



RAPPORT

Risikovurdering av sedimenter i indre Oslofjord

RISIKOVURDERING (TRINN 2) AV SEDIMENTER I
15 DELOMRÅDER I INDRE OSLOFJORD

DOK.NR. 20200524-02-R
REV.NR. 0 / 2021-01-29

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Prosjekt

Prosjekttittel: Risikovurdering av sedimenter i indre Oslofjord
Dokumenttittel: Risikovurdering (trinn 2) av forurensede sedimenter i 15 delområder i indre Oslofjord
Dokumentnr.: 20200524-02-R
Dato: 2021-01-29
Rev.nr. / Rev.dato: 0

Oppdragsgiver

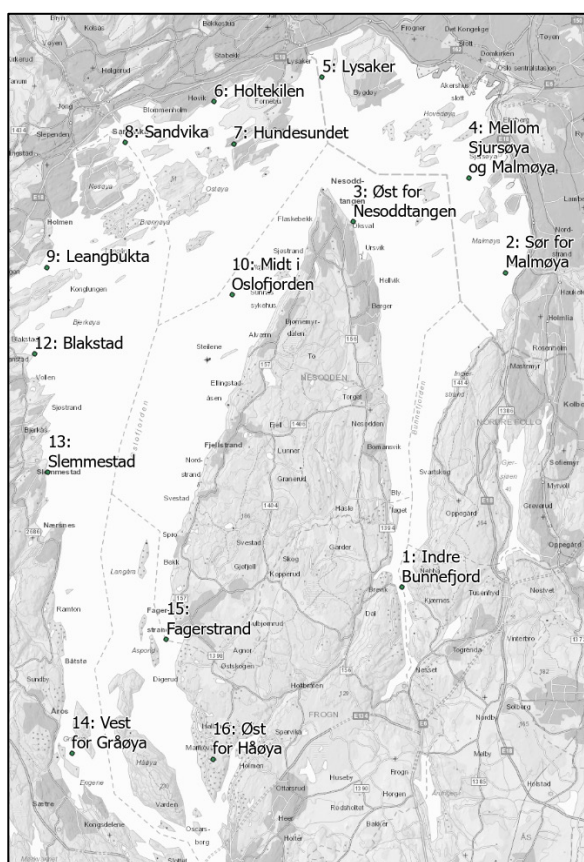
Oppdragsgiver: Fagrådet for vann og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord
Kontaktperson: Line Kristin Haug
Kontraktreferanse: Kontrakt signert, 2020-08-05

for NGI

Prosjektleder: Gøril Aasen Slinde
Utarbeidet av: Mari Moseid, Ingvild Fladvad Størdal og Gøril Aasen Slinde
Kontrollert av: Gijs Breedveld

Sammendrag

Sedimentene i Indre Oslofjord er forurenset av ulike aktiviteter, blant annet avrenning fra urbane områder. For å vurdere tiltak for å forbedre miljøtilstanden i sedimentene, har Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord (Fagrådet), bedt om at det blir gjennomført en risikovurdering for sedimentene innenfor 15 delområder av indre Oslofjord. Områder er vist i figuren under. NGI har bistått Fagrådet med innhenting av data for å gjennomføre risikovurdering av forurenset sediment, samt risikovurdering av sedimentene i henhold til veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Miljødirektoratet, 2015).



Delområder som omfattes av undersøkelsen.

Målet med undersøkelsene er å kunne sammenligne risiko forbundet med sedimentene innenfor de ulike delområdene. Det vil ikke kunne prosjekteres tiltak på bakgrunn av resultater i denne rapporten, men rapporten benyttes som er verktøy for å prioritere områder for vurdering av tiltak på bakgrunn av beregnet risiko.

Risikovurderingene som gjennomføres er gjort i tråd med veileder for *Risikovurdering av forurenset sediment* (veileder M-409, Miljødirektoratet, 2015). Verktøyet angir metodikk for å beregne risiko for spredning, human helse og økologiske effekter. Som input til verktøyet benyttes stedsspesifikke data for de enkelte delområder, blant annet

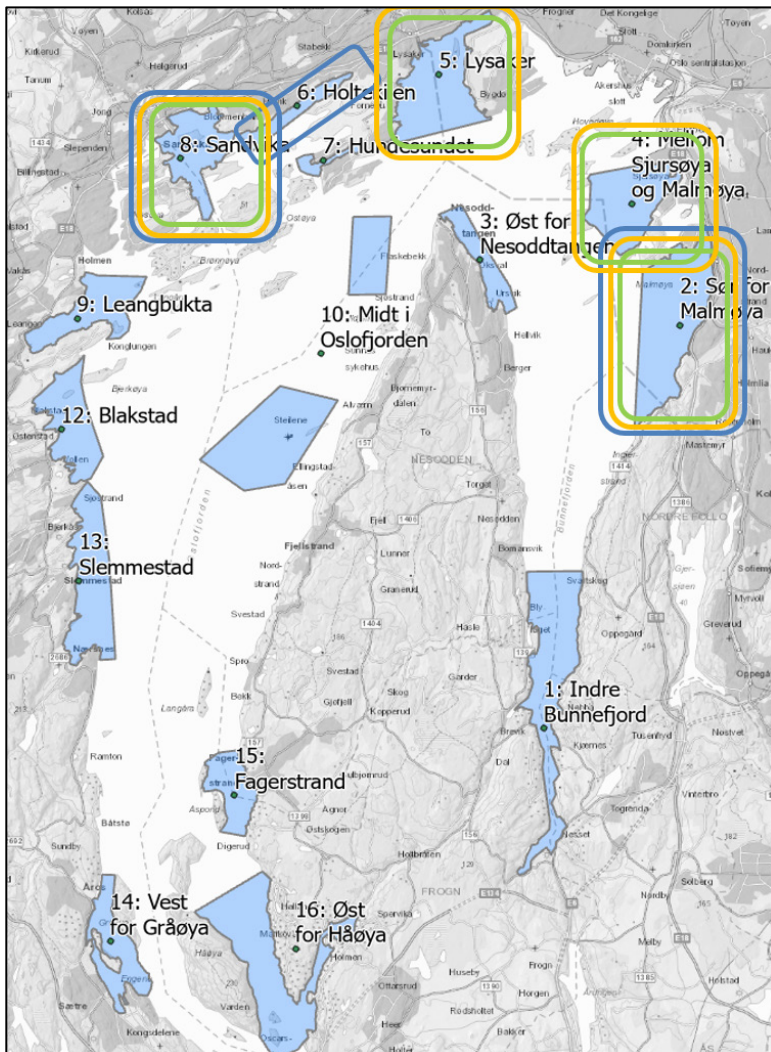
påviste konsentrasjoner av forurensning i sedimentet, påviste konsentrasjoner i porevannet, sedimentarealer, informasjon om skipstrafikk, vanndybde m.m. Verktøyet beregner deretter spredning, eksponering av mennesker og økosystemet, samt sammenligner de beregnede risikoene med etablerte grenseverdier. Sammenligning med grenseverdier vil si noe om den beregnede risikoen er akseptabel.

