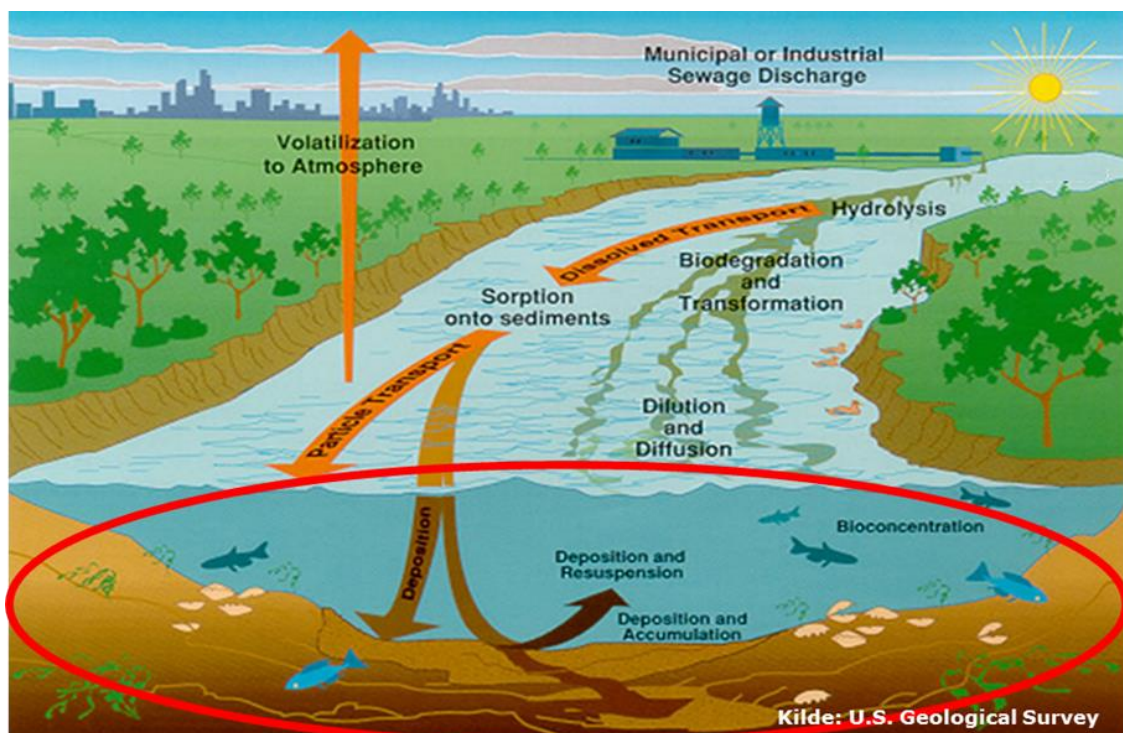


Beregnet til
Kystverket

Dokument type
Rapport

Dato
Juni, 2018

FARLEDSUTBEDRING BORG HAVN MILJØGIFTBUDSJETT



BORG HAVN MILJØGIFTBUDSJETT

Revisjon	002
Dato	13/06/2018
Utført av	
Kontrollert av	Tom Jahren
Godkjent av	Aud Helland
Beskrivelse	Miljøgiftbudsjett for farledutbedring i Borg havn. Spredning av miljøgifter før, under og etter tiltaket er beregnet.
Revisjonshistorie	Rapporten datert 7.juli 2016 er oppdatert basert på nye analyseresultater fra sedimentprøvetaking utført i 2017. I tillegg er oppdaterte sedimentvolumer for Borg 1 og Flyndregrunnen brukt i beregninger. Ved revidering av miljøgiftbudsjett er det tatt hensyn til tilbakemelding fra Miljødirektoratet (juli 2016).
Ref.	1110438

Rambøll
Hoffsveien 4
Postboks 427 Skøyen
0213 Oslo
T +47 22 51 80 00
F +47 22 51 80 01
www.ramboll.no

OPPSUMMERING

Rambøll har på oppdrag av Kystverket utarbeidet miljøgiftbudsjett for utvidelse av farleden inn til Borg havn. Miljøbudsjett beregner spredning av utvalgte miljøgifter som kan skje ved ulike spredningsmekanismer før, under og etter tiltaket både i områdene som skal mudres og i området hvor sedimentene skal deponeres. Analyser av overflatesedimenter i tiltaksområdet (Borg 1 og 2, (Svaleskjær og Møkkalasset) har dannet grunnlag for å beregne spredning av miljøgifter fra sedimentene før tiltak. Analyser av sedimentkjerner i mudringsområdet har dannet grunnlag for å beregne spredning av miljøgifter under og etter tiltaket. En del av sedimentene som skal mudres er forurensede. Risikovurdering av miljøgifter i forurenset sedimentene som skal mudres viser at det er særlig stoffene kobber, kvikksølv, to PAH-komponenter (antracen, indeno(1,2,3-cd)pyren), PCB7 og TBT som utgjør en økologisk risiko ved spredning. Miljøgiftbudsjett er derfor utledet for disse seks stoffene.

Miljøgiftbudsjettet er utarbeidet for to alternative beregninger av volumet forurenset masser (med 80 og 95 % konfidensnivå). Resultatene viser at spredning av miljøgifter for disse to alternativene er relativt lik. I dette sammendraget oppsummeres det resultatene for alternativet som Kystverket søker om tillatelse til å benytte for gjennomføring av prosjektet, dvs. volumberegninger med 80 % konfidensnivå. Tiltaket er antatt å vare i 2 år. I denne perioden vil spredningen av kobber, kvikksølv, antracen, indeno(1,2,3-cd)pyren og TBT være høyere enn dagens situasjon. Dette gjelder spesielt kvikksølv og antracen. Ses tiltaket under ett, spres det 3,1 kg kvikksølv og 0,48 kg antracen under tiltaksperioden (mudring og deponering). Grunnet høye deteksjonsgrenser for kvikksølv og antracen, gjør at spredningen trolig er overestimert. Spredning av kvikksølv som følge av mudring og deponering er relativt liten i forhold til dagens bidrag fra andre kilder, for eksempel var tilførselen av kvikksølv med Glomma i årene 2014-2016 gjennomsnittlig 16,1 kg.

Analyser av kjerneprov fra mudringsdyp har dannet grunnlag for å beregne spredning av miljøgifter etter tiltak. Ut ifra de beregninger og betraktninger som er gjort i foreliggende rapport, vil mudring og deponering av sedimenter i tilstandsklasse I-III i dypvannsdeponiet i sum medføre positiv miljøeffekt både for de mudrede områdene og for deponiområdet i forhold til dagens situasjon. I slutfasen av tiltaket vil det i hovedsak mudres sedimenter maksimalt i tilstandsklasse III. I mudringsområdene (Borg 1 og 2) fører mudring til en bedring i tilstanden for alle stoffer inkludert i miljøgiftbudsjett. I deponiområdene vil spredningen av de fleste analyserte miljøgifter være uendret eller noe lavere etter tiltak enn før tiltak. Bare spredningen av antracen er større fra deponiområdet etter at tiltaket er gjennomført, men spredningen utgjør ingen økologisk risiko.

Høy naturlig sedimentasjon i området (cirka 3-9 mm/år) av partikler fra Glomma vil føre til at tilstanden, slik den var før tiltaket, gjenopprettes etter relativt kort tid. Fremtidig spredning av miljøgifter fra sedimentet vil også være avhengig av mengde forurensing som tilføres området av Glomma og andre kilder.

INNHOILDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING	1
1.1	Målsetting	3
2.	METODE	4
2.1	Forutsetninger	5
2.1.1	Sedimentvolumer og konsentrasjoner	5
2.1.2	Prøver med konsentrasjon av stoffer under deteksjonsgrensen	6
2.1.3	Porevannkonsentrasjoner i sedimenter	7
3.	UTLEDNING AV MILJØGIFTBUDSJETT	8
3.1	Før tiltak	8
3.1.1	Mudringsområder Borg 1	8
3.1.2	Mudringsområdet Borg 2	9
3.1.3	Deponiområdene (Svaleskjær og Møkkalasset)	11
3.1.4	Stoffer som kan utgjøre risiko ved spredning	13
3.2	Under tiltak	15
3.2.1	Stoffer som kan utgjøre risiko ved spredning	15
3.2.2	Oppvirvling under mudring og deponering	17
3.2.3	Spredning via porevann	19
3.2.4	Øvrig spredning fra mudre- og deponeringsområder	19
3.3	Etter tiltak	20
3.3.1	Spredning fra mudrede områdene	20
3.3.2	Spredning fra deponiområdet	21
4.	RESULTATER – MILJØGIFTBUDSJETT FOR TILTAKET	22
4.1	Spredning av miljøgifter før tiltak	22
4.2	Spredning av miljøgifter under tiltak	23
4.3	Spredning av miljøgifter etter tiltak	26
4.4	Samlet spredning	27
4.4.1	Mudreområdene	32
4.4.2	Deponiområdene	33
5.	KONKLUSJONER	35
6.	REFERANSER	36

VEDLEGG

Vedlegg 1

Klassifisering av miljøgifter i sedimenter iht. M-608:2016

Vedlegg 2

Konsentrasjoner av miljøgifter i deponiområder før tiltak

Vedlegg 3

Konsentrasjoner av miljøgifter i Borg 1 og Borg 2

Vedlegg 4

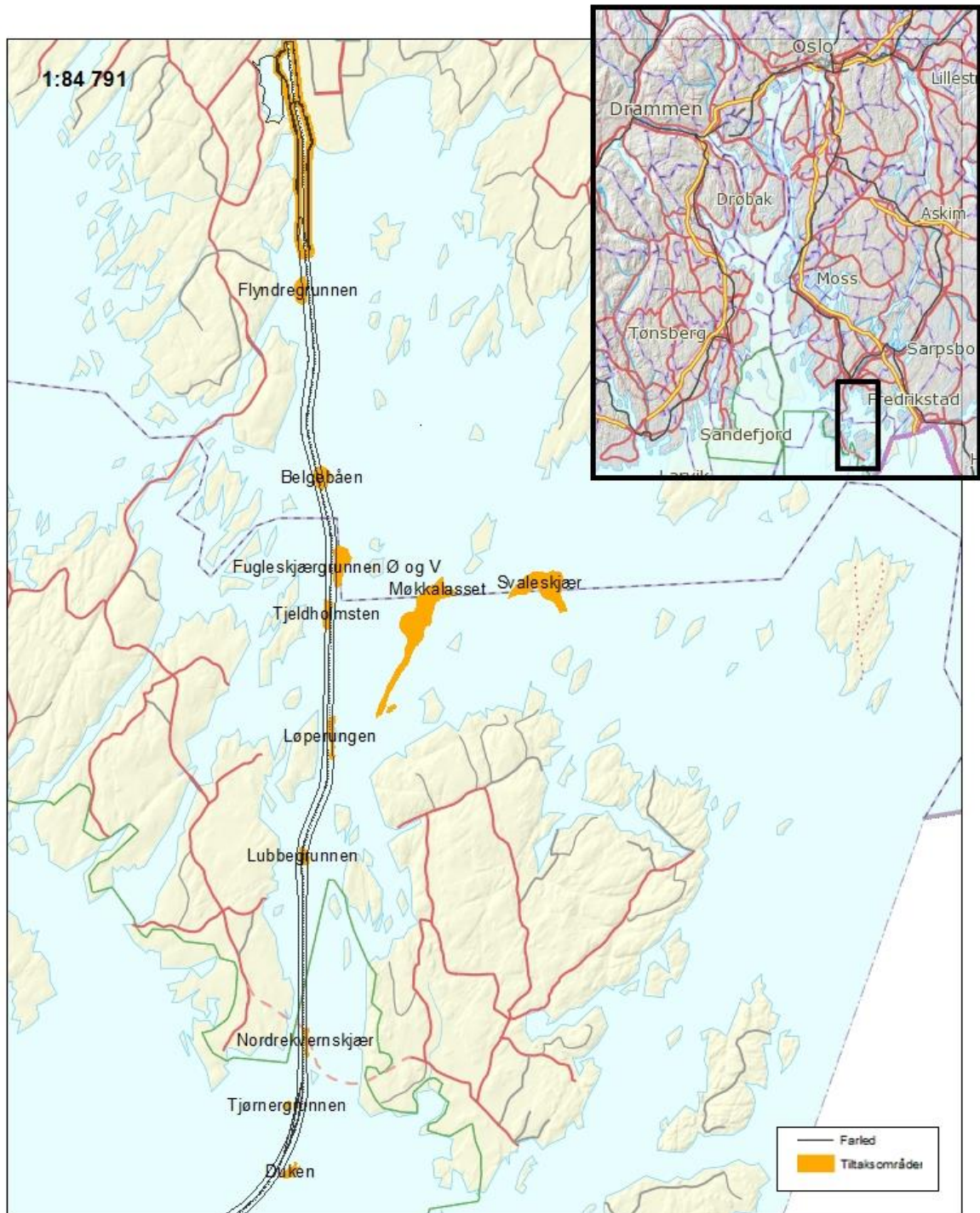
Konsentrasjoner av miljøgifter i mudringsdyp

1. INNLEDNING

Utvidelse av farledene inn til Borg havn er av en slik størrelse at Miljødirektoratet krever at det utarbeides et miljøgiftbudsjett for tiltaket. Miljøgiftbudsjettet skal vurdere spredningen av miljøgifter ved mudring og deponering. Tiltaksområdene er betegnet Borg 1 og 2 og reflekterer behandling i ulike reguleringsplaner. Borg 1 omfatter Røsvikrenna med snuplassen i Fuglevikbukta, samt deponiene Svaleskjær og Møkkalasset. Borg 2 omfatter alle grunnene sør for Røsvikrenna. Miljøbudsjett beregner spredning av miljøgifter som kan skje ved ulike spredningsmekanismer før, under og etter tiltaket både i områdene som skal mudres og i området hvor sedimentene skal deponeres. Tiltaksområdet er vist i Figur 1 og omfatter mudringsområder (Borg 1 og 2) og deponiområder (Svaleskjær og Møkkalasset).

Utdypingen av Borg havn er et farledsprosjekt, hvor ca. 2.7 millioner m³ sediment er planlagt mudret og ca. 0,25 millioner m³ fjell er planlagt sprengt og deponert. I utgangspunktet er prosjektet ikke et sedimentoppryddingsprosjekt. En del av sedimentene som skal mudres er imidlertid forurenset, særlig av kobber (Cu), kvikksølv (Hg), tributyltin (TBT), klorerte bifenyler (PCB7), samt av polyaromatiske hydrokarboner (PAH). Av PAH komponentene er særlig konsentrasjon av antracen og indeno(1,2,3-cd)pyren høy. Miljøgiftbudsjett er derfor utledet for disse seks stoffer.

Andel sedimentet i tilstandsklasse IV-V i Borg 1 er estimert å ligge mellom 23-30 %, avhengig av metode og forutsetninger brukt i volumberegninger. I tiltaksområdet Borg 2 utgjør sediment i tilstandsklasse IV-V ca. 10 % av totalvolumet av mudremasser på alle grunnene. Alt av forurensete sedimenter i Borg 2 finnes på Flyndregrunnen. Siden det er registrert forurensing i sediment i tiltaksområdet, må prosjektet håndtere forurensete sedimenter som ved et sedimentoppryddingsprosjekt. Miljøgiftbudsjettet vil følges opp gjennom føring av et miljøgiftregnskap som kontroll av budsjettet under og etter gjennomføring av tiltaket. Miljøgiftregnskapet for tiltaket vil bli basert på resultatene fra overvåkingsprogrammet.



Figur 1. Oversiktskart over området med markering av mudre- og deponiområder. Borg 1 omfatter Røsvikrenna i den nordligste del av farleden, men Borg 2 omfatter grunnene Flyndregrunnen og sørover (totalt 9 grunnene). Deponiområder Møkkalasset og Svaleskjær ligger øst for farleden.

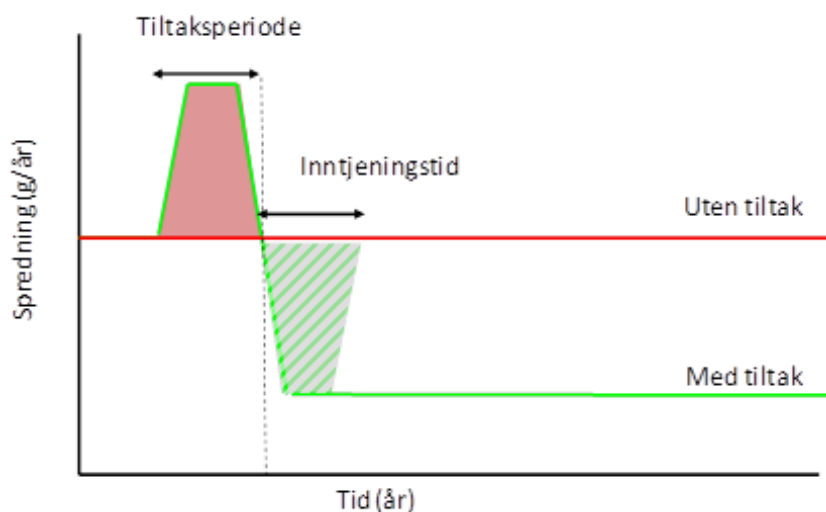
1.1 Målsetting

Mudring, sprengning og deponering av masser vil medføre økt risiko for spredning av partikler og miljøgifter. Målsettingen ved et miljøgiftbudsjett er å forhåndsbergne hvor stor økning i utlekking av miljøgifter tiltaksarbeidet i seg selv vil forårsake i forhold til dagens situasjon, og hvor lang tid det vil ta før denne økningen oppveies av gevinsten av lavere utlekking etter mudring (renere bunn), og endret utlekking (høyere/lavere) i deponeringsområdet. Resultatene fra miljøgiftbudsjett vil brukes for videre vurdering av konsekvenser av tiltaket.

