangsdata til Sintefs spredningsberegninger.

3.1 Rambølls volumberegninger

Rambølls beregnede volum for rent og forurenset sediment, og fjell innenfor tiltaksområdet er presentert i Tabell 2. Totalt volum beregnet for Borg 1 er 2 193 726 m³, av dette utgjør 1 428 817 m³ rent sediment, mens 764 909 m³ er forurenset og 450 m³ er fjell. For Borg 2 er det totalt beregnet at 765 474 m³ sediment skal mudres, av dette utgjør 1 893 924 m³ rene sedimenter, mens 817 001 m³ regnes som forurensete sedimenter og 248 275 m³ er fjell.

Rambølls volumberegninger er ytterligere beskrevet i Rambølls rapport M-rap-55 *Farledsutbedring Borg havn Volum rent og forurenset sediment fra tiltaket – Metode og resultater* (Rambøll, 2018).

3.2 NIVAs volumberegninger

Resultatene fra beregningene av volum rent og forurenset sediment i NIVAs romlige modell er presentert i Tabell 3. Det er beregnet volum rent og forurenset sediment med 80% og 95% konfidens. Volumene er beregnet for tiltaksområde Borg 1 – Røsvikrenna og grunnen Flyndregrunnen i Borg 2. NIVAs beregninger viser at totalt volum forurenset sediment beregnet med 80% konfidens for Borg 1 er 573 076 m³, mens det med 95% konfidens er beregnet 757 029 m³ forurenset sediment. Volum forurenset og rent sediment er beregnet med 80% og 95% konfidens for områdene A, B, C og D (vist i Figur 4). Økningen i volum forurenset sediment er størst for område A mellom 80% og 95% konfidens. Økningen utgjør 69% for område A, mens den er 17%, 33% og 17% for område B, C og D, henholdsvis. Reduksjonen i volum rent sediment vil være tilsvarende for de fire områdene.

Det totale volumet forurenset sediment i Borg 1 er beregnet til 573 076 m³ med 80% konfidens og 757 029 m³ med 95% konfidens.

NIVAs romlige modell, statistikk og volumberegninger er beskrevet i detalj i rapporten Statistisk analyse av volum av forurenset sediment i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet kjemisk analysemateriale frem til 2017.

Tabell 2. Beregnede volumer (m³) for rent og forurenset sediment og fjell i tiltaksområdet i farleden inn til Borg Havn. Figuren er hentet fra Rambøll (2018).

Område		Vanndyp (m)	Rene sedimenter	Forurensete sedimenter	Fjell	Totalt volum
Røsvikrenna - Borg 1	Nordlig del inkl Fuglevikbukta	11,3	407 265	80 404		487 669
	Sørlige del	13,3	1 021 552	684 505	450	1 706 057
	Volum Borg 1		1 428 817	764 909	450	2 193 726
Grunner - Borg 2	Duken	16,3	8 870	0		8 870
	Tjørnergrunnen	16,3		0	6 698	6 698
	Nordre Kvernskjær	14,7		0	2 474	2 474
	Lubbegrunnen	13,5	6 056	0	39 876	45 932
	Løperungen	13,5	3 724	0	58 134	61 858
	Tjeldholmsten	13,5	15 906	0	9 985	25 891
	Fugleskjørgrunnen VEST	13,3	86 107	0	81 026	167 133
	Belgebåen	13,3	221 833	0	50 082	271 915
	Flyndregrunnen	13,3	122 611	52 092		174 703
Volum Borg 2		465 107	52 092	248 275	765 474	
Totalt volum Borg 1&2			1 893 924	817 001	248 725	2 959 200

Tabell 3. Volum rent og forurenset sediment beregnet i NIVAs romlige modell for tiltaksområdet i Borg Havn. Tallene er hentet fra NIVA (2018).