En risikovurdering etter M-409 har tre trinn, der hvert trinn gir økende kompleksitet og bedre stedsspesifikk tilpasning. En trinn 1 vurdering er kun en risikovurdering av mulige økologiske effekter under standardiserte forhold. Denne vurderingen er oppsummert i en egen rapport (NGI, 2021), sammen med en presentasjon av analysedata som er innhentet i prosjektet. Konklusjonen etter trinn 1 risikovurderingen er at ingen av delområdene har akseptabel risiko med tanke på fare for økologiske effekter.

Denne rapporten oppsummerer i hovedsak en trinn 2 risikovurdering av delområdene, med en stedsspesifikk tilpasning av områdene (trinn 3) ved at det er analysert porevann fra stedlige sedimenter. I trinn 2 risikovurdering er beregnede risikoer sammenlignet med gjeldende grenseverdier for å si noe om akseptabel risiko for spredning, human helse og økologiske effekter. Risikovurderingene utført i dette prosjektet viser at alle delområdene i undersøkelsen har overskridelser av sedimentkonsentrasjoner som ansees som uakseptable for spredning, human helse og økosystemet. Imidlertid er det en betydelig variasjon mellom de ulike delområdene i hvor stor grad akseptabelt nivå overskrides, samt hvor mange parametere som det påvises overskridelser for. På bakgrunn av dette har NGI gitt en prioritering av de ulike delområdene, og det ser ut som den samlede risikoen er høyest i følgende delområder:

- ↗ Delområde 2 (sør for Malmøya) Har overskridelse for risiko for spredning, human helse og økologiske effekter
- ↗ Delområde 8 (Sandvika): Har overskridelse for risiko for spredning, human helse og økologiske effekter
- ↗ Delområde 5 (Lysaker): Har overskridelse for risiko for human helse og økologiske effekter
- ↗ Delområde 4 (mellom Sjursøya og Malmøya): Har overskridelse for risiko for human helse og økologiske effekter

Vurderingen er oppsummert i figuren nedenfor.



Grafisk oppsummering av beregnet risiko. Firkanter viser områder hvor risikovurdering har vist høyest risiko for spredning (blå firkanter), human helse (oransje firkanter) og økologiske effekter (grønne firkanter). Det understrekes at ingen delområder i indre Oslofjord har akseptabel risiko for noen av de vurderte risikoelementene.

Det anbefales at de fire identifiserte delområdene med høyest risiko går videre til en trinn 3 risikovurdering, med mål om å planlegge for tiltaksgjennomføring.

Innhold

1	Innledning	8
1.1	Områdebeskrivelse	8
1.2	Mål for undersøkelsen	10
2	Risikovurdering av forurenset sediment	12
2.1	Miljømål	12
2.2	Trinn i risikovurderingen	13
2.3	Trinn 1 risikovurdering	13
2.4	Risikoelementer i trinn 2 og 3	15
2.5	Parametere som inngår i risikovurderingen	17
2.6	Prøvetaking av porevann og beregningen av stedlig K_d -verdi	22
3	Resultater fra risikovurderinger	23
3.1	Risiko for spredning og spredningsmekanismer	23
3.2	Risiko for human helse	31
3.3	Risiko for økologiske effekter	35
3.4	Oppsummering risikovurderinger	46
4	Konklusjoner og anbefalinger	50
5	Referanser	53

Vedlegg

Vedlegg A	Risikovurdering – delområde 1: Indre Bunnefjord
Vedlegg B	Risikovurdering – delområde 2: Sør for Malmøya
Vedlegg C	Risikovurdering – delområde 3: Øst for Nesodden
Vedlegg D	Risikovurdering – delområde 4: Mellom Sjursøya og Malmøya
Vedlegg E	Risikovurdering – delområde 5: Lysaker
Vedlegg F	Risikovurdering – delområde 6: Holtekilen
Vedlegg G	Risikovurdering – delområde 7: Hundesundet
Vedlegg H	Risikovurdering – delområde 8: Sandvika
Vedlegg I	Risikovurdering – delområde 9: Leangbukta
Vedlegg J	Risikovurdering – delområde 10: Midt i Oslofjorden
Vedlegg K	Risikovurdering – delområde 12: Blakstad
Vedlegg L	Risikovurdering – delområde 13: Slemmestad
Vedlegg M	Risikovurdering – delområde 14: Vest for Gråøya
Vedlegg N	Risikovurdering – delområde 15: Fagerstrand
Vedlegg O	Risikovurdering – delområde 16: Øst for Håøya
Vedlegg P	Beregning av stedsspesifikke K_d -verdier
Vedlegg Q	Sammenstilling av påviste konsentrasjoner i sediment og porevannssediment

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

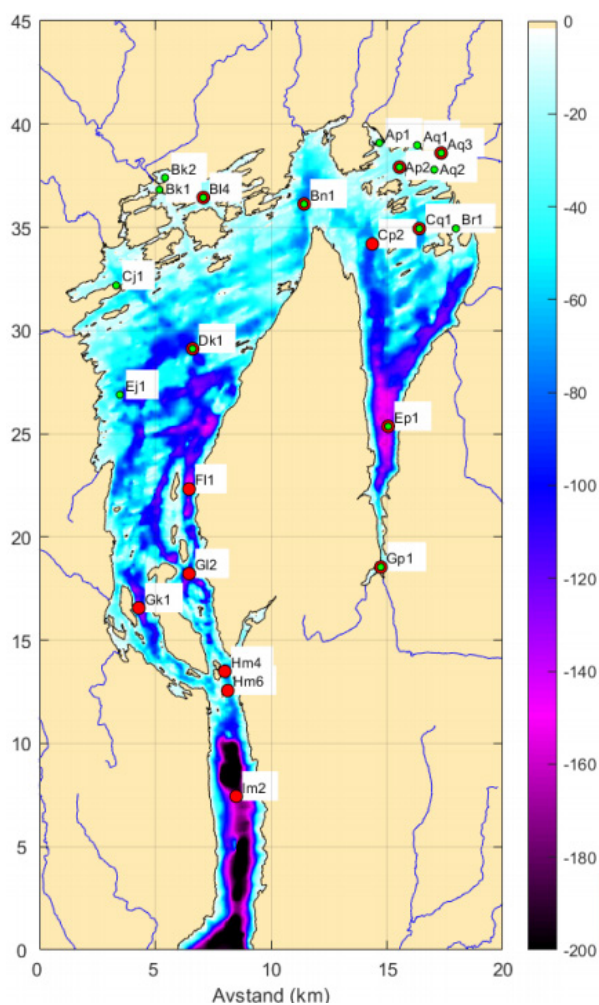
Sedimentene i indre Oslofjord er forurenset av ulike aktiviteter, blant annet avrenning fra urbane områder. For å vurdere tiltak for å forbedre miljøtilstanden i sedimentene, har Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord (Fagrådet), bedt om at det blir gjennomført en risikovurdering for sedimentene i Indre Oslofjord. NGI har bistått Fagrådet med innhenting av data for å gjennomføre risikovurdering av forurenset sediment, samt risikovurdering av sedimentene i henhold til veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Miljødirektoratet, 2015).