Det er kun delområdene Røsvikrenna og Flyndregrunnen som har forurensede overflatesedimenter, og disse er i mindre grad forurenset enn eksempelvis sedimenter i prioriterte havner for miljøopprydding. Det vil derfor være vanskeligere å tjene inn spredningen under tiltak i dette prosjektet, sammenlignet med miljøoppryddingsprosjekter. Dypere liggende sedimenter er imidlertid mindre forurenset enn overflatesedimentene. Budsjettet kan være et grunnlag for myndigheter og andre å sammenligne spredningen fra tiltaket med spredningen fra andre kilder, og til å bedømme om inntjeningstiden er akseptabel eller ikke. Miljøgevinsten av tiltaket er beregnet som (og vist skjematisk i Figur 2):

$$\text{Miljøgevinst} = \sum_{t=0, \text{tiltakstart}}^{t=X\text{år}} \text{Spredning uten tiltak} - \sum_{t=0, \text{tiltakstart}}^{t=X\text{år}} \text{Spredning under og etter tiltak}$$

I Figur 2 er det vist et eksempel på hvordan resultatene fra et miljøgiftbudsjett kan presenteres. Under selve tiltaket vil det skje en økning i spredning (grønn linje), men etter tiltaket er gjennomført vil spredningen være betydelig lavere enn før. Dersom man ikke utfører tiltaket, vil spredningen fortsette som før (rød linje). I forhold til det gjeldende tiltaket vil altså spredningen under mudringen og deponeringen øke i forhold til dagens situasjon på grunn av inngrep og håndtering av massene. Denne midlertidige økningen vil tjenes inn ved at reduksjon i spredning oppnås etter at tiltaket er gjennomført. Mudring i Borg havn er i utgangspunktet ikke et sedimentoppryddingsprosjekt, det vil si at forurensningsmyndighetene ikke har hatt farleden inn til Borg havn som et prioritert område for sedimenttiltak. Derfor kan man altså ikke forvente samme gevinst før og etter tiltak som i prioriterte områder for sedimenttiltak. Eksempelvis som i havnene i Oslo, Trondheim, Harstad med flere.



Figur 2. Skjematisk forløp av den kortsiktige miljøgiftspredning i ulike faser av tiltaket.

2. METODE

Utleddingen av miljøgiftbudsjett er basert på Miljødirektoratets veileder TA-2804:2011 *Bruk av miljøgiftbudsjett ved gjennomføring av tiltak i forurenset sjøbunn - Utredning av muligheter*. Spredningsmekanismene og beregningsmåter for å kvantifisere de ulike transportprosessene er utdypet i Miljødirektoratets veileder M-409:2015 *Risikovurdering av forurenset sediment*. I Tabell 1 er spredningsmekanismene for de ulike fasene av mudringsprosjekt i Borg havn vist. Utlekkingsratene er utledet ved hjelp av beregningsverktøyet knyttet til veilederen M-409:2015. Enheter i budsjettet er utlekkingsrater av de enkelte miljøgifter i gram eller kg per år forårsaket av de ulike spredningsmekanismene.

Tabell 1. Aktuelle spredningsmekanismer før, under og etter tiltak i Borg havn.

	Før tiltak	Under tiltak	Etter tiltak
Mudreområdet (Borg 1 og 2)	<ul style="list-style-type: none"> • Diffusjon av forurensning fra sedimentene til vannfasen • Oppvirvling av forurenset sediment ved propellersjon (skipstrafikk) • Transport av forurensning via organismer 	<ul style="list-style-type: none"> • Diffusjon av forurensning fra sedimentene til vannfasen • Oppvirvling av forurenset sediment ved propellersjon (skipstrafikk) • Transport av forurensning via organismer • Oppvirvling av sediment ved mudring • Frigjøring av porevann under mudring 	<ul style="list-style-type: none"> • Diffusjon av forurensning fra sedimentene til vannfasen • Oppvirvling av forurenset sediment ved propellersjon (skipstrafikk) • Transport av forurensning via organismer
Deponiområdene (Mokkasset, Svalesskjær)	<ul style="list-style-type: none"> • Diffusjon av forurensning fra sedimentene til vannfasen • Transport av forurensning via organismer 	<ul style="list-style-type: none"> • Diffusjon av forurensning fra sedimentene til vannfasen • Transport av forurensning via organismer • Oppvirvling av sediment ved deponering • Utpressing av porevann etter deponering 	<ul style="list-style-type: none"> • Diffusjon av forurensning fra sedimentene til vannfasen • Transport av forurensning via organismer

Miljøgiftbudsjett er utarbeidet for hele tiltaksområdet, dvs. både mudrelokaltet og deponeringslokalitet. Beregningene i denne rapporten er gjort med utgangspunkt i at mudring gjennomføres i samtlige foreslåtte mudringsområder og til planlagt mudringsdyp. Det er benyttet gjennomsnittlige konsentrasjoner av ulike delområder i beregninger. Utleddingen av budsjettet krever kjennskap til konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentene og porevannet samt endel grunnleggende sedimentparametere.

2.1 Forutsetninger

For å estimere spredningen i forskjellige tiltaksfaser, må man kjenne konsentrasjonen av forurensninger i sedimentene og i porevannet. I tillegg må man kjenne nødvendige stoffdata, samt parametere som sedimentareal, andel leirpartikler osv. som inngår i beregningene. Stedsspesifikke data tilgjengelig fra tiltaksområdet er benyttet og dersom det ikke foreligger måledata er sjablongverdiene i veileder M-409:2015 benyttet. I kapittel 3 er det redegjort for inngangsdataene som er benyttet i spredningsberegningene for de ulike fasene av tiltaket i farleden inn til Borg havn.

2.1.1 Sedimentvolumer og konsentrasjoner

Det er utført undersøkelser med innsamling av sedimenter i mudringsområdet i årene 2011–2017 av Rambøll (rapporter M-rap-017, M-rap-021 og M-rap-025, M-not-55) og Multiconsult (2017). Undersøkelsene og innsamling av sedimentprøver i deponiområder er utført av NGI (NGI, 2011) og Multiconsult (2017). Sedimentene er analysert for miljøgifter og øvrige parameter, og disse dataene er benyttet for å beregne miljøgiftbudsjettet (jf. Kapittel 3).

Analyseresultatene fra nevnte undersøkelser viser at i mudringsområdet tilsvarer konsentrasjonen av kobber, kvikksølv, antracen, indeno(1,2,3-cd)pyren, TBT (forvaltningsbasert) og PCB₇ maksimalt tilstandsklasse V. Rambøll har beregnet volum av sediment i tilstandsklasser I-III og IV-V for hele tiltaksområdet (Borg 1 og 2) ut i fra 3D-modell, mens NIVA har beregnet volumene i tiltaksområdene Borg 1 og Flyndregrunnen basert på statistisk analyse av forurensningsmektighet. NIVA sin analyse viser at forurenset sediment utgjør ca. 23 og 30 % av sedimentvolumet i tiltaksområdet Borg 1, for henholdsvis 80 % og 95 % konfidensnivå som ligger til grunn i analyse. På Flyndregrunnen utgjør sediment i tilstandsklasse IV-V ca. 10 % av totalvolumet av alle grunnene.

Sedimentvolumene fra NIVA (2018) er benyttet som utgangspunkt for utarbeidelse av miljøgiftbudsjett for Borg 1 og Flyndregrunnen. Spredningen av miljøgifter under tiltaket er beregnet for to ulike scenariene. Vurderte alternativer er at mudringen og deponering av masser gjennomføres ut i fra volumene beregnet basert på modellene med 80 % og 95 % konfidensnivå. For øvrige grunner i Borg 2 er miljøgiftbudsjett utarbeidet basert på volumene fra Rambøll (2018). Siden sprenging av fjell ikke vil medføre spredning av miljøgifter er volumet av fjell ikke inkludert i miljøgiftbudsjettet.

De sedimentene som det søkes om å legge i dypvannsdeponi i Møkkalasset og Svaleskjær, har konsentrasjoner av miljøgifter i tilstandsklassene I-III. De forurensete sedimenter som blir deponert på land, har én eller flere komponenter i tilstandsklassene IV-V. En samlet oversikt over sedimentvolumer i tilstandsklassene I-III og IV-V er vist i Tabell 2. Tabell 2 viser også arealer av tiltaksområdene.

Tabell 2. Sammenstilling av arealer, sedimentvolumer i tilstandsklassene I-III og IV-V og volum av fjell som planlegges mudret og sprengt i delområdene i farleden inn til Borg havn. Det er beregnet to forskjellige scenarier for volumet av forurenset sediment, 80 og 95 % konfidensnivå for forurensingstilstand.

Område	Areal (m ²)	80 % konfidensnivå		95 % konfidensnivå		Fjell (m ³)	Total volum (m ³)	Total volume, sediment (m ³)
		Sediment i tiltaks-klasse I-III (m ³)	Sediment i tiltaks-klasse IV-V (m ³)	Sediment i tiltaks-klasse I-III (m ³)	Sediment i tiltaks-klasse IV-V (m ³)			
Røsvikrenna - Borg 1	675000	1621097	573076	1437144	757029	450	2194623	2194173
Grunner Borg 2	Duken	8900	8870	0	8870		8870	8870
	Tjørnergrunnen	3300	0	0	0	6698	6698	0
	Nordre-Kvernskjær	2412	0	0	0	2474	2474	0
	Lubbegrunnen	17800	6056	0	6056	39876	45932	6056
	Løperungen	11500	3724	0	3724	58134	61858	3724
	Tjeldholmsten	14500	15906	0	15906	9985	25891	15906
	Fugleskjørgrunnen vest	35200	86107	0	86107	81026	167133	86107
	Belgebåen	54800	221833	0	221833	50082	271915	221833
	Flyndregrunnen	55400	130293	39057	127284	42066	173476	173476
Total volum Borg 2		427789	39057	469780	42066	248275	764247	515972
Totalt Borg 1&2		2093886	612133	1906924	799095	248725	2954744	2706019
Deponiområder								
	Svaleskjær	150000						
	Møkka-lasset	200000						

2.1.2 Prøver med konsentrasjon av stoffer under deteksjonsgrensen

En stor del av sedimentprøvene som er analysert har konsentrasjoner av miljøgifter (særlig kvikksølv, antracen, PCB7 og TBT) under deteksjonsgrensen. For kvikksølv og antracen er deteksjonsgrensen høyere enn øvre grensen for tilstandsklasse II. I forrige versjon av miljøregnskap for tiltaket (M-rap-050, juni 2016) ble det benyttet en konsentrasjon tilsvarende øvre grense for tilstandsklasse I for miljøgiftene hvor konsentrasjon var under deteksjonsgrensen. I foreliggende rapport er det benyttet halvparten av deteksjonsgrensen i disse tilfellene. Det vil si at beregningene i denne versjonen av miljøgiftbudsjettet er mer konservative særlig mht. spredningen av kvikksølv og antracen i denne versjonen.

Bakgrunnskonsentrasjonen for kvikksølv kan antas å være lavere enn deteksjonsgrensen for analysemetoden, 0,2 mg/kg. For de prøvene hvor konsentrasjon av kvikksølv er under deteksjonsgrensen er det benyttet halv deteksjonsgrense (0,1 mg/kg). Dette overskrider øvre grensen til tilstandsklasse I (bakgrunnsnivå), og kan føre til overestimering av spredning av kvikksølv. Øvre grense for tilstandsklasse I (0,05 mg/kg) tilsvarer bakgrunnskonsentrasjoner av kvikksølv målt i området tidligere (Helland, 2003). Beregningene med hensyn på kvikksølv er derfor konservative og kan føre til overestimering av spredning, særlig når det gjelder spredningen fra sediment i tilstandsklasse I-III.

I de tilfeller konsentrasjon av antracen er lavere enn deteksjonsgrensen (10 µg/kg) er halvparten av deteksjonsgrensen (5 µg/kg) benyttet for å estimere spredningen i foreliggende rapport. Konsentrasjon 5 µg/kg tilsvarer tilstandsklasse III og kan føre til overestimering av spredningen mht. antracen, særlig når det gjelder sedimentet i tilstandsklasse I-III. I forrige versjon av miljøgiftbudsjettet (M-rap-50, juni 2016) ble det brukt lavere konsentrasjon (1,2 µg/kg) i beregningene. Dette tilsvarer øvre grense for tilstandsklasse I.

Deteksjonsgrensen for indeno(1,2,3-cd)pyren, er lavere enn øvre grense for tilstandsklasse I. I de tilfellene er halv deteksjonsgrensene benyttet i beregningene. I de tilfeller der PCB7 og TBT ikke er detektert, er øvre grense for tilstandsklasse I (0,001 mg/kg for begge stoffer) benyttet. Alle analyserte prøver har konsentrasjon av kobber over deteksjonsgrensen.

2.1.3 Porevannkonsentrasjoner i sedimenter

Diffusjonstransport fra porevannet i sedimentet til vannfasen over, kan beregnes fra porevannkonsentrasjonen. Siden stedsspesifikke konsentrasjoner av miljøgifter i sedimentenes porevann fra mudringsområdet ikke er målt, er porevannkonsentrasjonen derfor beregnet fra fordelingskoeffisienten (K_d) som vist i likning 1. De teoretiske porevannkonsentrasjonene er utledet ved bruk av beregningsverktøyet knyttet til veilederen (M-409/2015).

$$C_{pv} = \frac{C_{sed}}{K_d}, \quad (1)$$

Der

- C_{pv} = porevannkonsentrasjonen av et stoff (mg/l)
- C_{sed} = sedimentkonsentrasjonen av et stoff (mg/kg)
- K_d = fordelingskoeffisient sediment/vann

3. UTLEDNING AV MILJØGIFTBUDSJETT

I det følgende gis en sammenstilling av spredningsmekanismer og inngangsdata før, under og etter tiltak fra mudringsområdet og deponiområdene. For å vurdere hvilke miljøgifter som utgjør høyest risiko hvis de spres før og under tiltak, tas det utgangspunktet i gjennomsnittskonsentrasjoner av metaller og organiske miljøgifter i sedimentene i tilstandsklasse IV-V. De stoffer som overskrider «tillatt spredning» (trinn 1) er inkludert i budsjettberegningene i foreliggende rapport. Med «tillatt spredning» menes det i dette tilfellet spredning fra et sediment uten risiko for akutte toksiske effekter (tilstandsklasser I-III). Øvre grense for tilstandsklasse III er valgt for trinn 1 vurdering av de aktuelle stoffer fordi det er et realistisk miljømål for miljøkvaliteten i sedimentene i havneområder.

Miljøgiftbudsjettet omfatter vanligvis også bly, men siden gjennomsnittlig spredning av bly ikke overskrider grenseverdien for trinn 1 i dette området, er ikke bly tatt med i beregningene.

Stoffer som kan utgjøre størst risiko ved spredning er vist i kapitlene 3.1.4 og 3.2.1, henholdsvis før og under tiltak. Beregnet spredning i mudrings- og deponiområder for stoffene som overskrider «tillatt spredning» er vist i kapittel 4. Spredning iht. Miljødirektoratets veileder M-409:2015, beregnes som mg forurensning per areal per år ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$). Ved å multiplisere denne spredningen med arealet spredningen skjer fra, finner man total spredning som $\text{mg}/\text{år}$ og eventuelt $\text{g}/\text{år}$. For spredning før, under og etter tiltak vil det være hensiktsmessig å oppgi spredningen som en mengde per år.

3.1 Før tiltak

3.1.1 Mudringsområder Borg 1

De aktuelle spredningsmekanismene for miljøgifter fra områder som skal mudres er

- oppvirvling av partikler som følge av skipstrafikk
- diffusjon av miljøgifter fra sedimentet til vannfasen over
- transport via organismer

Før mudringen og deponeringen er gjennomført, vil spredningen av forurensning fra sedimentene avhenge av sedimentkvaliteten i sedimentoverflaten. Spredningen fra sedimentene slik de ligger i dag, er antatt å være konstant med tiden tiltaket foregår.

Beregninger av spredning fra området Borg 1 er basert på analyser av 32 blandprøver (Rambøll M-rap-017) og 39 blandprøver tatt av Multiconsult (2017). Hver blandprøve består av 4 parallele grabbprøver av overflatesedimentene (0–10 cm) fra mudringsområdet som utgjør et areal på 672.000 m^2 . Analysene er benyttet i sin helhet for å karakterisere før-situasjonen i Borg 1, før tiltaket blir igangsatt. Anvendte verdier for de grunnleggende sedimentparametere er gjengitt i Tabell 4 og oppsummeres kort som følger:

- Konsentrasjonen av TOC (total organiske karbon) er i gjennomsnitt 1,51 % (n=71, blandprøvene nevnt over)
- Største dyp i Røsvikrenna i dag er ca. 12 m. For beregning av vannvolum i renna er gjennomsnittlig vanddyb satt til 6 m.
- Oppholdstiden på vannmassene er beregnet ut fra en gjennomsnittlig årlig vannføring i Glomma på 600 m^3/s (Miljødirektoratet, 2017)
- Antall skipsanløp til Borg havn er omtrent 1500 pr. år, som er et gjennomsnitt for årene 2015 og 2016 (Kilde: pers. kom. Borg havn, 2017)
- Før tiltaket er Borg havn klassifisert som industrihavn, og mengde oppvirvlede sedimentter er satt til 1000 kg per anløp

- Siden Røsvikrenna er grunnere enn 20 m antas hele traseen på 4.480 m å bli påvirket av skipstrafikk
- Sedimentarealet som blir påvirket av skipstrafikk antas å være 537.600 m². Siden renna grunner opp mot land på hver side er arealet som påvirkes av skipstrafikk antatt å være 80 % av totalarealet på 672.000 m².
- Overflatesedimentene i Røsvikrenna har i gjennomsnitt en leirfraksjon (< 2 µm) på 3,7 % (n=71, blandprøver nevnt over)
- Siden renna stadig utsettes for resuspensjon fra skipstrafikk og variasjoner i vannføring er bunnfaunaen redusert. Undersøkelser i 2014 viste *Meget dårlig* tilstand i renna (NIVA 2015). Den anvendte verdien for organisk karbontilførsel til sedimentene er derfor redusert fra 200 g/m²/år (sjablongverdi) til 100 g/m²/år.

Tabell 3. Grunnleggende sedimentparametere ved beregning av spredning før tiltak (mudring) i Borg 1. Celler merket med blå farge angir sjablongverdier oppgitt i Miljødirektoratets veileder M-409. Når fargen i cellen er endret til hvit er sjablongverdien endret (til anvendt verdi) og det er gitt en begrunnelse for endringen (høyre kolonne).