Volum beregnet med 80% konfidens	Volum per delområde (m ³)				Totalt volum (m ³)
	A	B	C	D	
Volum forurenset sediment					
Borg 1	5 575	103 252	183 392	280 858	573 076
Borg 2 Flyndregrunnen					39 057
Borg 1 + Flyndregrunnen					612 133
Volum rent sediment					
Borg 1	268 016	77 523	793 739	481 820	1 621 097
Borg 2 Flyndregrunnen					130 293
Borg 1 + Flyndregrunnen					1 751 390
Volum beregnet med 95% konfidens	Volum per delområde (m ³)				Totalt volum (m ³)
A	B	C	D		
Volum forurenset sediment					
Borg 1	18 150	124 318	274 226	340 336	757 029
Borg 2 Flyndregrunnen					42 066
Borg 1 + Flyndregrunnen					799 096
Volum rent sediment					
Borg 1	255 441	56 457	702 906	422 341	1 437 144
Borg 2 Flyndregrunnen					127 284
Borg 1 + Flyndregrunnen					1 564 428

3.3 Sintef og Vant' Hoff's volumberegninger

Det nederlandske mudreselskapet Vant' Hoff har bistått Sintef med å beregne volum sediment som vil mudres i praksis i tiltaksområdet. I disse beregningene er det tatt hensyn til behov for overmudring for å sikre at alt forurenset sediment er fjernet. Volumene sediment som er brukt som inngangsdata til Sintefs spredningsberegninger er presentert i Figur 4.

Tabell 4. Volum rent og forurenset sediment beregnet av Vant' Hoff til bruk i Sintefs spredningsberegninger for tiltaksområdet i Borg Havn. Tallene er hentet fra Sintef (2018).

	Volum sediment (m ³)					
	Borg 1				Borg 2	Totalt
	A	B	C	D		
Forurenset sediment						
Scenario 1	6 175					
Scenario 2			736 258			
Totalt volum forurenset sediment						742 433
Rent sediment						
Scenario 3			249 502			
Scenario 5			263 948			
Scenario 7			2 031 843			
Totalt volum rent sediment						2 545 293
Totalt volum rent og forurenset sediment						3 287 726

Beregningene er vist i Vedlegg 1, samt det de er beskrevet i detalj i Sintefs rapport Fairway to Borg harbour – modelling of dredging and discharging operations (Sintef, 2018).

3.4 Sammenhengen mellom volumene beregnet av NIVA og av Sintef og Vant' Hoff

Volumene beregnet i Rambølls 3D-modell og volumene beregnet i den romlige modellen til NIVA har ingen sammenheng utover at de beregner de samme volumene i det samme tiltaksområdet, men siden metodene som brukes i de to beregningene er ulike vil resultatene avvike. Når NIVAs resultater sammenlignes med Rambølls kommer det frem at NIVA sine volum er 4,689% lavere, dette er håndtert ved at volumene som brukes i Sintef sine spredningsberegninger er økt med 4,689%.

Vant' Hoff sine beregninger er gjort med bakgrunn i NIVA sine volum. Den stegvise fremgangsmåten fra NIVA sine volum beregnet med 80% konfidens til inngangsdataene til Sintef spredningsberegninger er vist i Tabell 5. Vant' Hoff's beregninger tar delvis utgangspunkt i arealet til området som skal mudres, samt at de er beregnet for scenarioer som ikke er delt opp på samme vis som områdene som det er beregnet mudrevolum for i NIVAs beregninger. Det er i midlertid mulig å sammenligne enkelte verdier, disse er beskrevet punktvis nedenfor:

- Det totale volumet beregnet for forurenset sediment i Borg 1. I Tabell 5 er dette på 742 434 m³, mens det i Tabell 3 er på 573 076 m³ og 757 029 m³ for volum beregnet med henholdsvis 80% og 95% konfidens. Påslagene som er gjort for å håndtere mudringen gjøres dermed at volumet forurenset sediment som mudres fra Borg 1 er nærmere volumet beregnet med 95% konfidens, enn det som er beregnet med 80% konfidens. Inngangsdataene og Sintefs spredningsberegninger er derfor konservative beregninger av spredning og konsentrasjon av partikler fra arbeidet med tiltaket.