Denne rapporten oppsummerer risikovurderingene utført for delområdene. Målet med undersøkelsene er å kunne sammenligne risiko forbundet med sedimentene innenfor de ulike delområdene, og si noe om hvilke av områdene i undersøkelsen som bør prioriteres først med tanke på planlegging av tiltaksgjennomføring. Det vil ikke kunne prosjekteres tiltak på bakgrunn av denne rapporten, til det er det gjennomført for lite detaljert prøvetaking av delområdene.

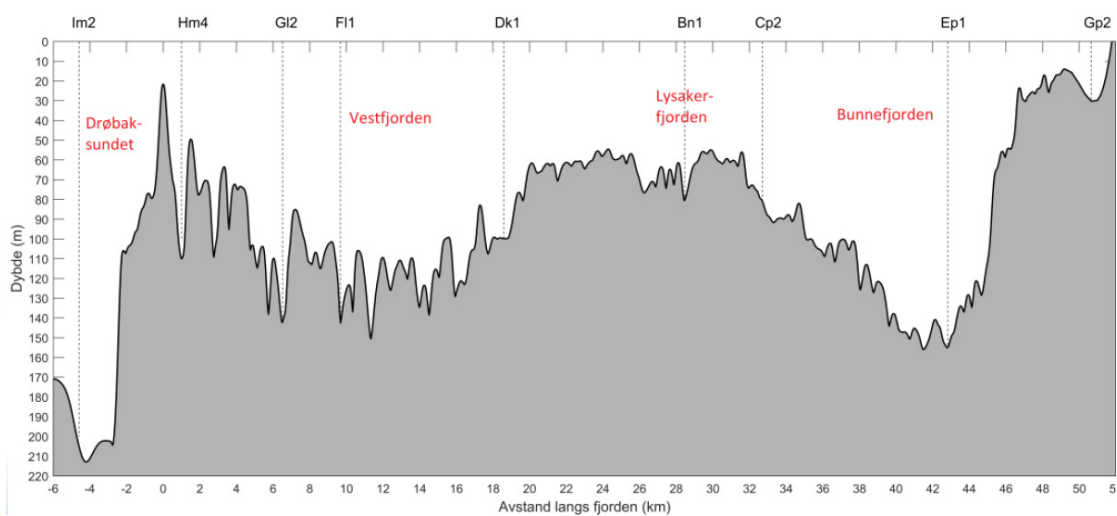
1.1 Områdebeskrivelse

Indre Oslofjord er en terskelfjord med areal på 190 km². Fjorden strekker seg fra Drøbak i sørvest til Oslo by i nord og til innerst i Bunnefjorden i sørøst. Vannmiljøet i indre Oslofjord er påvirket av vanntilførsel og sirkulasjon i fjorden, som er naturlig avgrenset av terskelen ved Drøbak (dybde 19,5 m). Forholdene i fjorden er videre påvirket av naturlige sykluser av klima, luft- og vanntemperaturer, værsystemer, nedbør og ferskvannstilførsler. Det dypeste punktet i fjorden er i Vestfjorden (160 m dypt). Det er også dypt i Bunnefjorden (ca. 150 m). Bunnefjorden er avgrenset fra resten av fjordsystemet med en terskel på ca. 50 m dybde. Dybdeforhold i indre Oslofjord er vist i figur 1.

Samtidig er fjordsystemet også påvirket av menneskeskapte påvirkninger i form av blant annet kommunale avløp, industriavløp, overflateavrenning fra urbane områder og båttrafikk.



Figur 1 Dybdeforhold i indre Oslofjord. Kartet viser også stasjoner for overvåkning for de jevnlige toktene som Fagrådet har for miljøovervåking for Indre Oslofjord (NIVA, 2020)



Figur 2 Dybdeprofil fra Drøbakssundet til Bunnefjorden. Figuren er hentet fra NIVA (2020).

Indre Oslofjord overvåkes gjennom jevnlig aktivitet koordinert av Fagrådet. Blant annet gjennomføres det seks årlige tokt som ser på algeoppblomstring, siktedyp, oksygenforhold og andre faktorer som påvirker vannkvaliteten i indre Oslofjord. Dette arbeidet gjennomføres per nå av NIVA i samarbeid med Universitet i Oslo og S.H. Maritim. Vannkvaliteten varierer med året, og er typisk dårligere på sommeren enn på vinteren, grunnet oppblomstringer av alger. Rapporter fra disse toktene, og annen overvåking utført i regi av Fagrådet, kan finnes på Fagrådets sider på internett (<http://www.indre-oslofjord.no/rapporter/-11-6>).