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	1,6	Gjennomsnitt av grabbprøvene fra Borg 1 (n=71)
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	675000	Mudringsarealet
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	4050000	Gjennomsnitt 6 m vannndyp
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,00270	ca. 1 døgn, gjennomsnitt vannføring 600 m ³ /s
SPREDNING			
Parametere for transport via biodiffusjon, F_{diff}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Tortuositet, τ	3	3	
Faktor for diffusjonshastighet pga bioturbasjon, a	10	10	
Diffusjonslengde, Δx [cm]	1	1	
Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	1500	Statistikk for 2015, 2016, oppgitt av Borg Havn
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, T [m]	120	4480	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	1000	benyttet 1000 kg
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	540000	Settes lik 0 dersom uaktuell spredningsvei
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2µm	ingen standard	0,037	Gjennomsnitt i grabbprøvene fra Borg 1 (n=71)
Parametere for transport via organismer, F_{org}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mengde organisk karbon i bunnfauna biomasse OC_{bio} [g/g]	0,25	0,25	
Organisk karbontilførsel til sedimentet utenfra, OC_{sed} [g/m ² /år]	200	100	Fattig fauna
Fraksjon av organisk karbon som ikke omsettes, d [g/g]	0,47	0,47	
Organisk karbon omsatt (respiert) i sedimentet, OC_{res} [g/m ² /år]	31	31	
Konverteringsfaktor fra våtvekt til tørrvekt for C_{bio}	5	5	Faktor for å konvertere BCF_{bio} som er på våtvektsbasis til C_{bio} på tørrvektsbasis. Tørrvekt av biologisk materiale er typisk 1/5 av våtvekt.
Parametere for å beregne tømming av stofflageret i det bioaktive laget, t_{tom}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mekthet av bioturbasjonsdyp, d_{sed} (mm/m ²)	100	100	
Tetthet av vått sediment, ρ_w (kg/l)	1,3	1,3	
Fraksjon tørrvekt av vått sediment	0,35	0,35	

3.1.2 Mudringsområdet Borg 2

Mudringsområdet Borg 2 omfatter totalt 7 grunner, hvor det er registrert løsmasser (se Tabell 2). Flyndregrunnen, Duken, Lubbegrunnen, Løpegrunnen, Tjeldholmsten, Fugleskjørgrunnen Vest, Belgebåen er planlagt mudret til dybder mellom 13–16 m (Figur 1). Tjørnergrunnen og Nordre Kvernskjær består av fjell og disse skal sprenges til samme dyp. De aktuelle spredningsmekanismene for miljøgifter fra Borg 2 er de samme som i Borg 1:

- oppvirvling av partikler som følge av skipstrafikk
- diffusjon av miljøgifter fra sedimentet til vannfasen over
- transport via organismer

Beregninger av spredning fra mudreområdet er basert på analyser av 25 blandprøver, hvor hver blandprøve består av 4 parallelle prøver av overflatesedimentene (0-10 cm) fra mudringsområdet (Rambøll M-rap-025, Multiconsult, 2017) som utgjør et areal på 203.812 m². Analysene er

benyttet i sin helhet for å karakterisere før-situasjonen, før tiltaket blir igangsatt. Anvendte verdier for de grunnleggende sedimentparametere er gjengitt i Tabell 4, og oppsummeres kort som følger:

- Konsentrasjonen av total organiske karbon (TOC) er i gjennomsnitt 1,8 % (n=25, blandprøvene nevnt over)
- Største dyp i grunner i dag er ca. 8 m. For beregning av vannvolum i traséen er gjennomsnittlig vanddyb satt til 5 m.
- Oppholdstiden er antatt at være 0,0027 år (ca. 1 dag)
- Antall skipsanløp til Borg havn er ca. 1.500, som er et gjennomsnitt for årene 2015 og 2016 (Borg havn, pers. kom. 2017)
- Før tiltaket er Borg havn klassifisert som industrihavn, og mengde oppvirket sediment er satt til 1000 kg per anløp
- Siden grunner i Borg 2 er grunnere enn 20 m antas hele traseen over grunnene på 1350 m å bli påvirket av skipstrafikk
- Sedimentarealet som blir påvirket av skipstrafikk før tiltak antas å være 101 906 m². Siden en del av grunner er grunnere enn 6 m er arealet som påvirkes av skipstrafikk antatt å være 50 % av totalarealet på 203.812 m². I tillegg består deler av området av fjell.
- Overflatesedimentene i Røsvikrenna har i gjennomsnitt en leirfraksjon (< 2 µm) på 7,6 % (n=25, blandprøver nevnt over)
- Undersøkelser i 2014 viste *Dårlig tilstand* for bunnfauna i Borg 2 (NIVA 2015). Den anvendte verdien for organisk karbontilførsel til sedimentene er derfor redusert til 100 g/m²/år.

Tabell 4. Grunnleggende sedimentparametere ved beregning av spredning før tiltak i grunner (Borg 2). Celler merket med blå farge angir sjablongverdier oppgitt i Miljødirektoratets veileder TA-2802-2011. Når fargen i cellen er endret til hvit er sjablongverdien endret (til anvendt verdi) og det er gitt en begrunnelse for endringen (høyre kolonne).

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	1,8	Gjennomsnitt av grabbprøvene fra grunnene (n=25)
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	203812	Mudringsarealet
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	1222872	Gjennomsnitt 6 m vanddyb
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,0027	ca. 1 døgn, gjennomsnitt vannføring 600 m ³ /s
SPREDNING			
Parametere for transport via biodiffusjon, F_{diff}			
Tortuositet, τ	3	3	
Faktor for diffusjonshastighet pga bioturbasjon, a	10	10	
Diffusjonslengde, Δx [cm]	1	1	
Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}			
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	1500	Statistikk for 2015, 2016, oppgitt av Borg Havn
Trasé lengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, T [m]	120	1350	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt
Mengde oppvirket sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	1000	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	163049,6	Settes lik 0 dersom uaktuell spredningsvei
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2 µm	ingen standard	0,076	Gjennomsnitt av grabbprøvene fra grunnene (n=25)
Parametere for transport via organismer, F_{org}			
Mengde organisk karbon i bunnfauna biomasse $OC_{C_{bio}}$ [g/g]	0,25	0,25	
Organisk karbontilførsel til sedimentet utenfra, OC_{sed} [g/m ² /år]	200	200	
Fraksjon av organisk karbon som ikke omsettes, d [g/g]	0,47	0,47	
Organisk karbon omsatt (respirert) i sedimentet, OC_{resp} [g/m ² /år]	31	31	
Konverteringsfaktor fra våtvekt til tørrvekt for C_{bio}	5	5	Faktor for å konvertere BCF_{bio} som er på våtvektsbasis til C_{bio} på tørrvektsbasis. Tørrvekt av biologisk materiale er typisk 1/5 av våtvekt.

3.1.3 Deponiområdene (Svaleskjær og Møkkalasset)

For deponiområdet vil kun diffusjon og transport via organismer være aktuelle spredningsmekanismer før tiltak, vanddybden i området er for stor (ca. 48 m og 54 m) til at propellaktivitet kan påvirke bunnsedimentene. Spredning som følge av oppvirvling grunnet skipstrafikk er derfor satt lik 0 for deponiområdene.

Beregninger av spredning fra deponiområdene Svaleskjær og Møkkalasset er basert på analyser av 6 blandprøver fra hvert av områdene, hvor hver blandprøve består av 4 parallelle prøver av overflatesedimentene (0-10 cm). Data er hentet fra undersøkelser av NGI (2011, 5 prøver i hvert område) og Multiconsult (2017, 3 stasjoner i hvert område). Analysene karakteriserer før-situasjonen, før tiltaket blir igangsatt. NGI (2011) tok prøver fra 5 stasjoner i hvert deponiområde, men den femte stasjonen i undersøkelsen ble karakterisert som referansestasjon og er derfor ikke tatt med ved beregning av miljøgiftbudsjettet. Anvendte verdier for de grunnleggende sedimentparametere for lokaliteten Svaleskjær er gjengitt i Tabell 5, og oppsummeres kort som følger:

- Konsentrasjonen av total organiske karbon (TOC) er i gjennomsnitt 2,2 % (n=7, blandprøvene nevnt over)
- Svaleskjær er 64 m på det dypeste og arealet egnet for deponering er 150.000 m². Vannvolumet i bassenget er beregnet til 9.600.000 m³ (150.000 m² x 64 m).
- Oppholdstiden på vannmassene er antatt å være ca. en uke (0,02 år).
- Siden vanddypet i bassenget er så stort er spredning grunnet påvirkning fra skipstrafikk ikke aktuelt
- Overflatesedimentene har i gjennomsnitt en leirfraksjon (< 2 µm) på 13,1 % (n=7, blandprøver nevnt over), men har ingen betydning for utledning av budsjettet siden skipstrafikken ikke påvirker bunnen
- Undersøkelser av bunnfaunaen ved Svaleskjær i 2017 viste moderat tilstand (Rådgivende biologer, 2017). Den anvendte verdien for organisk karbontilførsel til sedimentene er derfor redusert til 100 g/m²/år.

Tabell 5. Grunnleggende sedimentparametere ved beregning av spredning før tiltak i Svaleskjær. Celler merket med blå farge angir sjablongverdier oppgitt i Miljødirektoratets veileder M-409. Når fargen i cellen er endret til hvit er sjablongverdien endret (til anvendt verdi) og det er gitt en begrunnelse for endringen (høyre kolonne).

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	2,2	Gjennomsnitt av grabbprøvene (n=7, NGI, 2011, Multiconsult, 2017)
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	150000	Areal av deponi
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	9600000	Sedimentarealet i bassenget × vandndypet (64 m)
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,02	
SPREDNING			
Parametere for transport via biodiffusjon, F_{diff}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Tortuositet, τ	3	3	
Faktor for diffusjonshastighet pga bioturbasjon, a	10	10	
Diffusjonslengde, Δx [cm]	1	1	
Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	1500	Statistikk for 2015, 2016, oppgitt av Borg Havn
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, T [m]	120	0	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	1000	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	0	Settes lik 0 dersom uaktuell spredningsvei
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2 μ m	ingen standard	0,131	Gjennomsnitt av grabbprøvene (n=7, NGI, 2011, Multiconsult, 2017)
Parametere for transport via organismer, F_{org}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mengde organisk karbon i bunnfauna biomasse $OC_{C_{bio}}$ [g/g]	0,25	0,25	
Organisk karbontilførsel til sedimentet utenfra, OC_{sed} [g/m ² /år]	200	100	Fattig fauna
Fraksjon av organisk karbon som ikke omsettes, d [g/g]	0,47	0,47	
Organisk karbon omsatt (respiert) i sedimentet, OC_{resp} [g/m ² /år]	31	31	
Konverteringsfaktor fra våtvekt til tørrevekt for C_{bio}	5	5	Faktor for å konvertere $BCF_{C_{bio}}$ som er på våtvektsbasis til C_{bio} på tørrevektsbasis. Tørrevekt av biologisk materiale er typisk 1/5 av våtvekt.
Parametere for å beregne tømning av stofflageret i det bioaktive laget, t_{om}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mektighet av bioturbasjonsdyp, d_{sed} (mm/m ²)	100	100	
Tetthet av vått sediment, ρ_v (kg/l)	1,3	1,3	
Fraksjon tørrevekt av vått sediment	0,35	0,35	

Grunnlaget for anvendelse av sedimentparameterne vist i Tabell 6 for lokaliteten Møkkalasset er kort som følger:

- Konsentrasjonen av TOC (total organiske karbon) er i gjennomsnitt 2,1 % (n=7, blandprøvene nevnt over, NGI, 2011, Multiconsult, 2017)
- Møkkalasset er 64 m på det dypeste og arealet egnet for deponering er 200.000 m². Vannvolumet i bassenget er beregnet til 12.800.000 m³ (200.000 m² × 64 m).
- Oppholdstiden på vannmassene er antatt å være ca. en uke (0,02 år).
- Siden vandndypet i bassenget er så stort er spredning grunnet påvirkning fra skipstrafikk ikke aktuelt
- Overflatesedimentene har i gjennomsnitt en leirfraksjon (<2 μ m) på 12,8 % (n=7, blandprøver nevnt over), men har ingen betydning siden skipstrafikken ikke påvirker bunnen
- Undersøkelser av bunnfaunaen ved Møkkalasset i 2017 viste *Moderat* tilstand (Rådgi-vende biologer, 2017). I beregningen er det derfor benyttet verdi på 100 g/m²/år for organisk karbontilførsel til sedimentene.

Tabell 6. Grunnleggende sedimentparametere ved beregning av spredning før tiltak i Møkkalasset. Celler merket med blå farge angir sjablongverdier oppgitt i Miljødirektoratet veileder TA-2802-2011. Når fargen i cellen er endret til hvit er sjablongverdien endret (til anvendt verdi) og det er gitt en begrunnelse for endringen (høyre kolonne).

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	1,9	Gjennomsnitt av grabbprøvene (n=7, NGI, 2011, Multiconsult, 2017)
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	200000	Deponiarealet
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	12800000	Sedimentarealet i bassenget x vandndypet (64 m)
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,02	
SPREDNING			
Parametere for transport via biodiffusjon, F_{diff}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Tortuositet, τ	3	3	
Faktor for diffusjonshastighet pga bioturbasjon, a	10	10	
Diffusjonslengde, Δx [cm]	1	1	
Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	1500	Statistikk for 2015, 2016, oppgitt av Borg Havn
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, T [m]	120	0	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	1000	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	0	Settes lik 0 dersom uaktuell spredningsvei
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2µm	ingen standard	0,128	Gjennomsnitt av grabbprøvene (n=7, NGI, 2011, Multiconsult, 2017)
Parametere for transport via organismer, F_{org}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mengde organisk karbon i bunnfauna biomasse OC_{bio} [g/g]	0,25	0,25	
Organisk karbontilførsel til sedimentet utenfra, OC_{sed} [g/m ² /år]	200	200	God fauna
Fraksjon av organisk karbon som ikke omsettes, d [g/g]	0,47	0,47	
Organisk karbon omsatt (respirert) i sedimentet, OC_{resp} [g/m ² /år]	31	31	
Konverteringsfaktor fra våtvekt til tørvekt for C_{bio}	5	5	Faktor for å konvertere BCF_{bio} som er på våtvektsbasis til C_{bio} på tørvektsbasis. Tørvekt av biologisk materiale er typisk 1/5 av våtvekt.
Parametere for å beregne tømning av stofflageret i det bioaktive laget, t_{om}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mektighet av bioturbasjonsdyp, d_{sed} (mm/m ²)	100	100	
Tetthet av vått sediment, ρ_v (kg/l)	1,3	1,3	
Fraksjon tørvekt av vått sediment	0,35	0,35	

3.1.4 Stoffer som kan utgjøre risiko ved spredning

Borg 1

En del av overflatesedimentene i Borg 1 kan klassifiseres som forurenset (tiltaksklasse IV-V), og maksimale konsentrasjoner overskrider «tillatt spredning» for kobber, kvikksølv, TBT, PCB7 og flere PAH-komponenter (Tabell 7). Legger man gjennomsnittskonsentrasjonene i sedimentene i Borg 1 før tiltak til grunn og sammenligner beregnet spredning fra overflatesedimentene med «tillatt spredning» for alle analyserte parametere, viser beregningene ingen overskridelse.

Borg 2

Sammenligning av gjennomsnittlige konsentrasjoner i overflatesedimentene i Borg 2 før tiltak med trinn 1 grenseverdi (spredning i tilstandsklasse III), viser ingen overskridelser for noen av de analyserte parametere (Tabell 8). Maksimale konsentrasjoner av kobber, kvikksølv, TBT og PCB7 i sedimentene overskrider «tillatt» spredningen før tiltaket.

Tabell 7. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i overflatesedimentene i Borg 1 før tiltak sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Røde tall i høyre kolonne angir overskridelser av grenseverdien. Basert på analyser av overflatesedimenter (0-10 cm, n=71) fra Borg 1 (Rambøll M-rap-017, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimumskonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	71	8,18	4,67	71		
Bly	71	28,20	15,31	1480		
Kadmium	71	0,52	0,26	16,0		
Kobber	71	113,00	46,29	84	1,3	
Krom totalt (III + VI)	71	84,10	24,41	6000		
Kvikksølv	71	0,80	0,11	0,75	1,1	
Nikkel	71	33,60	20,14	271		
Sink	71	164,00	89,88	750		
Naftalen	71	0,446	0,017	1,754		
Acenafylen	71	0,093	0,009	0,085	1,1	
Acenaften	71	0,130	0,014	0,195		
Fluoren	71	0,506	0,021	0,69		
Fenantren	71	4,820	0,122	2,50	1,9	
Antracen	71	0,263	0,025	0,0300	8,8	
Fluoranten	71	5,250	0,234	0,4	13,1	
Pyren	71	3,500	0,168	0,840	4,2	
Benzo(a)antracen	71	1,370	0,082	0,50	2,7	
Krysen	71	1,750	0,100	0,28	6,3	
Benzo(b)fluoranten	71	1,830	0,099	0,140	13,1	
Benzo(k)fluoranten	71	0,860	0,052	0,135	6,4	
Benzo(a)pyren	71	2,040	0,090	0,230	8,9	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	71	0,906	0,051	0,063	14,4	
Dibenzo(a,h)antracen	71	0,217	0,016	0,273		
Benzo(ghi)perylene	71	1,270	0,058	0,084	15,1	
Tributyltinn (TBT-ion)	71	0,087	0,010	0,020	4,4	
PCB7	71	0,990	0,027	0,0430	23,0	

Tabell 8. Målte konsentrasjoner i overflatesedimentene i Borg 2 før tiltak sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Røde tall i høyre kolonne angir overskridelser av grenseverdien. Basert på analyser av overflatesedimenter (0-10 cm, n=25) fra Borg 2 (Rambøll M-rap-025, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimumskonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	25	12,60	8,39	71		
Bly	25	57,80	22,48	1480		
Kadmium	25	0,71	0,24	16,0		
Kobber	25	116,00	60,05	84	1,4	
Krom totalt (III + VI)	25	49,00	33,80	6000		
Kvikksølv	25	1,77	0,24	0,75	2,4	
Nikkel	25	36,40	28,57	271		
Sink	25	217,00	119,15	750		
Naftalen	25	0,011	0,010	1,754		
Acenafylen	25	0,010	0,006	0,085		
Acenaften	25	0,010	0,010	0,195		
Fluoren	25	0,010	0,010	0,69		
Fenantren	25	0,033	0,015	2,50		
Antracen	25	0,005	0,005	0,0300		
Fluoranten	25	0,056	0,027	0,4		
Pyren	25	0,050	0,022	0,840		
Benzo(a)antracen	25	0,039	0,014	0,50		
Krysen	25	0,046	0,017	0,28		
Benzo(b)fluoranten	25	0,054	0,022	0,140		
Benzo(k)fluoranten	25	0,033	0,014	0,135		
Benzo(a)pyren	25	0,043	0,015	0,230		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	25	0,034	0,013	0,063		
Dibenzo(a,h)antracen	25	0,032	0,012	0,273		
Benzo(ghi)perylene	25	0,032	0,012	0,084		
Tributyltinn (TBT-ion)	25	0,023	0,005	0,020	1,2	
PCB7	25	0,175	0,015	0,0430	4,1	

Resultatene av grabbprøver tatt fra deponiområder er vist i Vedlegg 2 (Tabell 23 og Tabell 24). Resultatene fra alle prøver fra Møkkalasset viser at konsentrasjonene av miljøgifter er under grenseverdien II / III. I Svaleskjærdeponiet overskrider maksimale konsentrasjon av acenaften, indeno(1,2,3-cd)pyren og benzo(ghi)perylene grenseverdien for tilstandsklasse III. Det er imidlertid ingen stoffer som overskrider «tillatt spredning» hvis gjennomsnittlig konsentrasjoner før tiltak legges til grunn.