Tabell 5. Tabellen nedenfor viser den stegvise fremgangsmåte fra NIVAs beregnede volum for sediment som må håndteres i de ulike tiltakene (kolonnen merket NIVA) via korreksjonsfaktoren som er lagt til fordi det var avvik mellom Rambøll og NIVAs beregninger (kolonnen merket korreksjonsfaktor NIVA vs Rambøll (4,689%)), usikkerhetspåslaget på 10%, og et påslag i volum fra overmudring til det som er brukt som inngangsdata i Sintefs spredningsberegninger (kolonnen merket SUM TOTAL). Den siste kolonnen er summen av volumene i kolonnen merket Totalt Borg 1 og Totalt Borg 2.

	BORG 1				Totalt Borg 1	BORG 2				SUM TOTALT
	NIVA	Korreksjonsfaktor NIVA vs Rambøll (4,689%)	Usikkerhetspåslag (10%)	Overmudring		NIVA	Usikkerhetspåslag (10%)	Overmudring	Totalt Borg 2	
Forurenset sediment										
Scenario 1	1 141			5 035	6 176	0				6 176
Scenario 2 - beregning 1	102 812	107 633	10 763	31 100	149 496	0				
Scenario 2 - beregning 2	175 178	183 392	18 339	20 104	221 835	0				
Scenario 2 - beregning 3	295 106	308 944	30 894	12 207	364 927	39 057	3 906	814	43 777	
Totalt scenario 2					736 258					736 258
Totalt forurenset sediment					742 434				43 777	786 211
Rent sediment										
Scenario 3	106 157	106 157	10 616	0	116 773	120 663	12 066	0	132 729	249 502
Scenario 5	239 953	239 953	23 995	0	263 948	0	0	0	0	263 948
Scenario 7	1 202 379	1 258 758	0	387 349	1 646 107	347 406	0	38 330	385 736	2 031 843
Totalt rent sediment					2 026 828				518 465	2 545 293
TOTALT VOLUM RENT OG FORURENSET SEDIMENT FRA TILTAKSOMRÅDET I FARLEDEN INN TIL BORG HAVN										3 287 726

- Det totale volumet rent og forurenset sediment beregnet for hele tiltaksområdet i farleden inn mot Borg Havn. I Tabell 5 er det totale volumet rent og forurenset sediment som antas å skal håndteres fra arbeidet i tiltaksområdet i farleden inn mot Borg Havn på 3 287 726 m³. Fra Rambølls volumberegninger er det totale volumet rent og forurenset sediment beregnet til 2 959 200 m³. Avviket mellom de to beregnede volumene er på 328 526 m³ og tilsvarer 10% av totalvolumet fra Vant' Hoff's beregninger.

4. KONKLUSJON

Hensikten med foreliggende rapport var å redegjøre for volumberegningene som er gjort for tiltaksområdet i farleden inn mot Borg Havn. Foreliggende rapport har kort redegjort for behovet for volumberegninger, metoden som ligger til grunn for de ulike volumberegningene, samt resultater. Resultatene viser hvilke volumer som er beregnet ved bruk av de ulike metodene. Den stegvise overgangen mellom NIVAs volumer og Vant' Hoff sine beregninger av hvilke volumer som er vil måtte mudres når man også vurderer hva som er praktisk gjennomførbart.

Volumene er beregnet med ulike metoder og forutsetningene for de tre volumberegningene er ulike. Det er derfor ikke mulig å direkte sammenligne alle volumene. Det er i midlertid mulig å sammenligne enkelte summer. Sammenligningen av volum forurenset sediment beregnet for Borg 1 av Vant' Hoff og NIVA at Vant' Hoff's beregninger er konservative og ligger nære oppunder volumene forurenset sediment beregnet med 95% konfidens.

Det totale volumet sediment som antas å måtte mudres fra tiltaksområdet er 10% høyere i Vant' Hoff's beregninger sammenlignet med Rambølls volumberegninger. Dette ansees som et lite avvik.

REFERANSER

Kystverket, 2013. *Handlingsprogram 2014-2023*

Miljødirektoratet, 2016. *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota.*

Rambøll, 2018. *M-rap-55-1110438-019 Farledsutbedring Borg havn Volum rent og forurenset sediment fra tiltaket – Metode og resultater*

Rambøll, 2015. *M-rap021-Datarapport fra sedimentprøvetaking_rev01*

NIVA, 2018.

Sintef, 2018. *Fairway to Borg harbour – modelling of dredging and discharging operations, Version 4.0*