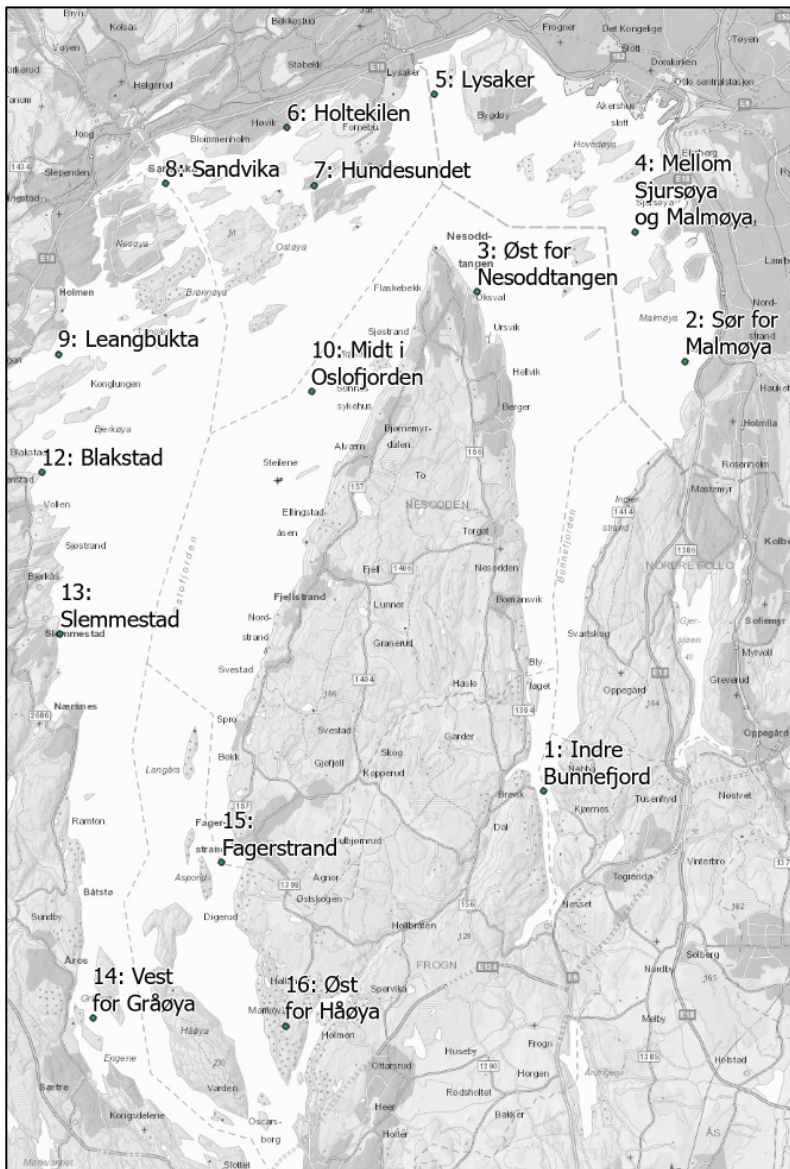
1.2 Mål for undersøkelsen

Det er Fagrådet som har plukket ut områder som skulle undersøkes i forbindelse med dette prosjektet. NGI ble bedt om å undersøke følgende områder:

- ↗ Delområde 1 – Indre Bunnefjord
- ↗ Delområde 2 – Sør for Malmøya
- ↗ Delområde 3 – Øst for Nesoddtangen
- ↗ Delområde 4 – Mellom Sjursøya og Malmøya
- ↗ Delområde 5 – Lysaker
- ↗ Delområde 6 – Holtekilen
- ↗ Delområde 7 – Hundesundet
- ↗ Delområde 8 – Sandvika
- ↗ Delområde 9 – Leangbukta
- ↗ Delområde 10 – Midt i Oslofjorden
- ↗ Delområde 11 – Alven
- ↗ Delområde 12 – Blakstad
- ↗ Delområde 13 – Slemmestad
- ↗ Delområde 14 – Vest for Gråøya
- ↗ Delområde 15 – Fagerstrand
- ↗ Delområde 16 – Øst for Håøya

Delområde 11 – Alven ble ikke tatt med videre i prosjektet. Det kommer av at området hadde svært begrenset utstrekning omkring øya Alv utenfor Sandvika. Videre var dette området godt dekket med undersøkelser, siden områder 6 (Holtekilen), 7 (Hundesundet) og 8 (Sandvika) er nærliggende. Det ble derfor utført prøvetaking med påfølgende risikovurdering av forurensede sedimenter i totalt 15 delområder av indre Oslofjord.

Det har vært gjort prøvetaking av sedimenter innenfor delområdene, og i noen områder suppleres resultatene som NGI har innhentet med data hentet ut fra Miljødirektoratets database Vannmiljø. Prøvetakingen og resultatene fra analysene oppsummeres i en egen rapport (datarapport og trinn 1 risikovurdering, NGI, 2021). Delområdene som omfattes av undersøkelsen er vist i kart i figur 3.



Figur 3 Delområder for sedimentundersøkelser og risikovurdering i dette prosjektet.

Det gjøres en risikovurdering basert på Miljødirektoratets risikovurderingsverktøy (M409 og tilhørende regneark, Miljødirektoratet, 2015). Som input i risikovurderingene benyttes resultatene fra sedimentundersøkelsene fra de 15 delområdene i indre Oslofjord. Målsetningen med rapporten er å sammenligne risikoer påvist i de ulike delområdene, og kunne si noe om hvilke områder der tiltak vil ha størst effekt på forbedring av miljøkvaliteten.

2 Risikovurdering av forurenset sediment

Risikovurdering av forurensete sedimenter er et system som er utarbeidet av NGI og NIVA på oppdrag fra Miljødirektoratet, som er utgitt som en Miljødirektoratet-veileder med et tilhørende regneark (Miljødirektoratet, 2015). Målet med systemet er å benytte påviste konsentrasjonsnivåer i sedimenter og andre sedimentrelaterte medier (porevann, tokstester på organismer) for å beskrive risikoen for miljøskade eller helseskade som sedimentene utgjør. Videre kan en bedømme om risikoen som sedimentene utgjør er akseptabel eller ikke.

I dette prosjektet vil det gjøres en separat risikovurdering for hver av de 16 delområdene som omfattes av undersøkelsen.

2.1 Miljømål

Alle potensielle tiltaksområder i Norge skal ha etablert miljømål. I "Forslag til helhetlig plan for Oslofjorden" (Miljødirektoratet, 2019) foreslås følgende mål for Oslofjorden:

- Oppnå god miljøtilstand
- Ivareta det biologiske mangfoldet i fjorden
- Restaurere viktige naturverdier
- Fremme et aktivt friluftsliv

God miljøtilstand i denne sammenhengen går både på at det skal være gode leveforhold for alle plante- og dyregrupper, men også at kulturminner og kulturmiljøet i Oslofjorden skal ivaretas.

For denne rapporten vil de to førstnevnte miljømålene være i fokus. Det å oppnå god miljøtilstand i Oslofjorden er knyttet til gjennomføringen av Vanddirektivet. Dette er også definert av Miljødirektoratet (2019) som et delmål, i at en skal oppnå minst god økologisk og kjemisk tilstand i henhold til Vannforskriften. Tiltak rettet mot sedimenter vil kunne være aktuelle for å oppnå denne målsetningen. Det kommer av at forurensete sedimenter vil være kilde til spredning av miljøgifter til vannforekomsten, samt at organismer, spesielt de som lever på og i sedimentene, vil påvirkes av forurensning i sedimentene.

Miljødirektoratet anbefaler å bruke grenseverdien mellom tilstandsklasse 2 og 3 i sedimentene som mål i områder der det ikke er aktive kilder til forurensning på land (veileder M-608, Miljødirektoratet, 2020). Det vil også være mulig å sette mål med lavere ambisjonsnivå for miljøtilstand på sedimentene. Det kan f.eks. komme av at det er aktive kilder på land som vil fortsette å opprettholde den forurensete situasjonen, det kan være at risikovurdering av sedimentene viser at risikoen som sedimentene innehar er akseptabel eller at risikoen for opptak i biota er akseptabel.