Komponenter som overskrider tillatt spredning vurdert ut ifra konsentrasjoner i forurensede masser i Borg 1 og 2 er inkludert i miljøgiftregnskap (utdypet i Kapittel 3.2.1). Oppsummering av konsentrasjoner av disse komponentene i overflatesedimentene før tiltaket er vist i Tabell 9.

Tabell 9. Gjennomsnittlig konsentrasjoner (mg/kg) av de stoffene som er inkludert i miljøgiftbudsjett i overflatesedimentene før tiltak.

Konsentrasjon før tiltak (grabbprøver 0-10 cm)				
	Borg 1 (mg/kg) (n=71)	Borg 2 (mg/kg) (n=25)	Møkkalasset (mg/kg) (n=7)	Svaleskjær (mg/kg) (n=7)
Kobber	46,29	61,83	57,13	58,64
Kvikksølv	0,110	0,203	0,161	0,123
Antracen	0,024	0,005	0,005	0,005
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,051	0,014	0,221	0,040
Tributyltin (TBT-ion)	0,010	0,004	0,0038	0,003
PCB7	0,027	0,011	0,0018	0,001

3.2 Under tiltak

I tiltaksfasen vil følgende spredningsmekanismer være aktuelle i mudre- og deponiområder i tillegg til spredningen som foregår i nå-situasjonen:

- Oppvirvling av forurensede sedimenter pga. mudring
- Oppvirvling av forurensede sedimenter pga. deponering
- Porevannutpressing pga. mudring
- Porevannutpressing pga. deponering

Spredningen under tiltak vil i motsetning til spredningen før og etter tiltak, kun gjelde en begrenset tidsperiode, i dette tilfellet anslått til ca. 2 år. Spredningsbidragene er derfor oppgitt som spredning i gram og årlig spredning kan beregnes ved å dele på 2. I anleggsfasen forventes det større spredning enn det som er tilfelle slik situasjonen er i dag. Dette gjelder særlig områdene som har forurensede sedimenter i Røsvikrenna og på Flyndregrunnen. Det vil derfor være vanskeligere å tjene inn spredningen under tiltak i dette prosjektet, sammenlignet med miljøopprydningssjekter.

3.2.1 Stoffe som kan utgjøre risiko ved spredning

Ved mudring er det risiko for spredning av metaller og organiske miljøgifter fra hele sediment-søylen, i motsetning til før tiltak hvor spredning kun skjer fra de øvre 10 cm av sedimentene.

Beregning av spredning fra mudreområdet i Borg 1 under tiltak er basert på analyser av 627 sedimentprøver fra 107 kjerner av varierende lengde fra mudreområdet. Resultatene er presentert i Rambøll rapport M-rap-017 (2013), M-rap-021 (2015), Rambøll notat M-not-055 (2018) og av Multiconsult (2017). For det meste av de kortere sedimentkjerner er det analysert 2 eller 3 prøver fra hver kerne (fra øvre og nedre del av kjernen). Fra lengre kjerner er det analysert flere

prøver, helt ned til mudredyp. Analysene er benyttet i sin helhet for å beregne spredning under tiltak (jf. Kapittel 4.2).

Beregning av spredning fra mudreområdet Borg 2 under tiltak er basert på analyser av 95 sedimentprøver fra 22 kjerner av varierende lengde fra mudreområdet. Resultatene er presentert i Rambøll rapport M-rap-025 (2015) og Multiconsult (2017). For det meste er det analysert 2 prøver fra hver kjerne (fra øvre og nedre del av kjernen). For de kjerner tatt fra Flyndregrunnen er det analysert flere prøver, helt ned til mudredyp. Analysene er benyttet i sin helhet for å beregne spredning under tiltak (jf. Kapittel 4.2).

Mudringsområde Borg 2 omfatter 9 grunner og sedimentundersøkelser har vist at bare Flyndregrunnen har konsentrasjoner av miljøgifter over grenseverdien III / IV. For å finne de miljøgifter som utgjør høyest risiko hvis de spres under tiltak, tas det utgangspunkt i gjennomsnittskonsentrasjoner av metaller og organiske miljøgifter i de forurensede sedimentene i Borg 1 og 2 (tiltaks-klasser IV-V) som skal mudres (Tabell 2). I dette tilfellet er det stoffene PCB7, TBT og PAH-komponenter (antracen og indeno(1,2,3-cd)pyren) som overskrider «tillatt spredning» (Tabell 10, n=213-215). I tillegg er kobber og kvikksølv inkludert i beregning av miljøgiftbudsjettet. Dette på grunn at kvikksølv forekommer i tilstandsklasse IV-V i flere prøver. Bly er ofte inkludert i miljøgiftbudsjetter, men konsentrasjon av bly overskrider ikke grenseverdien for tilstandsklasse III i sedimentene i Borg havn. Det forventes derfor ikke uakseptabel spredning av bly som følge av tiltak og bly er ikke inkludert i miljøgiftbudsjett.

Tabell 10. Målte konsentrasjoner i sedimentprøver i tilstandsklasse IV-V sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Røde tall i høyre kolonne angir overskridelser av grenseverdien. Basert på analyser av kjerneprøver fra Borg 1 og Borg 2 (Rambøll M-rap-021, 025, M-Not-55, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	213	15,50	6,00	71		
Bly	213	127,00	28,89	1480		
Kadmium	213	1,67	0,41	16,0		
Kobber	213	338,00	81,14	84	4,0	
Krom totalt (III + VI)	213	181,00	37,53	6000		
Kvikksølv	215	5,41	0,47	0,75	7,2	
Nikkel	213	75,00	24,81	271		
Sink	213	363,00	132,08	750		
Naftalen	213	2,8400	0,0329	1,754	1,6	
Acenaftylen	213	0,3600	0,0140	0,085	4,2	
Acenaften	213	0,7820	0,0271	0,195	4,0	
Fluoren	213	1,5900	0,0484	0,69	2,3	
Fenantren	213	10,1000	0,2465	2,50	4,0	
Antracen	213	2,3800	0,1240	0,0300	79,3	4,1
Fluoranten	213	8,7100	0,3662	0,4	21,8	
Pyren	213	5,4600	0,2809	0,840	6,5	
Benzo(a)antracen	213	2,8500	0,1426	0,50	5,7	
Krysen	213	5,3700	0,2002	0,28	19,2	
Benzo(b)fluoranten	213	2,4000	0,1367	0,140	17,1	
Benzo(k)fluoranten	213	1,4300	0,0976	0,135	10,6	
Benzo(a)pyren	213	2,3200	0,1346	0,230	10,1	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	213	1,2100	0,1170	0,063	19,2	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	213	1,3700	0,0276	0,273	5,0	
Benzo(ghi)perylene	213	0,9700	0,0636	0,084	11,5	
Tributyltinn (TBT-ion)	213	1,9000	0,0457	0,020	95,0	2,3
PCB7	213	1,4000	0,0615	0,0430	32,6	1,4

I foreliggende rapport er det valgt å beregne spredning av miljøgifter under tiltak separat fra sedimenter i tilstandsklasser I-III og IV-V. Spredning som følge av mudring og deponering er beregnet basert på Van't Hoff Consultancy sine beregninger om spredning fra operasjonene. Disse beregningene er benyttet som inngangsdata i modellering av spredning som følge av mudring. Siden inputdataene fra Van't Hoff ikke skiller mellom Borg 1 og Borg 2, er det ikke utført separate spredningsberegninger for Borg 1 og Borg 2. Beregnet spredning er derfor fordelt på masser i følgende sedimentgrupper:

- Borg 1 og 2, sedimenter i tilstandsklasse I-III
- Borg 1 og 2, sedimenter i tilstandsklasse IV-V

Målte konsentrasjoner av alle analyserte miljøgifter i forurensede og rene sedimenter i Borg 1 og Borg 2 er vist i Vedlegg 3. For å innhente gjennomsnittskonsentrasjon av rene sedimenter i Borg 2, er gjennomsnittskonsentrasjon av miljøgifter i sedimenter fra de ulike grunnene vektet for den mengde sediment som skal fjernes fra hver grunne (Tabell 2). Gjennomsnittskonsentrasjoner av stoffene inkludert i miljøgiftbudsjett er oppsummert i Tabell 11. Gjennomsnittskonsentrasjonene i tilstandsklassene I-III og IV-V er benyttet for å beregne spredning som følge av selve mudringsaktivitetene, dvs. oppvirvling ved mudring og deponering.

Tabell 11. Gjennomsnittlige konsentrasjoner av miljøgifter C_{sed} (mg/kg) i sedimenter i tiltaksklasse I-III og IV-V i Borg 1 og Borg 2. For rene sedimenter i Borg 2 er konsentrasjonene vektet etter volum masse som skal fjernes på grunnene. Sedimentene i tiltaksklasser I-III er planlagt deponert i sjødeponiene Svaleskjær og Møkkalasset.

	Borg 1			Borg 2		
	Borg 1 sedimenter i TK I-III (mg/kg)	Borg 1 sedimenter i TK IV-V (mg/kg)	Borg 1 vektet gjennomsnitt	Borg 2 sedimenter i TK I-III (mg/kg)	Borg 2 sedimenter i TK IV-V (mg/kg)	Borg 2 vektet gjennomsnitt
Kobber	23,04	82,11	38,40	26,24	70,78	30,69
Kvikksølv	0,11	0,45	0,20	0,10	0,61	0,15
Antracen	0,0054	0,124	0,036	0,0057	0,0323	0,008
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,0113	0,117	0,038	0,0123	0,0683	0,018
Tributyltin (TBT-ion)	0,0027	0,051	0,015	0,0017	0,0074	0,0023
PCB7	0,0036	0,066	0,020	0,0011	0,0234	0,0033

3.2.2 Oppvirvling under mudring og deponering

Under mudringen kan sediment bli virvlet opp og suspendert i vannmassene på mudringsstedet. Dette kan føre til en frigjøring av miljøgifter til vannmassen. Omfanget av dette vil variere avhengig av mudringsmetoden som benyttes og gjennomføringen av mudringen. I Borg havn vil sannsynligvis bakgraver benyttes på de meste forurensede sedimentene, fordi mesteparten av disse massene ligger i skråningene på grunt vann. De forurensede massene vil bli deponert på land, hvilket minimerer oppvirvling og spredning av forurensing under tiltak. Da det vil stilles krav til at de mudrede massene transporteres i tette enheter og mudres uten «overflow», antas det at søl under transporten til deponiområdet er neglisjerbar. For mer detaljerte beskrivelse om mudringsmetoder som er antatt benyttet for mudringen i ulike delområder henvises det til rapporten fra Sintef (2018).

Under deponeringen av sedimentene i tilstandsklasse I-III vil det også forekomme oppvirvling. Mengde sediment som blir virvlet opp vil være avhengig av deponeringsmetoden og vanninnhold i massene. I Borgprosjektet vil massene føres ned mot bunnen i rør påmontert diffusor. Van't Hoff Consultancy (2017) har estimert total mengde masser som kan virvles opp som følge av mudring og deponering ved ulike mudring- og deponeringsmetoder, disse er oppsummert i Tabell 12. Forskjellige mudringsmetoder vil brukes for rene og forurensede masser, og derfor er

mengde oppvirvlet materiale beregnet separat for volumer beregnet med 80 og 95 % konfidensnivå. Dataene fra Van't Hoff Consultancy er benyttet i modellering av partikkelspredning og sedimentasjon i området (Sintef, 2018).

Tabell 12. Antatt mengde sediment som blir virvlet opp som følge av mudring og deponering ifølge Sintef (2018). Oppvirvling er vurdert for volumene med 80 % og 95 % konfidensnivå. Mengde leire som spres er beregnet ut i fra gjennomsnittlig innhold av leire i oppvirvlet sediment (finstoff) på 7,8 % (4,7 % / 60 %).

		80 %	95 %	80 %	95 %
	Spredningsmekanisme	Suspendert sediment (tonn)		Suspendert leire (tonn)	
Borg 1 og 2	Mudring av sedimenter i tilstandsklasse IV-V	28 755	37 326	2 243	2 911
Borg 1 og 2	Mudring av sedimenter i tilstandsklasse I-III	78 558	72 748	6 128	5 674
Borg 1 og 2	Deponering av sedimenter i tilstandsklasse I-III	171 220	158 418	13 355	12 357
Totalt, Borg 1 og 2		278 533	268 492	21 726	20 942

For miljøgiftbudsjett antas det at leirefraksjon (< 2 µm) av massene angitt i Tabell 12 er tilgjengelig for spredning under mudring over lengre avstander. I modellering av partikkelspredning (Sintef, 2018) er det antatt at sediment som spres som følge av mudring og deponering består av leire og silt, dvs. partikler finere enn 63 µm i diameter. Gjennomsnittlig innhold av sand i sedimentet i tiltaksområder Borg 1 og Borg 2 er henholdsvis 45 og 19 % (Tabell 13), beregnet ut i fra alle sedimentprøver tatt fra tiltaksområdet. Innhold av leire i sedimentet i Borg 1 og 2 er hhv. 4,4 og 6,0 %. Siden Sintef har rapportert spredning av sediment under mudring og deponering samlet for tiltaksområdene Borg 1 og 2, er det beregnet vektet gjennomsnitt for sand og leire innhold i mudremassene i hele tiltaksområdet (Tabell 13). Gjennomsnittlig har massene i tiltaksområdet 60 % finstoff (leire og silt), og videre betyr tallene i Tabell 13 at 7,8 % av massene som spres som følge av tiltaket består av leire. Totalt tilsvarer dette ca. 7-8 % spredning av total masse mudret (tørrvekt). Det meste av sedimentene som virvles opp som følge av mudring og deponering vil sedimentere nær mudrings- og deponeringsområdet, som vist i Sintef (2018). I modelleringen til Sintef er det ikke beregnet hvor langt partikler med ulike kornstørrelser kan transporteres, siden det er benyttet en stabil sedimenteringshastighet på 0,01 mm/s. Basert på veileder TA-2804:2011 er det kun tatt leire med i beregning av miljøgiftbudsjettet når spredning under tiltak kalkuleres.

I forrige versjon av miljøgiftbudsjett for Borgprosjektet (juni 2016) ble det antatt at sediment som spres som følge av mudring og deponering består av sand, silt og leire, dvs. har samme kornfordeling som mudremassene. Deretter ble det beregnet mengde leire som spres ved å bruke kornfordeling av hele mudremasser. Beregningene vist i foreliggende rapport er derfor mer konservative siden det antas at sedimentet som virvles opp under arbeidene består av silt og leire.

Tabell 13. Andel sand og leire i sedimentene i Borg 1 og Borg 2

	Borg 1	Borg 2	Borg 1 og 2, totalt / snitt i sedimentet som vil mudres
Volum – sediment (m³)	2 194 173	515 972	2 710 145
Andel sand (%)	45,0 %	19,0 %	40,0 %
Andel leire (%)	4,4 %	6,0 %	4,7 %

3.2.3 Spredning via porevann

Porevannet i forurensede sedimenter vil ha et høyere innhold av miljøgifter enn overliggende vannmasser. Porevannet vil umiddelbart blandes inn i vannmassen ved mudring. Mengde porevann som lekker ut vil være avhengig av mudringsmetode. Sedimentene har et gjennomsnittlig vanninnhold på 50 %. Hvis alt dette frigjøres under mudring vil det kunne lekke ut 1,4 million m³ porevann som har mulighet til å spres. Det er ikke sannsynlig at alt porevannet spres under mudring, men i beregninger er gjort ved å anta at vannmengde på 1,5 mill. m³ vil spres. Dette tilsvarer hele vannvolumet i mudremassene og gir et konservativt anslag om spredning under mudring. Porevannkonsentrasjon i Borg 1 og 2 er estimert fra sedimentkonsentrasjoner ved hjelp av beregningsverktøyet i veilederen M-409 og gjengitt i Tabell 14.

Etter deponering i sjødeponi vil porevannet fra sedimentene (i tilstandsklasse I-III) presses ut under konsolidering av massene. Setninger i sjøbunnen i deponiområdet er anslått til ca. 20 % av tykkelsen av deponivolumet, hvilket gir en total porevannutpressing på 0,60 million m³. Konsolidering av deponerte sedimenter er antatt å foregå over 2 år, samme periode som selve tiltaket. Porevannkonsentrasjon i sedimentene som blir deponert er estimert fra sedimentkonsentrasjoner ved hjelp av beregningsverktøyet i veilederen M-409 og gjengitt i Tabell 14.

Tabell 14. Anvendte porevannkonsentrasjoner C_{pv} (mg/l) i sedimentene i tiltaksklasser (TK) I-III og IV-V i områder Borg 1 og Borg 2. Sedimenter i tiltaksklasser I-III er planlagt deponert i dypvandeponiene Svaleskjær og Møkkalasset.

Stoff	Borg 1 og 2, TK I-IV alle prøver, gjennomsnitt (mg/l)	Borg 1 og 2, TK I-III (deponeres i sjø), alle prøver, gjennomsnitt (mg/l)
Kobber	1,79E-03	8,72E-04
Kvikksølv	2,74E-06	1,15E-06
Antracen	6,78E-05	1,95E-05
Indeno(1,2,3-cd)pyren	9,90E-07	3,28E-07
TBT	9,16E-04	1,24E-04
PCB7	5,28E-06	6,49E-07

3.2.4 Øvrig spredning fra mudre- og deponeringsområder

Under tiltaksfasen vil spredningsmekanismene som foregår i nå-situasjonen, fortsatt pågå. Disse må derfor inkluderes i spredning under tiltak i miljøbudsjettet. For å beregne spredning ved diffusjon, oppvirvling ved propellersosjon og transport via organismer er vektete gjennomsnittskonsentrasjoner av kjerneprøver i Borg 1 og 2 benyttet (Tabell 11). Vektete gjennomsnittskonsentrasjon for Borg 1 og 2 er beregnet ut i fra volum av mudremasser i tilstandsklasse I-III og IV-V. Det er beregnet spredning ved å anta at mudring gjennomføres kontinuerlig 24 timer per døgn. Hele tiltaket er i dette tilfellet antatt å være ca. 2 år.

Anvendte verdier for de grunnleggende parametere i Borg 1 er antatt som i før-situasjonen (Tabell 3) med unntak som følger:

- Konsentrasjonen av TOC (total organiske karbon) er i gjennomsnitt 1,4 % (n=132, kjerneprøvene nevnt i Kapittel 3.2.1)
- For beregning av vannvolum i renna under tiltak er gjennomsnittlig vanddyb satt til 11,5 m.
- Sedimentene i Borg 1 har i gjennomsnitt en leirfraksjon (< 2 µm) på 4,0 % (n=520, kjerneprøver nevnt i Kapittel 3.2.1)

Anvendte verdier for de grunnleggende parametere i Borg 2 er antatt som i før-situasjonen i (Tabell 4) med unntak som følger:

- Konsentrasjonen av TOC (total organiske karbon) er i gjennomsnitt 1,2 % (n=21, kjerneprøvene nevnt i Kapittel 3.2.1)
- For beregning av vannvolum over grunnene under tiltak er gjennomsnittlig vandndyp satt til 11,5 m.
- Det antas at alle grunnene i Borg 2 blir påvirket av skipstrafikk, og dersom hele traseen på 1350 m å bli påvirket av skipstrafikk
- Sedimentene i Borg 2 har i gjennomsnitt en leirfraksjon ($< 2 \mu\text{m}$) på 6,9 % (n=90, kjerneprøver nevnt i Kapittel 3.2.1)

For deponiområder er diffusjonen fra sedimenter til vannfasen og transport via organismer de mekanismer som fortsetter under tiltak. Det er antatt at spredning av miljøgifter fra deponiområdet under tiltaksfasen skjer fra sedimenter med konsentrasjoner tilsvarende sedimentene i tilstandsklasser I-III som skal mudres og deponert i sjø.

Anvendte verdier for de grunnleggende parametere er som i før-situasjonen i deponiområdene (Tabell 5 og Tabell 6) med unntak som følger:

- Konsentrasjonen av TOC (total organiske karbon) i sedimentene som blir deponert er i gjennomsnitt 1,37 % (n=570, kjerneprøvene nevnt i Kapittel 3.2.1, sedimentprøver i Borg 1 og Borg 2 i tilstandsklasse I-III)
- Sedimentene som blir deponert har i gjennomsnitt en leirfraksjon ($< 2 \mu\text{m}$) på 4,3 % (n=153, kjerneprøvene nevnt i Kapittel 3.2.1, sedimentprøver i Borg 1 og Borg 2 i tilstandsklasse I-III)
- Det antas at bunnfaunaen vil karakteriseres som dårlig under deponering, derfor er organisk karbontilførsel satt til $100 \text{ g/m}^2/\text{år}$ i Møkkalasset.

3.3 Etter tiltak

Etter at mudringen og deponeringen er gjennomført, vil spredningen av miljøgifter fra sedimentene avhenge av den tilstanden i den nye sedimentoverflaten i de mudrede områdene og i deponiområder.

3.3.1 Spredning fra mudrede områdene

Etter at mudringen er gjennomført, vil aktuelle spredningsmekanismer være som før tiltak;

- oppvirvling på grunn av skipstrafikk
- diffusjon fra sedimentfasen til vannfasen
- transport via organismer

Analysene av sedimentprøver fra mudringsdyp er lagt til grunn for å beregne spredning fra mudringsområdene i Borg 1 og Borg 2 etter tiltak. Prøver fra mudringsdyp viser at etter tiltak vil ny sjøbunn tilfredsstille tilstandsklasse I eller II, bortsett for antracen. Konsentrasjoner av antracen i prøvene fra mudredyp er mest sannsynlig overestimert på grunn at det er brukt halv av deteksjonsgrense ($0,005 \text{ mg/kg}$, tilstandsklasse III) for fleste prøvene (44 av 47 av prøvene). Trolig vil konsentrasjon av antracen være lavere og klassifisere til tilstandsklasse I eller II etter mudring. Spredning etter tiltaket kan derfor være betydelig overestimert.

Dersom man sammenligner konsentrasjonene i sediment før tiltak med analyseresultatene av de dypeste prøver, vil konsentrasjoner av de stoffer inkludert i miljøgiftbudsjett i mudringsområdene reduseres. Antatt konsentrasjoner av stoffer inkluder i miljøgiftbudsjett etter tiltak i mudre- og deponiområder i vist i Tabell 15. Konsentrasjoner av alle stoffene er vist i Vedlegg 4 (Tabell 29). Det er noe usikkerhet knyttet til konsentrasjon av kvikksølv i mudredyp. 46 av 47 prøver har konsentrasjon av kvikksølv under deteksjonsgrensen ($0,2 \text{ mg/l}$). For disse prøvene er det benyttet konsentrasjon på $0,1 \text{ mg/kg}$, tilsvarende tilstandsklasse II som beskrevet i avsnitt 2.1.2.

Tabell 15. Gjennomsnittlige sedimentkonsentrasjoner av ulike stoffer C_{sed} (mg/l) analysert fra sedimentprøver fra mudringsdyp i Borg 1 og Flyndregrunnen sammenlignet med grenseverdier av tiltaksklasser I-II og II-III.

	Antatt sedimenter i mudre- og deponiområder etter tiltak (mg/kg)	Grenseverdi tilstandsklasser I/II (mg/kg)	Grenseverdi tilstandsklasser II/III (mg/kg)
Kobber	19,73	20	82
Kvikksølv	0,10*	0,005	0,52
Antracen	0,0117**	0,0012	0,0048
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,0140	0,02	0,063
Tributyltin (TBT-ion)	0,0015	0,001	0,005
PCB7	0,0022	0,001	0,0041

* Konsentrasjon av kvikksølv er under deteksjonsgrensen i 46 av 47 prøver fra mudredyp.

** Konsentrasjon av antracen er under deteksjonsgrensen i 44 av 47 prøver fra mudredyp.

Konsentrasjoner i sedimentene etter tiltak er beregnet for tilstanden umiddelbart etter tiltaket. I realiteten vil partikler suspendert i vannmassene og partikkeltilførsel via Glomma, industri og overløp, etter en viss tid utgjøre den nye sjøbunnen. Dersom tilførselene har høyere konsentrasjoner av tungmetaller, PCB og PAH, vil spredningen fra de mudrede områdene etter tiltak øke med tiden. Studier av tilførselen av partikulær forurensning via Glomma (Miljødirektoratet, 2015, 2016, 2017) viser en årlig tilførsel av ca. 42.000 kg kobber og ca. 16 kg kvikksølv (gjennomsnitt for årene 2014-2016).

Anvendte verdier for de grunnleggende parametere i Borg 1 og 2 er antatt som i før-situasjonen (Tabell 3) med unntak som følger:

- For beregning av vannvolum i Borg 1 og 2 etter tiltak er gjennomsnittlig vanddyb satt til 13 m.
- Hensikten med mudringen er at større båter kan benytte havnen enn i dagens situasjon, og etter tiltaket er det mulighet å ta imot cruisebåter. Derfor klassifiseres Borg havn som «stor havn» etter tiltaket, og mengde oppvirvlet sediment er satt til 2000 kg per anløp.

3.3.2 Spredning fra deponiområdet

Etter at deponeringen er gjennomført, vil aktuelle spredningsmekanismer være som før tiltak;

- diffusjon fra sedimentfasen til vannfasen
- transport via organismer

Som nevnt over vil slutfasen av mudringen generere rene sedimenter i tilstandsklasse I og II. Det antas derfor at ny sjøbunn i deponiområdet tilfredsstiller denne miljøkvaliteten. For beregning av spredning fra ny sjøbunn i deponiområdet er derfor samme datagrunnlag benyttet som for ny sjøbunn i mudreområdet (jf kap 3.3.1). Anvendte verdier for de grunnleggende sedimentparametere er antatt som før tiltak (Tabell 5, og Tabell 6, jf Kapittel 3.1.3), med unntak som følger:

- Det antas at bunnfaunaen vil karakteriseres som god etter tiltak er gjennomført, derfor er organisk karbontilførsel satt til 200 g/m²/år i Svaleskjær.
- Konsentrasjonen av TOC (total organiske karbon) er i gjennomsnitt 1,6 % i Svaleskjær og Møkkalasset (n=47, kjerneprøvene fra mudringsdyp)
- Sedimentene som blir deponert sist har i gjennomsnitt en leirfraksjon (< 2 µm) på 3,7 % i Svaleskjær og Møkkalasset (n=47, kjerneprøver fra mudringsdyp)

4. RESULTATER – MILJØGIFTBUDSJETT FOR TILTAKET

Miljøgiftbudsjett er utarbeidet for kobber (Cu), kvikksølv (Hg), tributyltin (TBT), klorerte bifenyler (PCB7) og to polyaromatiske hydrokarbon (PAH) komponenter (antracen, indeno(1,2,3-cd)pyren). I det følgende gis en sammenstilling av beregnet spredning før, under og etter tiltak for disse stoffene fra mudringsområdet og deponiområdene.

Under tiltaksperioden er spredningen beregnet for to alternativer: mudring og deponering gjennomføres med sedimentvolumene beregnet med (1) 80 % og (2) 95 % konfidensnivå. Dette gjelder kun sedimentvolumene i Borg 1 og på Flyndregrunnen, det er ikke gjort statistisk analyse for forurensingsmektighet på øvrige grunner i Borg 2.

4.1 Spredning av miljøgifter før tiltak

Sammenstilling av beregnet spredning av stoffer i nå-tilstanden er vist i Tabell 16 (mudreområder) og i Tabell 17 (deponiområde). Før mudringen er satt i gang er den viktigste spredningsmekanisme for metaller (Cu og Hg), indeno(1,2,3-cd)pyren og PCB7 oppvirvling på grunn av propellerrosjon av sedimentene. For TBT og antracen er viktigste spredningsmekaniske diffusjon fra sedimentet. Diffusjon er viktigste spredningsmekanisme for alle stoffer i deponiområdet i nå-tilstand.

Tabell 16. Årlig spredning av kvikksølv, kobber og PAH-komponenter (g/år) fra sedimentene i mudringsområdet i Borg 1 og 2 før tiltak.

	Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd)pyren	TBT	PCB7
Diffusjon fra sediment i Borg 1 (g/år)	g/år	6 730	5	174	3	1420	10
Oppvirvling pga propellerrosjon i Borg 1 (g/år)	g/år	193 944	456	158	213	707	117
Transport via organismer i Borg 1 (g/år)	g/år	56	0	29	5	1 056	39
Diffusjon fra sediment i Borg 2 (g/år)	g/år	2 636	3	10	0	174	2
Oppvirvling pga propellerrosjon i Borg 2 (g/år)	g/år	96 790	386	10	22	58	25
Transport via organismer i Borg 2 (g/år)	g/år	75	0	5	1	440	20
Sum spredning før tiltak, mudreområde	g/år	445 599	1 272	471	362	4 238	284

Tabell 17. Årlig spredning for kvikksølv, kobber og PAH-komponenter (g/år) fra sedimentene i deponiområdene Svaleskjær og Møkkalasset før tiltak.

	Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd) pyren	TBT	PCB7
Diffusjon fra Svaleskjær (g/år)	g/år	1 895	1	6	0	70	0
Transport via organismer i Sveleskjær (g/år)	g/år	54	0	3	2	178	1
Diffusjon fra Møkkalasset (g/år)	g/år	2 461	2	9	0	129	0
Transport via organismer i Møkkalasset (g/år)	g/år	70	0	5	2	328	2
Sum spredning ved nå-tilstand fra deponiområdene (g/år)	g/år	4 480	3	23	4	706	4

4.2 Spredning av miljøgifter under tiltak

Sammenstilling av beregnet spredning av miljøgifter under tiltak er vist i Tabell 18 (mudreområder) og i Tabell 19 (deponiområder). Oppvirvling som følge av mudring og deponering er den viktigste spredningsmekanismen under mudring og deponering for kobber, kvikksølv og antracen, mens for indeno(1,2,3-cd)pyren, TBT og PCB7 er bidraget fra selve tiltaket mindre i forhold til øvrige spredningsmekanismer. Under tiltaket er de viktigste mekanismer for spredning av sedimenter i deponiområde bidraget fra selve deponeringen av sedimenter i tilstandsklasser I-III. Spredningsmekanismene under tiltaket er nærmere diskutert i Kapittel 4.4.

Under tiltaket vil spredningen av kvikksølv, antracen, TBT ved diffusjon, transport via organismer og oppvirvling på grunn av propellersjon være høyere for enn før tiltak. Dette skyldes at konsentrasjon av disse stoffene er høyere dypere i sedimentet sammenlignet med tilstanden i overflatesediment i dag (se Tabell 9 og 11). Siden konsentrasjon av kobber, indeno(1,2,3-cd)pyren og PCB7 er lavere dypere i sedimenter, er spredningen av disse stoffene med samme mekanismer noe lavere under tiltaket sammenlignet med spredningen i nå-tilstand. Dagens sjøbunn gradvis erstattes av sjøbunn med lavere konsentrasjoner av disse komponenter etter hvert som mudringen pågår.

Total spredning for alternativet der mudringen gjennomføres med volumene beregnet med 95 % konfidensnivå er noe større, men forskjellene mellom disse mudringsalternativer er ikke stor. Høyere spredning for 95 % alternativet skyldes større volum av masser i tilstandsklasse IV-V, som fører til høyere spredning under mudring. Det er antatt at masser i tilstandsklasse IV-V har samme gjennomsnittlige konsentrasjon, men i praksis vil konsentrasjonen være noe lavere når høyere konfidensnivå benyttes i volumberegninger. Dette er imidlertid ikke tatt i hensyn i foreliggende vurdering siden gjennomsnittlige konsentrasjoner av miljøgifter i sedimentet for disse to alternativer er ikke kjent.

Tabell 18. Beregnet spredning av kobber, kvikksølv, antracen, indeno(1,2,3 - cd)pyren, tributyltin (TBT), og klorerte bifenyl (PCB7) (g) fra sedimentene i mudreområder under tiltak. Spredning er beregnet separat for sedimenter i tilstandsklasser (TK) I-III og IV-V.

Mekanisme	Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd) pyren	TBT	PCB7
Spredning som følge av mudring							
Alternativ 1: 80 % konfidensnivå i volumberegninger							
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK I-III	g/2 år	146 009	659	34	71	15	19
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK IV-V	g/2 år	182 826	1 028	267	257	109	143
Porevannsutpressing under mudring	g/2 år	2 684	4	102	1	1 374	8
Alternativ 1: 95 % konfidensnivå i volumberegninger							
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK I-III	g/2 år	135 210	610	31	66	14	18
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK IV-V	g/2 år	237 321	1 335	347	333	142	186
Porevannsutpressing under mudring	g/2 år	2 684	4	102	1	1 374	8
Bidrag fra sedimentene - lik for begge alternativer							
Diffusjon fra sediment mudreområde i Borg 1 som mudres	g/år	2 682	4	133	1	1 142	4
Oppvirvling som følge av propellersjon i mudreområde Borg 1	g/år	166 960	876	244	168	1 138	97
Transport via organismer i område Borg 1 som mudres	g/år	45	0	44	4	1 699	32
Diffusjon fra sediment i område Borg 2 som mudres	g/år	678	1	11	0	64	1
Oppvirvling som følge av propellersjon i mudreområde Borg 2	g/år	52 540	254	22	34	88	15
Transport via organismer i område Borg 2 som mudres	g/år	11	0	4	1	131	5
Alternativ 1: 80 % konfidensnivå i volumberegninger							
Total spredning fra mudreområde under to år (hele tiltaksperiode)	g/2 år	777 350	3 962	1318	746	10 023	478
Sum spredning under tiltak (g/år)	g/år	388 675	1 981	659	373	5 012	239
Alternativ 2: 95 % konfidensnivå i volumberegninger							
Total spredning fra mudreområde under to år (hele tiltaksperiode)	g/2 år	821 047	4 220	1396	817	10 055	520
Sum spredning under tiltak (g/år)	g/år	410 523	2 110	698	408	5 027	260

Tabell 19. Beregnet spredning av kobber, kvikksølv, antracen, indeno (1,2,3 – cd)pyren, tributyltin (TBT), og klorerte bifenyl (PCB7) (g) fra sedimentene i deponiområdene under tiltak.

Mekanisme	Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd)pyren	TBT	PCB7
Spredning som følge av deponering							
Alternativ 1: 80 % konfidensnivå i volumberegninger							
Spredning under deponering, TK I-III, Borg 1 og 2	g/2 år	318 231	1 436	73	154	33	42
Porevannsutpressing etter deponering	g/2 år	349	0	8	0	50	0
Alternativ 2: 95 % konfidensnivå i volumberegninger							
Spredning under deponering, TK I-III, Borg 1 og 2	g/2 år	294 437	1 329	68	143	30	39
Porevannsutpressing etter deponering	g/2 år	349	0	8	0	50	0
Bidrag fra sedimentene							
Diffusjon fra sediment i deponiområder	g/år	845	1	12	0	81	0
Transport via organismer i deponiområde	g/år	14	0	4	1	121	3
Alternativ 1: 80 % konfidensnivå i volumberegninger							
Total spredning fra deponiområde under 2 år (hele tiltaksperiode)	g/2 år	320 298	1 439	113	156	486	48
Sum spredning fra deponiområde under tiltak	g/år	160 149	720	57	78	243	24
Alternativ 2: 95 % konfidensnivå i volumberegninger							
Total spredning fra deponiområde under 2 år (hele tiltaksperiode)	g/2 år	296 504	1 332	108	144	483	45
Sum spredning fra deponiområde under tiltak	g/år	148 252	666	54	72	242	22

4.3 Spredning av miljøgifter etter tiltak

Sammenstilling av beregnet spredning av miljøgifter ved ulike mekanismer etter tiltak er vist i Tabell 20 (mudreområder) og i Tabell 21 (deponiområder). Etter tiltak er de viktigste mekanismer for spredning av miljøgifter i hovedsak som i nå-tilstand. I beregningene er Borg havn klassifisert som «stor havn» etter tiltaket, men siden konsentrasjonen i sedimentet vil være lavere etter tiltaket blir oppvirvlingen av for eksempel kvikksølv pga. propellerrosjon omtrentlig lik etter tiltaket sammenlignet med nå-tilstand.