2.2 Trinn i risikovurderingen

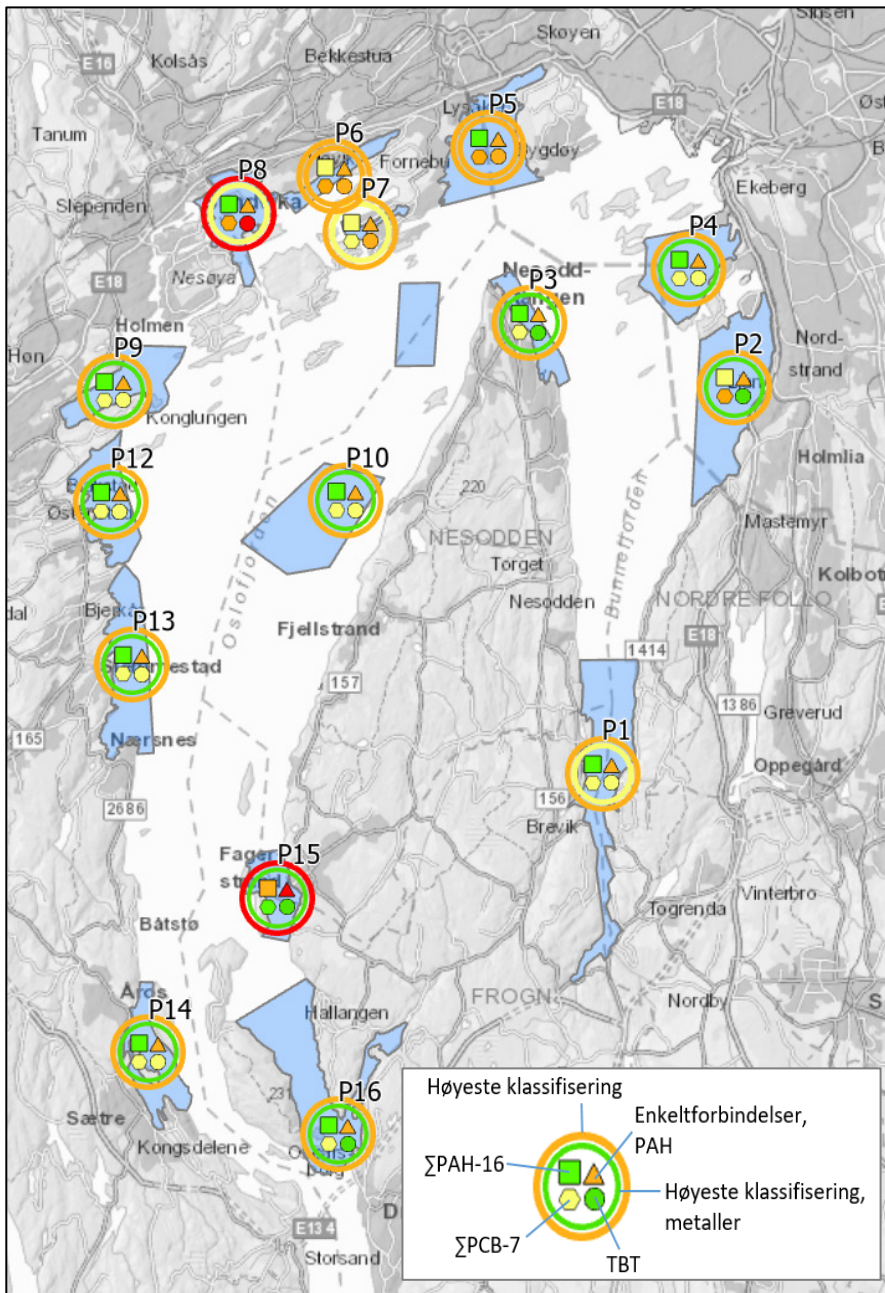
En risikovurdering for forurensede sedimenter gjennomføres som en tredelt prosess (trinn 1 – trinn 2 – trinn 3), der hvert trinn introduserer større grad av stedlig tilpasning til de innhentede dataene, og dermed reduseres konservatisme i de vurderinger som gjøres av risiko.

I en trinn 1 vurdering, gjøres en forenklet risikovurdering der konsentrasjonsnivået i sedimentene og påvist toksisitet av sedimentene sammenlignes med grenseverdier for økologiske effekter ved kontakt med sedimentene under standardiserte betingelser. Dersom grenseverdiene overskrides (i praksis dersom miljøgiftkonsentrasjoner i området overskrider grenseverdien mellom tilstandsklasse 2 og 3 i henhold til veileder M-608; Miljødirektoratet, 2020), skal risikovurderingen gå videre til en trinn 2 vurdering.

2.3 Trinn 1 risikovurdering

I dette prosjektet er trinn 1 risikovurdering oppsummert i NGI (2021), der også gjennomføring av feltarbeid og analyseresultatene fra kjemiske analyser av sedimenter og toks-tester, oppsummeres. Alle analyseoriginalene i prosjektet presenteres i NGI (2021).

Konklusjonen etter trinn 1 risikovurderingen er at ingen av delområdene har akseptabel risiko med tanke på økologiske effekter. Figur 4 oppsummerer de detekterte konsentrasjonsnivåene innenfor hvert delområde. Her er konsentrasjoner vist som gjennomsnittlige konsentrasjonsnivåer, som også er de konsentrasjonene som blir lastet inn i risikovurderingsverktøyet. NGI (2021) viser at det er PAH-forbindelser som er den dominerende forurensningskomponenten i alle områder, mens det i tilknytning til småbåthavner ofte også finnes høye konsentrasjoner av metaller og TBT. Det ble påvist høye konsentrasjoner av PCB7 i noen stasjoner. For detaljer, se NGI (2021).



Figur 4 Gjennomsnittskonsentrasjoner innenfor delområder 1 til 16 (vist som P1 til P16) klassifisert i henhold til M-608, der grønt tilsvarer tilstandsklasse 2, gult tilstandsklasse 3, oransje tilstandsklasse 4 og rødt tilstandsklasse 5 (Miljødirektoratet, 2020).