Tabell 20. Årlig spredning av kobber, kvikksølv, antracen, indeno (1,2,3 – cd)pyren, tributyltin (TBT), og klorerte bifenyl (PCB7) (g/år) fra sedimentene i hele mudringsområdet (Borg 1 og 2) etter tiltak.

Mekanisme	Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd)pyren	TBT	PCB7
Diffusjon fra sediment i mudrede områder	g/år	3 734	6	125	1	299	1
Oppvirvling pga propellerrosjon i mudrede områder	g/år	224 351	1 166	196	159	233	25
Transport via organismer i mudrede områder	g/år	31	0	21	2	222	5
Sum spredning etter tiltak, mudreområdet	g/år	228 116	1 172	342	162	754	31

Tabell 21. Årlig spredning av kobber, kvikksølv, antracen, indeno (1,2,3 – cd)pyren, tributyltin (TBT), og klorerte bifenyl (PCB7) (g) fra sedimentene i Svaaleskjær og Møkkalasset (deponiområder) etter tiltak.

Mekanisme	Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd)pyren	TBT	PCB7
Diffusjon fra deponiområdet etter tiltak	g/år	1 487	2	50	1	119	0
Transport via organismer i deponiområde	g/år	12	0	8	1	89	2
Sum spredning etter tiltak (g/år), deponi	g/år	1 500	2	58	1	208	2

4.4 Samlet spredning

Samlet årlig spredning av miljøgifter fra mudre- og deponiområdene som er inkludert i miljøgiftbudsjettet er vist i Tabell 22 og visuelt i Figur 3. Resultatene i Tabell 22 viser at det er svært liten forskjell i spredningen av metaller og organiske miljøgifter mellom de to alternativene vurdert for situasjon «under tiltak» (80 % og 95 % konfidensnivå volumberegninger). Forskjellen er så liten at den ikke er synlig i den grafiske fremstillingen. For å være på den konservative siden diskuteres imidlertid alternativet som gir den høyeste spredningen og lengste inntjeningsperioden, dvs. volumberegninger med 95 % konfidensnivå.

For alle komponentene inkludert i miljøgiftbudsjettet viser resultatene at tiltaket i Borg havn vil føre til en redusert spredning av miljøgifter fra sedimentene etter at tiltaket er gjennomført i sin helhet. Ses tiltaket under ett (mudre- og deponiområder) er spredningen fra området lavere etter tiltak enn før tiltak. Det er forutsatt at stoffene ikke overskrider tilstandsklasse III i mudringsområdene og i deponiområdene etter at tiltaket er gjennomført. Spredning etter tiltak er beregnet ut fra kjerneintervaller fra mudredyp, kun konsentrasjon av antracen overskrider tilstandsklasse III i disse prøvene.

Under tiltaket er spredningen av kobber, kvikksølv, antracen, indeno(1,2,3-cd)pyren og TBT høyere enn i nå-tilstanden. Spredning av PCB7 er beregnet å være lik eller noe lavere som i nå-tilstanden. Økningen er relativt sett størst for kobber, kvikksølv og antracen. Mudring og deponering alene er beregnet å gi en total spredning av 670 kg kobber, 3,28 kg kvikksølv og 0,56 kg antracen under tiltaksperioden på 2 år. Bidraget fra sedimentene med samme mekanismer som i nå-tilstand i 2 års perioden er 448 kg kobber, 2,3 kg kvikksølv og 0,95 kg antracen.

Spredning av PCB7 under tiltaksperiode er beregnet å være lik eller noe lavere spredning som foregår i nå-tilstand. Ved å sammenligne konsentrasjoner før og under tiltak (Tabell 9 og Tabell 11) kan man se at gjennomsnittlig konsentrasjon i Borg 1 er lavere før tiltak (0,027 mg/kg) enn dypere i sedimenter (0,020 mg/kg). Dette bidrar til at sammensett blir spredningen under tiltaket mindre enn før tiltaket. Spredningen av PCB7 som følge av mudring og deponering er relativt sett liten sammenlignet med andre spredningsmekanismer.

Fordelingen mellom ulike spredningsmekanismer ved en 2 års tiltaksperiode er vist i Figur 4. For kobber og kvikksølv er dominerende spredningsmekanismene relativt like. Under tiltaket er de viktigste mekanismer for spredning av metaller oppvirvling pga. propellersosjon, men også mudring og deponering av sedimenter i tilstandsklasser I-III og IV-V bidrar betydelig (Figur 4). Totalt sett er spredningen som følge av selve tiltaket størst sammenlignet med øvrige spredningsmekanismene som foregår også i dagens situasjon. For antracen er dominerende spredningsmekanismer under tiltaket mekanismene som foregår også i nå-tilstand (diffusjon, propellersosjon og transport via organismer), men også oppvirvling fra selv mudring og deponering bidrar til spredningen (Figur 4).

Økningen i spredning av kobber er liten i sammenliknet med dagens bidrag fra andre kilder. Også bidraget av kvikksølv fra andre kilder er betydelig høyere sammenlignet med spredningen som kan forventes under tiltaket. Årlig tilførsel av kvikksølv og kobber med Glomma overstiger beregnet årlig spredningen under tiltaket flere ganger (henholdsvis 6 ganger høyere for kvikksølv og 75 for kobber).

Det kan også nevnes at Borregaard AS ved Sarpsborg slapp i perioden 2012-2016 årlig ut 2-9 kg kvikksølv og 30 920-42 150 kg kobber til Glomma. Kronos Titan AS slapp ut fra 1,7-3,2 kg kvikksølv i samme perioden (kilde: norskeutslipp.no). For året 2016 slapp disse to bedriftene samlet ut 4,2 kg kvikksølv. Dette er ca. 1 kg høyere enn forventet omtrentlig årlig spredning av kvikksølv under tiltaksperiode (2,7 kg, Tabell 22), inkludert alle spredningsmekanismene. Selv mudring og deponering er beregnet å være ca. 1,65 kg/år. Som diskutert i kapittel 2.1.2, er konsentrasjon av kvikksølv under deteksjonsgrensen i stor del av sedimentprøvene, og det er benyttet

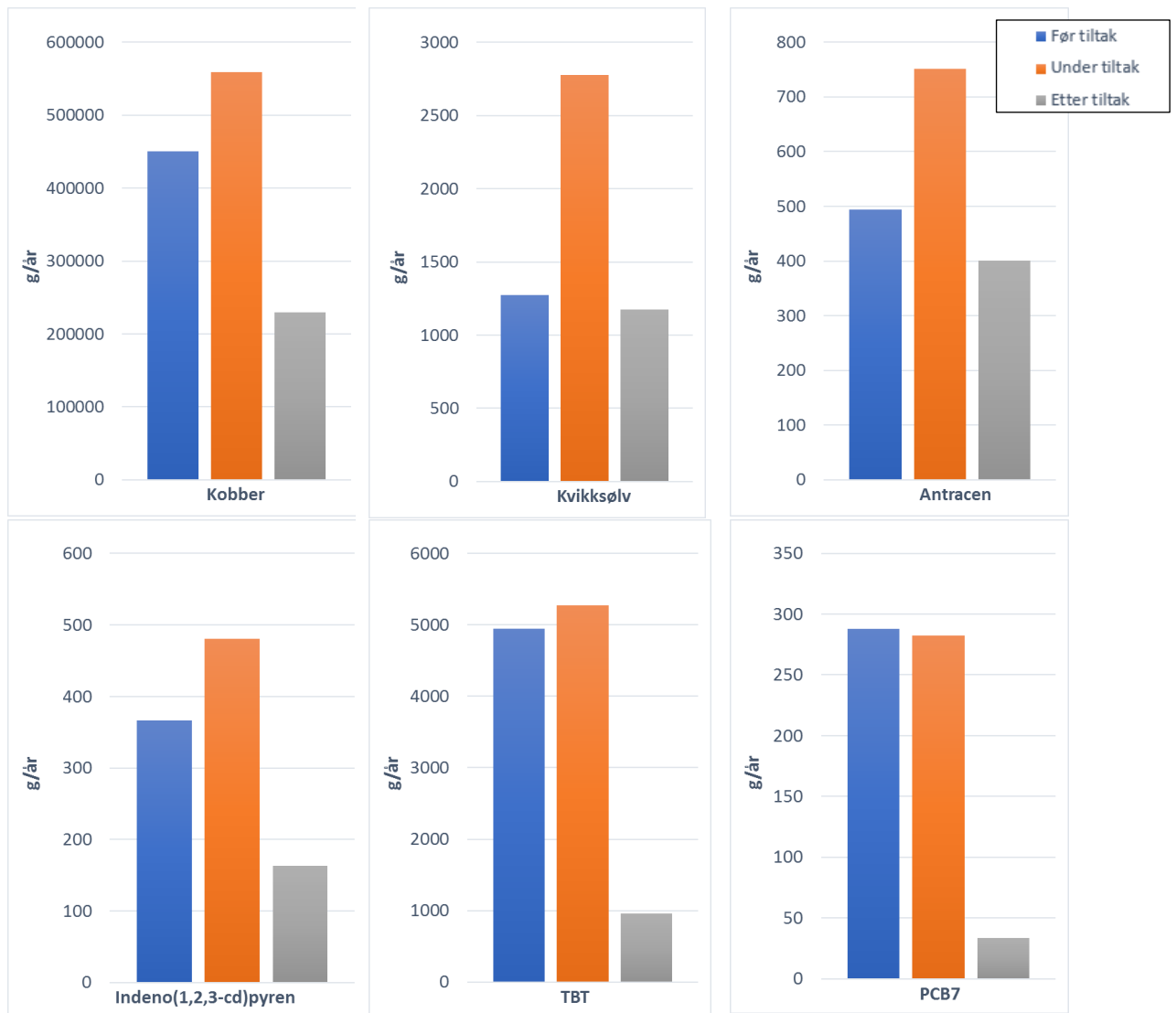
konservativ antakelse om konsentrasjon (0,1 mg Hg/kg) for disse prøvene. Dette kan føre til at særlig spredning under mudring og deponering av sediment i tilstandsklasse I-III er overestimert. Disse mekanismene bidrar betraktelig til økt spredning av metaller, Figur 4 viser at 35 % av beregnet spredning av kvikksølv skyldes håndtering av sediment i tilstandsklasse I-III under tiltaket.

Frigjørelse av porevann under mudring og deponering samt ved utpressing av porevann etter deponering gir en relativt liten spredning av miljøgifter. For eksempelvis er beregnet spredning av kvikksølv med porevann 5 g pr. år som tilsvarer kun ca. 0,1 % av totalt spredningen. Relativt sett er spredningen med porevann høyest for TBT og antracen, for disse stoffer tilsvarer spredning med porevann ca. 7 og 14 % av spredningen under tiltaket.

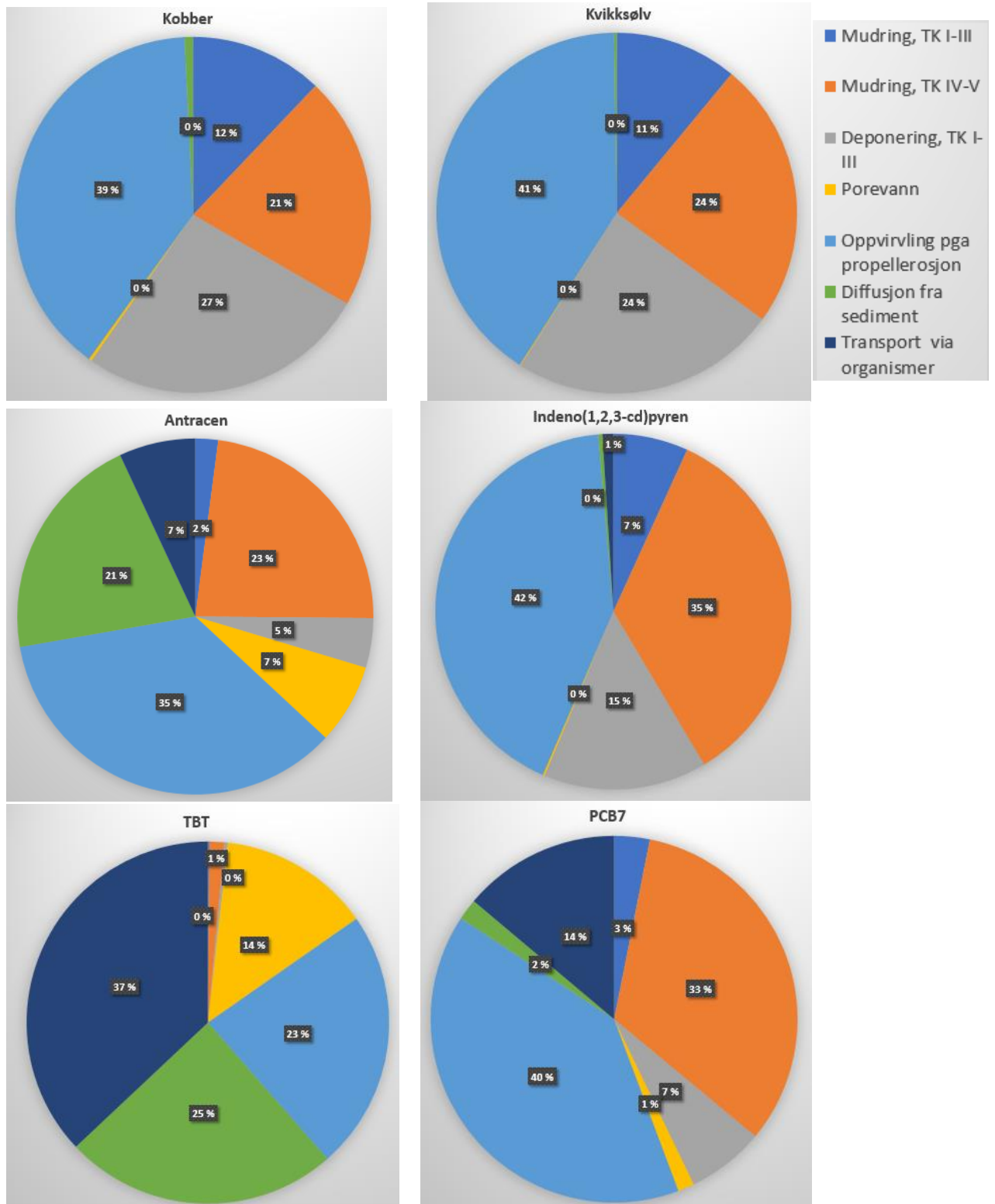
Kvikksølv krever lengst tid før økningen er oppveiet av gevinsten av lavere utlekking (Tabell 22). Inntjeningstid for antracen er også lang. Tiltaket fører til en årlig reduksjon i spredning av kobber, kvikksølv og antracen på henholdsvis 220 kg, 0,10 kg og 0,094 kg. Tiltaket fører til en økning i årlig spredning på 217 kg kobber, 3,0 kg kvikksølv og 0,52 kg antracen. For kvikksølv tar det ca. 30 år og for antracen ca. 6 år etter tiltaket er gjennomført før spredningen fra tiltaket er inntjent. For øvrige stoffer er inntjeningstid kortere og under 2 år. Redusert utlekking fra sedimentene starter omtrent samtidig som tiltaket starter og reduseres ytterligere etter hvert som forurensede sedimenter fjernes. Hvis man betrakter inntjeningen å starte samtidig med tiltaks-tart vil spredningen av kobber, indeno(1,2,3-cd) og TBT være inntjent allerede i løpet av tiltaks-perioden.

Tabell 22. Oppsummering av årlig spredning av kobber, kvikksølv, antracen, indeno (1,2,3 – cd)pyren, tributyltin (TBT), og klorerte bifenyler (PCB7) (g) fra sedimentene i tiltaksområdet før, under og etter tiltak (g/år). Samt årlig tilførsel med Glomma (Miljødirektoratet, 2015, 2016 og 2017). Spredning under tiltak er bidraget fra selve mudringen og deponering pluss bidraget fra sedimentene (samme mekanismer som i nå-tilstand). Gevinst av tiltaket betyr redusert spredning (g/år) etter tiltak er gjennomført. Inntjeningsstid betyr antall år etter endt tiltak før spredningen fra selve tiltaket vil være inntjent. Spredning under tiltak er beregnet for to alternativer for tiltaksgjennomføringen, 80 % og 95 % konfidensnivå i volumberegninger.

		Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd)pyren	TBT	PCB7
Alternativ 1: 80 % konfidensnivå i volumberegninger								
Før tiltak	Sum spredning før tiltak, mudre- og deponiområder	g/år	450 079	1 276	494	366	4 945	288
Under tiltak	Sum spredning under tiltak (g/år)	g/år	548 824	2 701	716	451	5 254	263
	Sum spredning under tiltak (g/ 2 år, hele tiltaksperiode)	g/2 år	1 097 648	5 402	1 432	901	10 509	526
Etter tiltak	Sum spredning etter tiltak (g/år)	g/år	229 615	1 175	401	163	962	34
	Gevinst (g/år)	g/år	220 464	101	94	203	3 983	254
	Inntjeningsstid	år	0,9	28,2	4,7	0,8	0,2	Lavere spredning under tiltak
Alternativ 2: 95 % konfidensnivå i volumberegninger								
		Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd)pyren	TBT	PCB7
Under tiltak	Sum spredning under tiltak (g/år)	g/år	558 775	2 776	752	481	5 269	282
	Sum spredning under tiltak (g/ 2 år, hele tiltaksperiode)	g/2 år	1 117 550	5 552	1 503	961	10 538	564
	Inntjeningsstid	år	1,0	29,7	5,5	1,1	0,2	Lavere spredning under tiltak
Årlig tilførsel med Glomma (Miljødirektoratet, 2015, 2016, 2017)		g/år	41 870 000 (2014-2016, snitt)	16 100 (2014-2016, snitt)	-	-	-	-



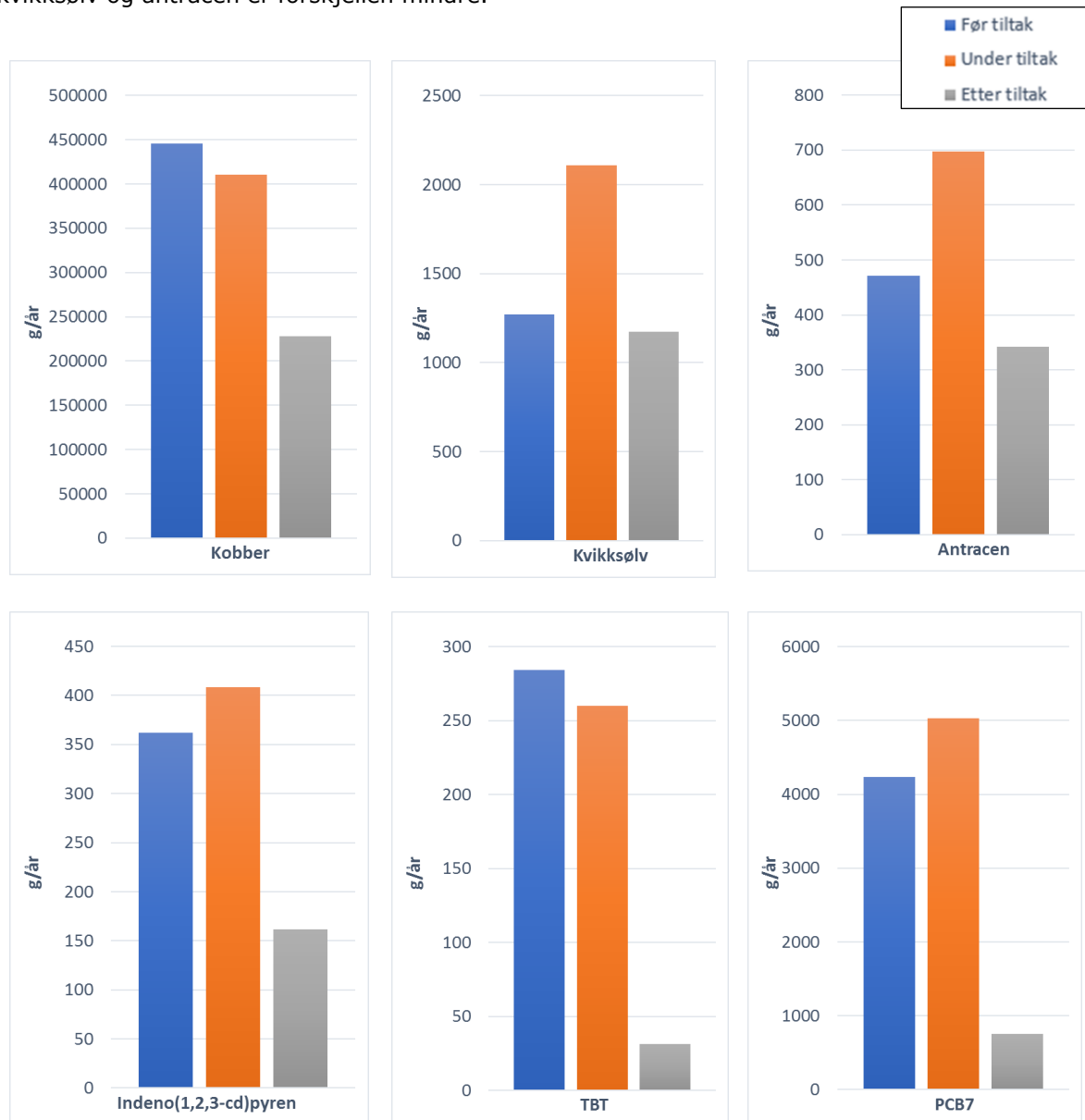
Figur 3. Oppsummering av årlig spredning av kobber, kvikksølv, antracen, indeno(1,2,3 – cd)pyren, tributyltin (TBT), og klorerte bifenyler (PCB7) fra sedimentene i tiltaksområdet før, under og etter tiltak (g/år). Basert på volumberegninger med 95 % konfidensnivå som gir høyere spredning under selv tiltaket.



Figur 4. Sammensatt fordeling mellom bidrag fra ulike spredningsmekanismer for stoffer inkludert i miljøgiftbudsjett i mudre- og deponiområder under tiltaksperiode (2 år). Spredning via diffusjon, transport via organismer og oppvirvling på grunn av propellersosjon skjer også i nå-tilstand.

4.4.1 Mudreområdene

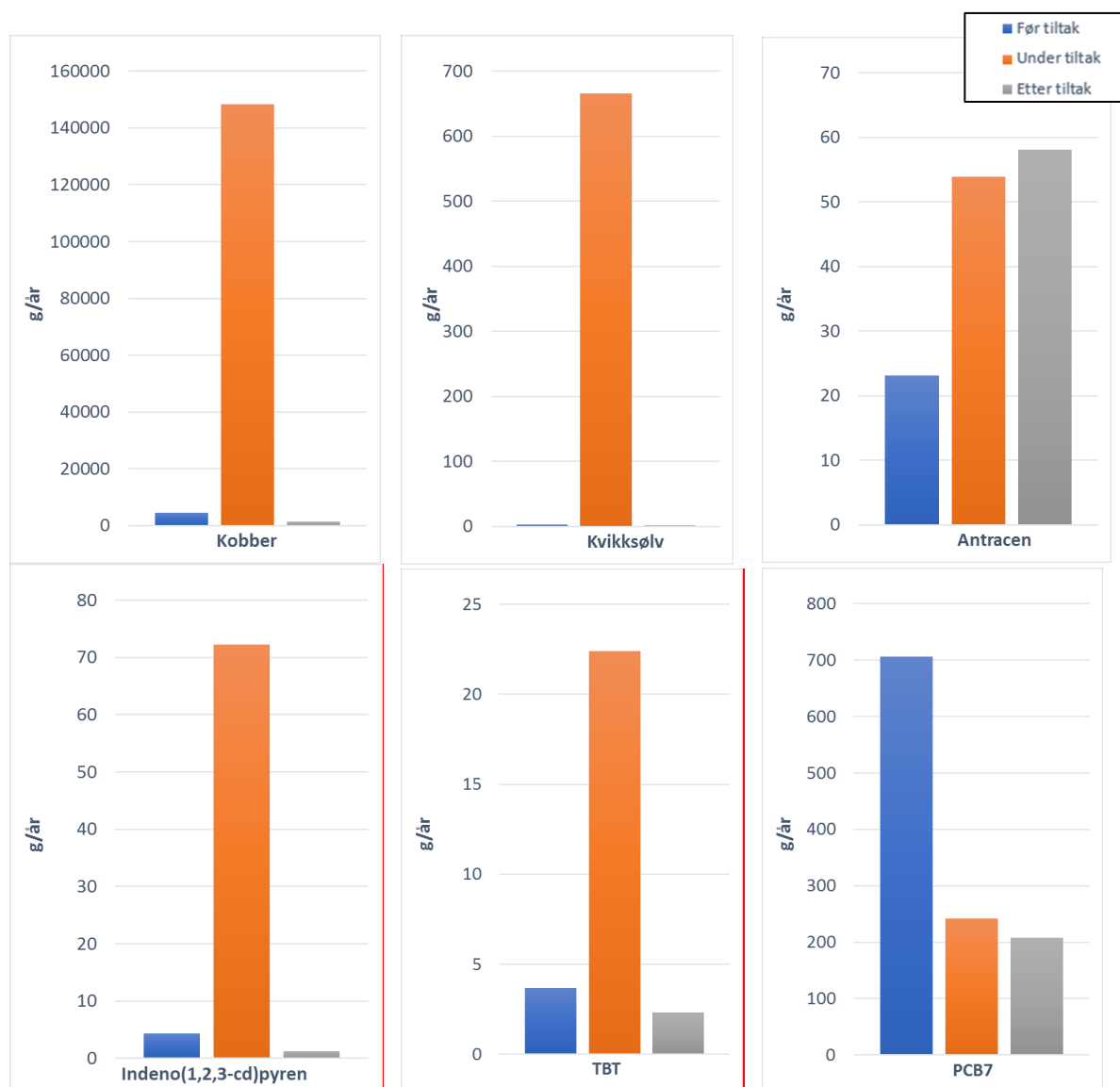
Tabell 9 og Tabell 15 viser at konsentrasjonen av metaller og organiske miljøgifter inkludert i miljøgiftbudsjettet, i sedimentene i mudreområdene etter tiltak er noe lavere enn i overflatesedimentene før tiltak. Figur 5 viser årlig spredning fra mudreområder Borg 1 og Borg 2. Spredning av alle stoffer inkludert i miljøgiftbudsjett blir lavere i mudreområder etter tiltaket er gjennomført. Dette gjelder særlig spredningen av kobber, indeno(1,2,3-cd)pyren, TBT og PCB7. For kvikksølv og antracen er forskjellen mindre.



Figur 5. Årlig spredning av stoffer fra sedimentene i mudringsområder (Borg 1 og Borg 2) før, under og etter tiltak (g/år). Spredning under tiltak er bidraget fra selve tiltak pluss bidraget fra sedimentene.

4.4.2 Deponiområdene

Tabell 9 og Tabell 15 viser at konsentrasjonene av de aktuelle stoffene i sedimentene i deponiområdet vil være uendret eller noe lavere etter tiltak enn i overflatesedimentene før tiltak. Under tiltaket er de viktigste mekanismer for spredningen av miljøgifter i deponiområde bidraget fra selv deponeringen av sedimenter i tilstandsklasse I-III. Figur 6 viser at spredningen av antracen i Møkkalasset og Svaleskjær vil være større etter tiltak enn før tiltak. Spredningen av antracen overskrider imidlertid ikke «tillatt spredning», og konsentrasjon er under tilstandsklasse III. Det er usikkerhet knyttet til konsentrasjon av antracen i prøvene som har konsentrasjon under deteksjonsgrensen (jf. kapittel 2.1.2). Dette vil si at spredningen av antracen være overestimert fra sedimentet i tilstandsklasse I-III. Høyere spredning etter deponering kan også skyldes endrede sedimentparameterne som innhold av organisk materiale.



Figur 6. Årlig spredning av stoffer fra sedimentene i deponiområdene Svaleskjær og Møkkalasset før, under og etter tiltak (g/år). Spredning under deponering er bidraget fra selve deponering plus bidraget fra sedimentene. Spredning under deponering er beregnet for deponering av sedimenter i tilstandsklasse I-III som det søkes om å legge i dyvvannsdeponi. Det gjøres oppmerksom på at spredning av antracen etter tiltaket trolig er overestimert grunnet høy deteksjonsgrense.

For øvrige komponenter vil tiltaket gi en uendret eller noe lavere spredning. Spredningen i deponiområdene er imidlertid liten sammenlignet med spredningen fra mudreområdet (jfr. kapittel 4.4.1). Spredning av PCB fra deponiområdene er lavere også under tiltaket. Det er verdt å merke at selv om deponeringen fører til en økning i spredning representerer det ingen økologisk risiko så lenge konsentrasjonene ikke overskrider øvre grense for tilstandsklasse III.

5. KONKLUSJONER

Analysen av overflatesedimenter i mudringsområdene for utvidelse av farleden inn til Borg havn (Borg 1 and 2) har dannet grunnlag for å beregne spredning av miljøgifter fra sedimentene før tiltak. Analyser av sedimentkjerner fra mudringsområdet har dannet grunnlag for å beregne spredning av miljøgifter under selve tiltaket som består av mudring og deponering. Risikovurdering av miljøgifter i forurenset sedimentene som skal mudres viser at det er stoffene kobber, kvikksølv og en PAH-komponent (antracen), PCB7 og TBT som utgjør en økologisk risiko ved spredning. Miljøgiftbudsjett er derfor utledet for disse seks stoffene nevnt over.

Ut ifra de beregninger og betraktninger som er gjort og vist i figurene i foreliggende rapport, vil mudring og deponering av sedimenter i dypvannsdeponiet sammensett medføre positiv miljøeffekt både for de mudrede områdene og for deponiområdet i forhold til dagens situasjon. Tilstanden i mudringsområdet og deponiområdene etter at operasjonen er ferdig, vil være bestemmende for hvor stor spredningen blir etter tiltak. Analyser av sedimentkjerneprov fra mudringsdyp har dannet grunnlag for å beregne spredning av miljøgifter etter tiltak. I slutfasen av tiltaket vil bare rene sedimenter bli mudret og deponert (tilsvarende tilstandsklasse III maksimalt) og dette fører til at spredningen av de fleste analyserte miljøgifter er uendret eller noe lavere etter tiltak enn før tiltak i deponiområdene. Bare spredningen av antracen er større fra deponiområdet etter at tiltaket er gjennomført, men spredningen utgjør ingen økologisk risiko. Etter tiltak utgjør ingen av stoffene en økologisk risiko ved spredning. Også i mudringsområdet fører mudring til en bedring i tilstanden for alle stoffer inkludert i miljøgiftbudsjett. Høy naturlig sedimentasjon i området (cirka 3-9 mm/år, Helland, 2003) av partikler fra Glomma vil føre til at tilstanden, slik den var før tiltaket, gjenopprettes etter relativt kort tid. Dette vil si at fremtidig spredning av miljøgifter fra sedimentet også vil være avhengig av mengde forurensing som tilføres området av Glomma.

Spredningen av miljøgifter under tiltak er større i mudreområdet enn spredningen av miljøgifter fra deponiområdet. Massene i tiltaksklasse IV-V vil bli deponert på land og det blir derfor ingen spredning av miljøgifter eller partikler under deponering.

Beregninger er gjort for to alternativer for volumberegninger (med 80 og 95 % konfidensnivå). Resultatene viser at spredning av miljøgifter for disse to alternativene er relativt lik. Andel masser i tilstandsklasse IV-V er høyere hvis mudringen gjennomføres etter volumene beregnet med 95 % konfidensnivå, som fører til at total spredningen av miljøgifter blir høyere. Det er benyttet samme gjennomsnittlig konsentrasjon for massene i tilstandsklasse IV-V i beregninger, men i praksis vil konsentrasjon være noe lavere hvis massene mudres etter 95 % volumberegninger.

Tiltaket fører til at spredningen av kobber, kvikksølv, antracen, indeno(1,2,3-cd)pyren, TBT og PCB7 er høyere under tiltaksperioden som er antatt å være 2 år. I forhold til dagens situasjon er økning i spredningen størst for kvikksølv og antracen. Ses tiltaket under ett, spres det av 3,3 kg kvikksølv og 0,56 kg antracen (mudring og deponering). Sammenlignes bedringen i sedimentenes miljøkvalitet med mengden som spres under tiltaket, tar det ca. 6 år å «tjene inn» mengden antracen. Det tar noe lenger tid, ca. 30 år, å «tjene inn» mengden kvikksølv. Beregningene med hensyn på antracen og kvikksølv er konservative, siden det er tatt i utgangspunkt halv deteksjonsgrense for de prøvene der konsentrasjon er under deteksjonsgrense. Til sammenligning kan nevnes at Borregaard AS og Kronos Titan slapp ut 4,2 kg kvikksølv i 2016 og tilførselen av kvikksølv med Glomma i årene 2014-2016 var gjennomsnittlig 16,1 kg i 2014-2016.

6. REFERANSER

- Helland, A 2003. Transport and sedimentation of metals and organic matter in the Glomma estuary, South east Norway. Dr scient Avhandling. Agricultural University of Norway.
- NIVA, 2018. Statistisk analyse av volum av forurenset sediment i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet kjemisk analysemateriale fram til 2017. (under utarbeidelse)
- Miljødirektoratet, 2016. M-608/2016 – Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota.
- Miljødirektoratet. 2016. M-409 - Veileder for Risikovurdering av forurenset sediment. M-409/2016, 108 s.
- Miljødirektoratet. 2016. M-608 Veileder - Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. M-608/2016. 26 s.
- Multiconsult, 2017. Supplerende sedimentundersøkelser, Borg havn. 713909-RIGm-RAP-001.
- Miljødirektoratet 2011. Bruk av miljøgiftbudsjett ved gjennomføring av tiltak i forurenset sjøbunn – Utredning av muligheter. TA-2804-2011
- NGI 2011. Borg havn – Alternative deponier for rene mudringsmasser. Feltundersøkelser ved seks nye lokaliteter. NGI-rap 20110135-00-2-R, 84 s.
- Miljødirektoratet. 2015. Rapport M-439:2015. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters – 2014. 216 s.
- Miljødirektoratet. 2016. Rapport M-634:2016. Elvetilførsler og direkte tilførsler til norske kystområder – 2015. 206 s.
- Miljødirektoratet. 2017. Rapport M-862:2017. Elvetilførsler og direkte tilførsler til norske kystområder – 2016. 206 s.
- NIVA. 2015. Overvåking av Ytre Oslofjord 2014. Årsrapport. NIVA-rapport 6184-2011. 53 s.
- Rambøll, 2013. M-rap-017-1110438-Datarapport-rev001.
- Rambøll, 2015. M-rap-021-1110438-Datarapport sedimentprøvetaking_rev01.
- Rambøll, 2014. Borg 2 Miljøtekniske Sedimentundersøkelser - Rambøll M-rap-025, 38 s. + vedlegg.
- Rambøll, 2016B. M-not-50-1110438 Nye volumberegninger for Borg 1 og 2 etter M-241_2014_rev01
- Rambøll, 2018. M-not-55-1110438-019 – Borg 1 og Flyndregrunnen – Supplerende sedimentundersøkelser og oppdaterte vertikale profiler av forureningsmektigheten (utkast)
- Rambøll, 2018. Farledsutbedring Borg havn. Volum rent og forurenset sediment fra tiltaket – metode og resultateter. Rambøll rapport M-rap-55-1110438. 19 s.
- Rambøll. 2012. Konsekvenser av planlagte tiltak for vannforekomsten. Røsvikrenna – Fredrikstad kommune – Østfold fylke. O-1110438 - Rambøll M-rap-007, 80 s.