2.4 Risikoelementer i trinn 2 og 3

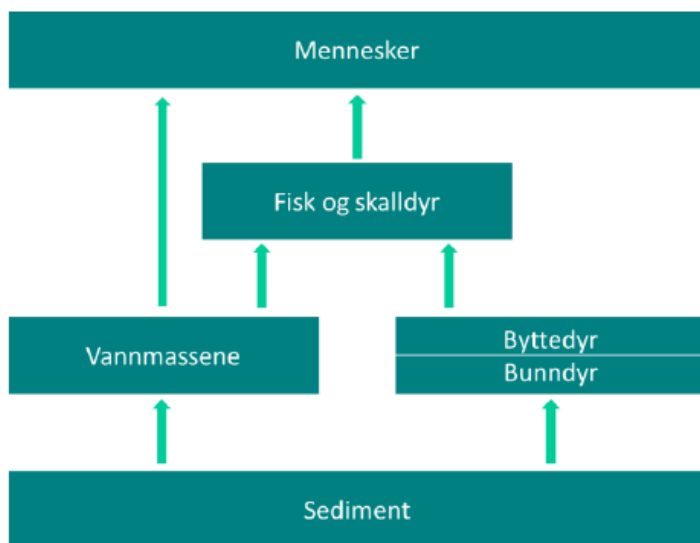
En trinn 2 risikovurdering er en mer inngående vurdering av risikoen som sedimentene utgjør. Risikoen er delt opp i tre ulike risikoelementer som vurderes separat.

Risiko for spredning: Risikoen vurderes basert på beregnet transport av miljøgifter fra sedimentene, til porevannet og til de overliggende vannmassene. Beregninger omfatter transport gjennom biodiffusjon (F_{diff}), oppvirling av sedimenter som følge av skips-trafikk (F_{skip}) og transport gjennom organismer (F_{org}). Resultatet av beregningene er en fluks av miljøgifter per kvadratmeter innenfor delområdet.

$$F_{tot, skip} = F_{diff} + F_{skip} + F_{org}$$

Verktøyet beregner også en total årlig transport fra hele sedimentarealet innenfor delområdene.

Etter transport ut av sedimentene, vil transport videre skje i vannmassene og direkte til mennesker, evt. gjennom opptak i organismer og spredning gjennom næringskjeden. En forenklet skisse over transportveier er vist i figur 5.



Figur 5 Forenklet skisse for transportveier i systemet (figur fra Miljødirektoratet, 2015)

Risikoen for spredning er uakseptabel dersom spredningen overskrider den teoretiske spredningen fra et referansesediment (her er et sediment som overholder grenseverdier for trinn 1 benyttet, tilsvarende tilstandsklasse 2) som påvirkes på samme måte som sedimentarealet i delområdet

Risiko for human helse: Risikoen vurderes ved det at bidraget fra aktuelle transportveier fra sedimentene og til menneskene kvantifiseres, og at risikoen vurderes mot maksimalt tolerabelt inntak (MTR/TDI) gjennom et livsløp. Grensa for akseptabel risiko er satt til 10 % av MTR/TDI, fordi mennesker også vil eksponeres gjennom andre kilder gjennom livet.

Eksponeringsveiene fra sedimenter til mennesker er (for ytterligere detaljer og formler, se M-409):

- Oralt inntak av sediment (DEI_{sed}): Tar utgangspunkt i at mennesker innenfor delområdet bader 30 ganger i løpet av et år. Videre tar en utgangspunkt i at barn og voksen med en antatt kroppsvekt inntar en viss mengde sediment når de bader, og at sedimentet har konsentrasjonsverdier som påvist innenfor området.
- Oralt inntak av overflatevann: Tar utgangspunkt i at mennesker innenfor delområdet bader 30 ganger i løpet av et år. Videre tar en utgangspunkt i at barn og voksen med en antatt kroppsvekt inntar en viss mengde vann når de bader. Sjøvannskonsentrasjon beregnes via spredningsberegningene, der den fluksen av miljøgifter generert gjennom biodiffusjon (F_{diff}) og skipsoppvirvling (F_{skip}) ganges opp med arealet innenfor området og oppholdstiden til vannet og deles på vannvolumet.
- Inntak av suspendert, partikulært materiale (DEI_{pm}): Samtidig som en inntar sjøvann under bading, inntar en også noe partikulært materiale. Her beregnes det også for 30 badehendelser årlig. Sjablongverdier fastsetter hvor stort inntak det er av vann per bading og det partikulære innholdet i vann. Konsentrasjonen i det partikulære materialet beregnes fra konsentrasjonsnivået i sedimentet i delområdet.
- Hudkontakt med sediment (DEH_{sed}): For organiske miljøgifter, kan en eksponeres gjennom hudkontakt med forurenset sediment. En tar fremdeles utgangspunkt i at gjennomsnittsmennesket bader 30 ganger i året. Videre benyttes et hudareal som varierer mellom barn og voksen. Det antas at sedimentet fester seg til huden med en viss rate, og at sedimentet blir i kontakt med huden i inntil 8 timer før det dusjes av. Det tas også høyde for kroppsvekt (forskjellig for barn og voksen).
- Hudkontakt med sjøvann (DEH_{sv}): For organiske miljøgifter, kan en eksponeres gjennom hudkontakt med forurenset sjøvann. En tar fremdeles utgangspunkt i at gjennomsnittsmennesket bader 30 ganger i året, og det samme hudarealet som eksponering for sediment. Adsorpsjonsfaktoren for ulike miljøgifter i sjøvann vil være stoffavhengig. Konsentrasjonen i sjøvannet beregnes via spredningsberegningene, se avsnitt om inntak av overflatevann. Det deles på kroppsvekt (forskjellig for barn og voksen).
- Inntak av stedlig fanget fisk og skalldyr (IEI_f): Konsentrasjon i stedlig fisk blir beregnet gjennom sedimentkonsentrasjoner påvist i området, en biokonsentrasjonsfaktor (BCF, stoffavhengig) og fordeling mellom sediment og porevann. Videre beregnes eksponeringsveien ved å benytte fastsatte verdier for daglig inntak av fisk og skalldyr, kontaminert fraksjon (det antas at halvparten av det som inntas er forurenset med forurensning tilsvarende det som er detektert innenfor delområdet), samt kroppsvekt.

Den totale humane eksponeringen fra alle ovennevnte eksponeringsveiene summeres, og en kan nå se på voksen og barn adskilt. Videre summeres det til en livstidsdose (DOSE), ved at en antar at eksponeringen en blir utsatt for som barn er aktuell dose i 6 år, mens det en eksponeres for som voksen er aktuell dose i 64 år. Dette deles så på 70 år, slik at en får en DOSE som representerer gjennomsnittlig livstid daglig eksponering (mg/kg/d). DOSE sammenlignes med 10 % MTR/TDI for å si noe om risikoen for human helse er akseptabel.

Eksponeringsveiene som er aktuelle vil kunne variere fra delområde til delområde, fordi det kan være variasjon i hvordan mennesker benytter delområdene. I verktøyet er det mulighet for å "slå av" eksponeringsveier som ikke er aktuelle. Det er imidlertid ikke gjort her, fordi en ønsker at delområdene skal være mest mulig sammenlignbare. Den primære eksponeringsveien for mennesker er gjennom konsum av stedlig fisk og skaldyr.

Risiko for effekter på økosystemet: Risikoen vurderes gjennom de konsentrasjonsnivåer som organismer i vann og sediment eksponeres for. I verktøyet sammenlignes påvist porevannskonsentrasjon innenfor delområdene med PNEC for den enkelte parameter. I tillegg legges også resultatene fra toksisitetstester i trinn 1 og helsedimenttest i trinn 2 til grunn for vurderingen.

Risiko for økosystemet er også avhengig av sjøvannskonsentrasjonen som organismene lever i. Sjøvannskonsentrasjonen kan beregnes fra spredningsmengden (fluksen) fra sedimentene, og spredningen som er relevant for sjøvannskonsentrasjonen er den totale fluksen minus det som tas opp i organismer (F_{org}). Beregnede sjøvannskonsentrasjoner innenfor delområdene sammenlignes med PNEC-verdier. Overskridelse av akseptable nivåer for delområdene i denne undersøkelsen oppsummeres i kap. 3.3. Det legges imidlertid ikke vekt på beregnede sjøvannskonsentrasjon i denne fasen. Det kommer av at det ikke er gjort noen stedsspesifikk vurdering av vannets oppholdstid innenfor de ulike delområdene, og det er en viktig parameter i utregningen av sjøvannskonsentrasjon i områdene.

Beregninger av risikoelementene gjøres som beskrevet i veileder *Risikovurdering av forurenset sediment* (Miljødirektoratet, 2015), og gjøres ved å benytte det tilhørende regnearket med siste revisjonsdato 2019-11-21.

2.5 Parametere som inngår i risikovurderingen

For å fylle ut risikovurderingsverktøyet, trengs det en rekke stedspesifikke data som benyttes i beregninger av risikoelementene oppsummert i det foregående kapitlet. Parametere vil naturlig nok variere mellom de ulike delområdene, og vil påvirke den beregnede risikoen. I det følgende gis en forklaring på hvordan en har kommet fram til parameterne som benyttes i risikovurderingen. Parametere som er benyttet inn i risikovurdering av det enkelte delområde, er oppsummert i tabellform i starten av risikovedlegget for det enkelte delområde.

I det følgende oppsummeres de enkelte parametere og dens betydning for risikovurderingen, samt hvordan det er framskaffet en verdi innenfor hvert enkelt delområde i denne undersøkelsen.

Konsentrasjoner sedimenter: Innenfor hvert delområde er det tatt ut fem prøver av sedimenter. Prøvetaking er utført som beskrevet i NGI (2021). Et gjennomsnitt av prøvene innenfor hvert område er lagt inn som en prøve i risikovurderingsverktøyet. Prøver fra databasen Vannmiljø som ikke er eldre enn 10 år blir også benyttet i beregningene, og for de områder der det er aktuelt (se NGI, 2021) inngår også disse prøvene i gjennomsnittet.

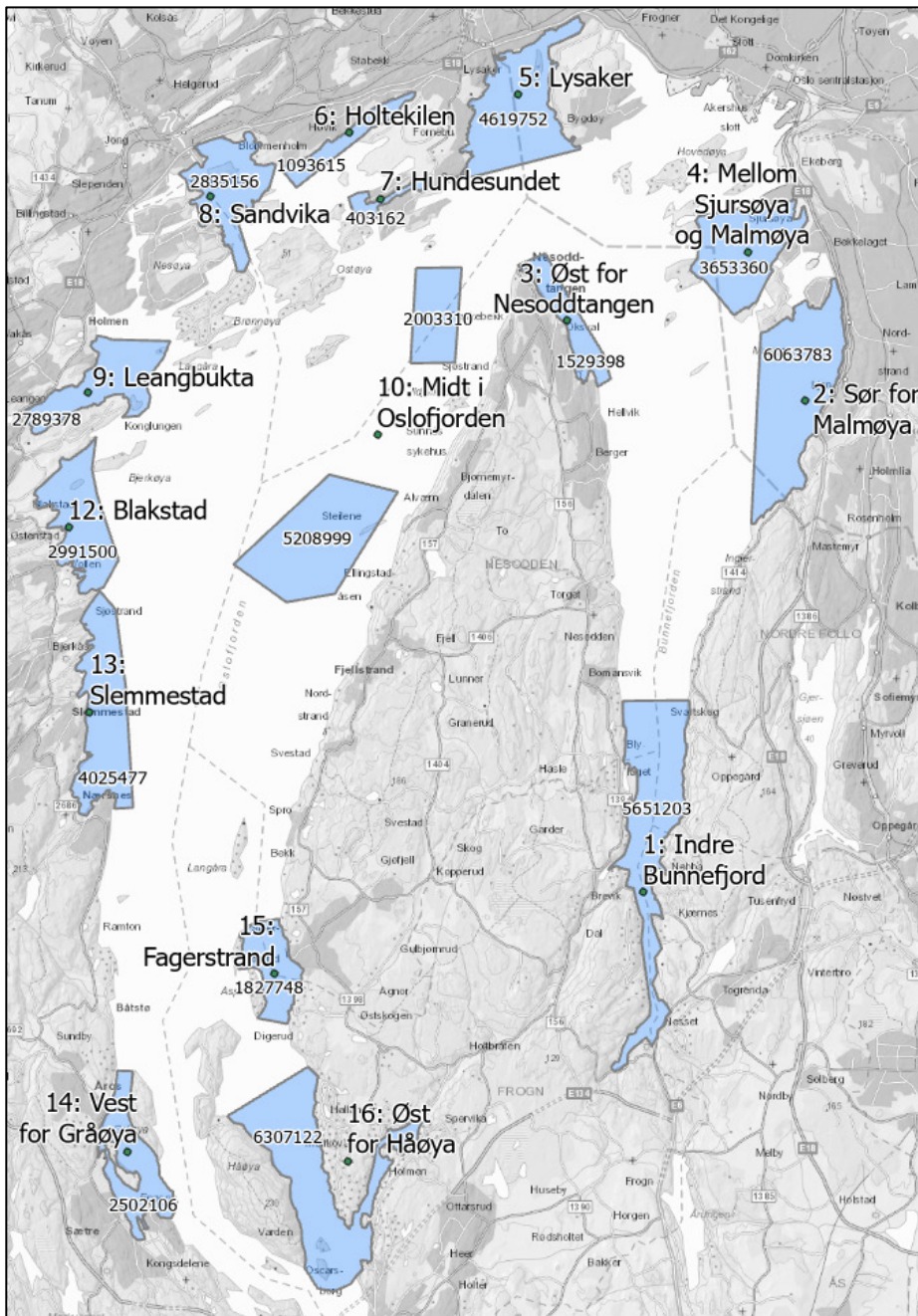
Konsentrasjoner porevann: Prøvetaking av porevann er gjennomført som beskrevet i NGI (2021). Porevannskonsentrasjoner for hvert delområde blir lagt inn i risikovurderingsverktøyet slik at det beregnes en stedsspesifikk fordelingskoeffisient (K_d -verdi), samt at porevannskonsentrasjonene benyttes for å vurdere risiko for økologiske effekter.