Rambøll. 2015. Borg 1 Sedimentkartlegging av forurensningsmektighet. 30 s. + vedlegg.

Rambøll, 2018. M-not-55- Borg 1 og Flyndregrunnen – Supplerende sediment-undersøkelser og oppdaterte vertikale profiler av forurensningsmektigheten (utkast)

Rådgivende Biologer AS. 2017. Undersøkelse av bløtbunnsfauna. Utrede deponiområder Møkka-lasset og Svaleskjæret, Fredrikstad kommune. Rapport 2017-18.

Vedlegg 1. Klassifisering av miljøgifter i sediment iht. M-608:2016

Tabell V1-1. Klassifisering av miljøgifter i sedimenter i henhold til Miljødirektoratets veileder M-608 (Miljødirektoratet, 2016).

			Tilstandsklasser				
			I	II	III	IV	V
			Ubetydelig forurenset / Bakgrunnsnivå	Moderat forurenset / God kvalitet	Markert forurenset / Moderat kvalitet	Sterkt forurenset / Dårlig kvalitet	Meget sterkt forurenset / Svært dårlig kvalitet
Støtteparameter	Tørrstoff	%					
Metaller	Arsen	mg/kg	<15	15-18	18-71	71-580	>580
	Bly	mg/kg	<25	25-150	150-1480	1480-2000	>2000
	Kadmium	mg/kg	<0,2	0,2-2,5	2,5-16	16-157	>157
	Kobber	mg/kg	<20	20-84	84-84	84-147	>147
	Krom	mg/kg	<60	60-660	660-6000	6000-15500	>15500
	Kvikksølv	mg/kg	<0,05	0,05-0,52	0,52-0,75	0,75-1,45	>1,45
	Nikkel	mg/kg	<30	30-42	42-271	271-533	>533
	Sink	mg/kg	<90	90-139	139-750	750-6690	>6690
PAH	Naftalen	µg/kg	<2	2-27	27-1754	1754-8769	>8769
	Acenaftylen	µg/kg	<1,6	1,6-33	33-85	85-8500	>8500
	Acenaften	µg/kg	<2,4	2,4-96	96-195	195-19500	>19500
	Fluoren	µg/kg	<6,8	6,8-150	150-694	694-34700	>34700
	Fenantren	µg/kg	<6,8	6,8-780	780-2500	2500-25000	>25000
	Antracen	µg/kg	<1,2	1,2-4,8	4,8-30	30-295	>295
	Fluoranthen	µg/kg	<8	8-400	400-400	400-2000	>2000
	Pyren	µg/kg	<5,2	5,2-84	84-840	840-8400	>8400
	Benzo[a]antracen	µg/kg	<3,6	3,6-60	60-501	501-50100	>50100
	Chrysen	µg/kg	<4,4	4,4-280	280-280	280-2800	>2800
	Benzo[b]fluoranten	µg/kg	<90	90-140	140-140	140-10600	>10600
	Benzo[k]fluoranten	µg/kg	<90	90-135	135-135	135-7400	>7400
	Benzo[a]pyren	µg/kg	<6	6-183	183-230	230-13100	>13100
	Indeno[123cd]pyren	µg/kg	<20	20-63	63-63	63-2300	>2300
	Dibenzo[ah]antracen	µg/kg	<12	12-27	27-273	273-2730	>2730
	Benzo[ghi]perylen	µg/kg	<18	18-84	84-84	84-1400	>1400
PAH16	µg/kg	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000	
Andre organiske miljøgifter	PCB7	µg/kg	<1	1-4,1	4,1-43	43-430	>430
	PCDD/F (TEQ)	µg/kg	<0,01	0,01-0,03	0,03-0,1	0,1-0,5	>0,5
	DDT	µg/kg	<16	16-165	165-1647	165-1647	>1647
	Lindan	µg/kg	<1,1	1,1-2,2	2,2-11	2,2-11	>11
	Heksaklorbenzen (HCB)	µg/kg	<0	0-17	17-61	61-610	>610
	Pentaklorbenzen	µg/kg	<0	0-400	400-800	800-4000	>4000
	Triklorbenzen	µg/kg	<0	0-5,6	5,6-700	700-1400	>1400
	Hexaklorbutadien	µg/kg	<0	0-49	49-66	66-660	>660
	Høyklorerte kortkjedede klorerte parafiner (SCCP)	µg/kg		<1000	1000-2800	2800-5600	>5600
	Høyklorerte mellomkjedede klorerte parafiner (MCCP)	µg/kg		<4600	4600-27000	27000-54000	>54000
	Pentaklorfenol	µg/kg	<0	0-12	12-34	34-68	>68
	Oktylfenol	µg/kg	<0	0-0,27	0,27-7,3	7,3-36	>36
	Nonylfenol	µg/kg	<0	0-16	16-107	107-214	>214
	Bisfenol	µg/kg	<1,1	1,1-79	79-790	79-790	>790
	TBBPA	µg/kg	<63	63-1100	1100-11000	1100-11000	>11000
	Pentabromodifenyleter	µg/kg	<62	62-7800	7800-16000	7800-16000	>16000
	HBCDD	µg/kg	<0	0-34	34-34	34-2382	>2382
	PFOS	µg/kg	<0,23	0,23-72	72-6300	72-6300	>6300
	Diuron	µg/kg	<0,71	0,71-6,4	6,4-13	6,4-13	>13
	Irgarol	µg/kg	<0,08	0,08-0,5	0,5-2,5	0,5-2,5	>2,5
	TBT Effektbasert	µg/kg	<1	1-0,002	0,002-0,016	0,016-0,032	>0,032
	TBT forvaltningsmessig	µg/kg	<1	1-5	5-20	20-100	>100

Vedlegg 2. Konsentrasjoner av miljøgifter i deponiområder før tiltak

Tabell 23. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i Møkkalasset før tiltak sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Basert på analyser av blandprøver fra overflatesedimentene (0-10 cm, n=7, NGI, 2011, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	7	38,00	32,80	71		
Bly	7	37,00	32,30	1480		
Kadmium	7	0,50	0,25	16,0		
Kobber	7	64,00	57,13	84		
Krom totalt (III + VI)	7	59,00	51,27	6000		
Kvikksølv	7	0,35	0,16	0,75		
Nikkel	7	42,00	38,86	271		
Sink	7	166,00	158,00	750		
Naftalen	7	0,022	0,016	1,754		
Acenaftalen	7	0,010	0,007	0,085		
Acenaften	7	0,010	0,010	0,195		
Fluoren	7	0,010	0,010	0,69		
Fenantren	7	0,018	0,013	2,50		
Antracen	7	0,005	0,005	0,0300		
Fluoranten	7	0,038	0,032	0,4		
Pyren	7	0,029	0,024	0,840		
Benzo(a)antracen	7	0,016	0,013	0,50		
Krysen	7	0,026	0,023	0,28		
Benzo(b)fluoranten	7	0,056	0,035	0,140		
Benzo(k)fluoranten	7	0,029	0,023	0,135		
Benzo(a)pyren	7	0,028	0,022	0,230		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	7	0,027	0,022	0,063		
Dibenzo(a,h)antracen	7	0,010	0,010	0,273		
Benzo(ghi)perylene	7	0,035	0,026	0,084		
Tributyltinn (TBT-ion)	7	0,015	0,004	0,020		
PCB7	7	0,004	0,002	0,0430		

Tabell 24. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i Svaleskjær før tiltak sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Basert på analyser av blandprøver fra overflatesedimentene (0-10 cm, n=7, NGI, 2011, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	7	37,00	33,01	71		
Bly	7	42,00	36,71	1480		
Kadmium	7	0,42	0,22	16,0		
Kobber	7	68,00	58,64	84		
Krom totalt (III + VI)	7	56,00	51,01	6000		
Kvikksølv	7	0,31	0,12	0,75		
Nikkel	7	42,00	39,07	271		
Sink	7	177,00	163,29	750		
Naftalen	7	0,100	0,055	1,754		
Acenaftalen	7	0,100	0,046	0,085	1,2	
Acenaften	7	0,100	0,049	0,195		
Fluoren	7	0,100	0,049	0,69		
Fenantren	7	0,100	0,025	2,50		
Antracen	7	0,005	0,005	0,0300		
Fluoranten	7	0,100	0,039	0,4		
Pyren	7	0,100	0,032	0,840		
Benzo(a)antracen	7	0,100	0,038	0,50		
Krysen	7	0,100	0,032	0,28		
Benzo(b)fluoranten	7	0,100	0,043	0,140		
Benzo(k)fluoranten	7	0,100	0,035	0,135		
Benzo(a)pyren	7	0,100	0,036	0,230		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	7	0,100	0,040	0,063	1,6	
Dibenzo(a,h)antracen	7	0,100	0,049	0,273		
Benzo(ghi)perylene	7	0,100	0,038	0,084	1,2	
Tributyltinn (TBT-ion)	7	0,006	0,003	0,020		
PCB7	7	0,003	0,00147143	0,0430		

Vedlegg 3. Konsentrasjoner av miljøgifter i Borg 1 og Borg 2

Tabell 25. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i Borg 1 sedimentprøver i tilstandsklasser I-III sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Basert på analyser av kjerneprøver (n=425-428) fra Borg 1 (Rambøll M-Rap-021, M-Not-55), gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed} , max (mg/kg)	C _{sed} , middel (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	428	9,18	3,50	71		
Bly	428	29,20	10,58	1480		
Kadmium	428	0,56	0,14	16,0		
Kobber	428	82,40	23,04	84		
Krom totalt (III + VI)	428	49,50	22,25	6000		
Kvikksølv	435	0,62	0,11	0,75		
Nikkel	428	49,30	19,85	271		
Sink	428	178,00	58,28	750		
Naftalen	425	0,0150	0,0101	1,754		
Acenaflyten	425	0,0150	0,0100	0,085		
Acenaften	425	0,0150	0,0101	0,195		
Fluoren	425	0,0260	0,0102	0,69		
Fenantren	425	0,1580	0,0141	2,50		
Antracen	425	0,0081	0,0054	0,0300		
Fluoranten	425	0,2080	0,0206	0,4		
Pyren	425	0,1390	0,0176	0,840		
Benzo(a)antracen	425	0,0440	0,0125	0,50		
Krysen	425	0,0760	0,0143	0,28		
Benzo(b)fluoranten	425	0,0530	0,0134	0,140		
Benzo(k)fluoranten	425	0,0470	0,0120	0,135		
Benzo(a)pyren	425	0,0530	0,0128	0,230		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	425	0,0350	0,0113	0,063		
Dibenzo(a,h)antracen	425	0,0190	0,0100	0,273		
Benzo(ghi)perylene	425	0,0320	0,0111	0,084		
Tributyltinn (TBT-ion)	425	0,0198	0,0027	0,020		
PCB7	425	0,0403	0,0036	0,0430		

Tabell 26. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i Borg 2 sedimentprøver i tilstandsklasser I-III sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Basert på analyser av kjerneprøver (n=61) fra Borg 2 (Rambøll M-Rap-027, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed} , max (mg/kg)	C _{sed} , middel (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	61	12,2	4,347	71		
Bly	61	24,6	12,615	1480		
Kadmium	61	8,65	0,822	16,0		
Kobber	61	80,4	26,248	84		
Krom totalt (III + VI)	61	43,8	26,450	6000		
Kvikksølv	61	0,1	0,100	0,75		
Nikkel	61	41,8	24,557	271		
Sink	61	165	61,079	750		
Naftalen	61	0,01	0,010	1,754		
Acenaflyten	61	0,01	0,010	0,085		
Acenaften	61	0,011	0,010	0,195		
Fluoren	61	0,015	0,0103	0,69		
Fenantren	61	0,076	0,0145	2,50		
Antracen	61	0,029	0,0057	0,0300		
Fluoranten	61	0,167	0,0246	0,4		
Pyren	61	0,173	0,0214	0,840		
Benzo(a)antracen	61	0,071	0,0143	0,50		
Krysen	61	0,078	0,0153	0,28		
Benzo(b)fluoranten	61	0,081	0,0153	0,140		
Benzo(k)fluoranten	61	0,057	0,0137	0,135		
Benzo(a)pyren	61	0,076	0,0142	0,230		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	61	0,053	0,0123	0,063		
Dibenzo(a,h)antracen	61	0,011	0,0100	0,273		
Benzo(ghi)perylene	61	0,046	0,0117	0,084		
Tributyltinn (TBT-ion)	61	0,01	0,0017	0,020		
PCB7	61	0,0078	0,0011	0,0430		

Tabell 27. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i Borg 1 sedimentprøver i tilstandsklasser IV-V sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Basert på analyser av kjerneprøver (n=188) fra Borg 2 (Rambøll M-rap-021, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed} , max (mg/kg)	C _{sed} , middel (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	188	13,80	5,91	71		
Bly	188	127,00	27,15	1480		
Kadmium	188	1,67	0,40	16,0		
Kobber	188	338,00	82,11	84	4,0	
Krom totalt (III + VI)	188	181,00	38,56	6000		
Kvikksølv	190	5,41	0,45	0,75	7,2	
Nikkel	188	75,00	24,64	271		
Sink	188	338,00	129,36	750		
Naftalen	188	2,8400	0,0354	1,754	1,6	
Acenaflyten	188	0,3600	0,0145	0,085	4,2	
Acenaften	188	0,7820	0,0291	0,195	4,0	
Fluoren	188	1,5900	0,0521	0,69	2,3	
Fenantren	188	10,1000	0,2660	2,50	4,0	
Antracen	188	2,3800	0,1240	0,0300	79,3	4,1
Fluoranten	188	8,7100	0,3862	0,4	21,8	
Pyren	188	5,4600	0,2935	0,840	6,5	
Benzo(a)antracen	188	2,8500	0,1500	0,50	5,7	
Krysen	188	5,3700	0,2133	0,28	19,2	
Benzo(b)fluoranten	189	2,4000	0,1517	0,140	17,1	1,1
Benzo(k)fluoranten	188	1,4300	0,1003	0,135	10,6	
Benzo(a)pyren	188	2,3200	0,1406	0,230	10,1	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	188	1,2100	0,1170	0,063	19,2	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	188	1,3700	0,0294	0,273	5,0	
Benzo(ghi)perylene	188	0,9700	0,0642	0,084	11,5	
Tributyltinn (TBT-ion)	188	1,9000	0,0508	0,020	95,0	2,5
PCB7	188	1,4000	0,0665	0,0430	32,6	1,5

Tabell 28. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i Borg 2 sedimentprøver i tilstandsklasser IV-V sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Basert på analyser av kjerneprøver (n=26) fra Borg 2 (Rambøll M-rap-027, Multiconsult, 2017), gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed} , max (mg/kg)	C _{sed} , middel (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	26	15,50	6,83	71		
Bly	26	106,00	42,28	1480		
Kadmium	26	1,57	0,52	16,0		
Kobber	26	176,00	70,78	84	2,1	
Krom totalt (III + VI)	26	67,80	29,68	6000		
Kvikksølv	26	3,66	0,61	0,75	4,9	
Nikkel	26	48,90	26,93	271		
Sink	26	363,00	153,93	750		
Naftalen	26	0,044	0,014	1,754		
Acenaflyten	26	0,012	0,010	0,085		
Acenaften	26	0,028	0,012	0,195		
Fluoren	26	0,064	0,021	0,69		
Fenantren	26	0,373	0,101	2,50		
Antracen	26	0,105	0,032	0,0300	3,5	1,1
Fluoranten	26	0,303	0,219	0,4		
Pyren	26	0,376	0,189	0,840		
Benzo(a)antracen	26	0,158	0,087	0,50		
Krysen	26	0,207	0,101	0,28		
Benzo(b)fluoranten	26	0,174	0,114	0,140	1,2	
Benzo(k)fluoranten	26	0,135	0,078	0,135		
Benzo(a)pyren	26	0,143	0,091	0,230		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	26	0,099	0,068	0,063	1,6	1,1
Dibenzo(a,h)antracen	26	0,020	0,014	0,273		
Benzo(ghi)perylene	26	0,099	0,061	0,084	1,2	
Tributyltinn (TBT-ion)	26	0,019	0,007	0,020		
PCB7	26	0,230	0,023	0,0430	5,3	

Vedlegg 4 Konsentrasjoner av miljøgifter i mudringsdyp

Tabell 29. Målte konsentrasjoner av miljøgifter i sedimentprøver tatt fra mudringsdyp sammenlignet med trinn 1 grenseverdi (tilstandsklasse III). Basert på analyser av kjerneprøver (n=47) fra Borg 1 og 2, gjennomsnitt og maksimalkonsentrasjoner av miljøgiftene er vist.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	47	6,39	2,99	71		
Bly	47	50,20	9,72	1480		
Kadmium	47	0,50	0,12	16,0		
Kobber	47	112,00	19,73	84	1,3	
Krom totalt (III + VI)	47	33,10	20,92	6000		
Kvikksølv	47	0,25	0,10	0,75		
Nikkel	47	31,70	19,56	271		
Sink	47	145,00	49,09	750		
Naftalen	47	0,0590	0,0119	1,754		
Acenafitylen	47	0,0100	0,0100	0,085		
Acenafiten	47	0,1340	0,0132	0,195		
Fluoren	47	0,2870	0,0177	0,69		
Fenantren	47	0,9660	0,0432	2,50		
Antracen	47	0,1650	0,0117	0,0300	5,5	
Fluoranten	47	0,4580	0,0371	0,4	1,1	
Pyren	47	0,3760	0,0335	0,840		
Benzo(a)antracen	47	0,1580	0,0185	0,50		
Krysen	47	0,2070	0,0209	0,28		
Benzo(b)fluoranten	47	0,1740	0,0170	0,140	1,2	
Benzo(k)fluoranten	47	0,0910	0,0151	0,135		
Benzo(a)pyren	47	0,1130	0,0169	0,230		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	47	0,0870	0,0140	0,063	1,4	
Dibenzo(a,h)antracen	47	0,0270	0,0106	0,273		
Benzo(ghi)perylene	47	0,1000	0,0139	0,084	1,2	
Tributyltinn (TBT-ion)	47	0,0120	0,0015	0,020		
PCB7	47	0,0274	0,0022	0,0430		