Toksisitetstester: Det er utført toksisitetstester i tråd med anbefalingene i Miljødirektoratet (2015). Tre tester er del av en trinn 1 risikovurdering. De som er valgt utført i dette prosjektet, er test ved å eksponere *Skeletonema costatum* for porevann (kvantifiserer veksthemming), akuttoksiske effekter på hoppekrepsen *Tisbe battagliai* ved å eksponere for porevann og virkningen av dioksinlignede stoffer på arvemateriale (DR-CALUX). I trinn 2 risikovurdering i dette prosjektet, har det blitt utført en test for å se på overlevelse av krepsdyret *Corophium volutator*. En dødelighet på over 20 % regnes som signifikant, og er satt som grense for uakseptabel risiko. Resultatene fra testene lastes inn i regnearket og benyttes for å vurdere økologisk risiko.

TOC: Innholdet av totalt organisk karbon i sedimentene vil ha noe å si for fordeling av miljøgifter mellom sedimentpartikler og sedimentenes porevann. Det vil derfor ha betydning for spredning av miljøgiftene fra sedimentene, samt risiko for human og økologisk risiko. Generelt vil høyere innhold av TOC føre til at miljøgifter holdes bedre tilbake i sedimentene.

Det er gjort analyse av TOC i alle prøver for sedimenter, og gjennomsnitt av de fem prøvene som er analysert innenfor hvert delområde har blitt brukt. For delområde 4 og 10 er TOC innholdet brukt som er målt i porevannssedimentene etter porevannsanalyse.

Areal: Arealet vil ha innvirkning på både risiko for spredning, human helse og økologi. Et lite areal med forurensede sedimenter vil utgjøre en mindre risiko enn om sedimentene er like forurensede over et større areal. Arealet til de ulike områdene er funnet ved å tegne inn delområdene i ArcGIS, og deretter beregne arealet ved hjelp av kartverktøyet. Arealene som er benyttet, er vist i figur 6.



Figur 6 Delområdene i undersøkelsen, med areal oppgitt (i m²). Merk at delområde 10 (Midt i Oslofjorden) består av to mindre delområder.

Vannvolum: Vannvolumet vil ha innvirkning på risikoen fordi vannvolumet vil ha innvirkning på forfytningen som skjer over sedimentet. Vannvolumet er arealet multiplisert med et gjennomsnittlig vanddyb. Det gjennomsnittlige vanddybet er hentet ut av ArcGIS.

Oppholdstid: Oppholdstid for vannet innenfor delområdene, vil også ha innvirkning på fortynningen. Ved en kortere oppholdstid, vil fortynningen av vannmassene være større, og risikoen for uakseptabel eksponering vil gå ned siden vannkonsentrasjonen blir lavere. Oppholdstiden innenfor delområdene i Oslofjorden vil variere, men det finnes ikke informasjonskilder for å bestemme oppholdstid for alle delområder individuelt. For at dette ikke skal være utslagsgivende for risikovurderingen, er det valgt å holde oppholdstid på standard verdi (0,02 år, noe som gir utskifting av vann omtrentlig en gang i uka) for alle delområder.

Antall skipsanløp: Skipsanløp har innvirkning på spredning av forurensning fordi propellindusert strøm vil kunne føre til oppvirvling av partikulært bundet forurensning.

For å finne et estimat på antall skipsanløp, er det sett på rutetrafikk og småbåthavner innenfor de aktuelle delområdene. For store ferjer (Color Line, DFDS og Stena), samt godstrafikk til og fra Oslo Havn er det sett på seilingsmønster til og fra kai at disse fartøyene ikke vil trafikkere på sedimentarealer grunnere enn 20 meter som omfattes av denne undersøkelsen.

For rutetrafikk er det benyttet informasjon fra www.ruter.no, der både daglige ruter og sesongtrafikk er tatt med i det årlige antallet skipsanløp (se rutekart i figur 7).



Figur 7 Båtruter i indre Oslofjord, trafikkert av Ruter (oversikt er hentet fra www.ruter.no).

For småbåter er det hentet ut informasjon om antall båtplasser i de ulike båtforeningene i delområdene. Her er informasjonen enten hentet fra åpne sider på internett, og dersom det ikke er mulig, er det gjort en omtrentlig opptelling av antall båtplasser ved hjelp av satellittfoto. Det er videre antatt at hver båt har i gjennomsnitt fem anløp i løpet av et år.

Antallet anløp med småbåter og rutebåter summeres innenfor områder der det er anløp av begge.

Trasélengde: Trasélengde som legges inn i verktøyet er med på å kvantifisere mengden sediment som vil virvles opp ved anløp av fartøyer. Her er det benyttet lengden som fartøyene vil gå fra de går innenfor sonen med mindre enn 20 m vanddyp, og til kai. Det er laget til en trasé for hver anløpskai og småbåthavn i området, og traséene summeres.

Mengde oppvirvlet sediment per anløp: For beregning av mengde sediment som virvles opp per anløp, tar en utgangspunkt i metodikken beskrevet i Faktaboks 6 i risikovurderingsveilederen (Miljødirektoratet, 2015), men med noe tilpasning siden det i mange delområder er både småbåter og rutetrafikk av båter.

Mengde sediment som virvles opp per anløp er bestemt av kornstørrelse på de stedlige sedimentene og hvilke båter (rutetrafikk eller småbåt) som trafikkerer i området. For alle områder er det bestemt at dersom andelen av sedimenter over 63 μm er mer enn 50 %, betegnes sedimentene som sand. Dersom andelen er mindre enn 50 %, betegnes sedimentet som silt. Innenfor hvert delområde, regnes det ut hvor stor andel av båttrafikk som er rutetrafikk og hvor stor andel som er småbåttrafikk. Det legges til grunn at oppvirvlet mengde for rutetrafikk tilsvarer det som i veilederen kalles en "stor havn", mens småbåttrafikk er "småbåthavn". Oppvirvlet mengde blir da en summering av andelen sediment som virvles opp grunnet rutetrafikk og hvor mye som virvles opp grunnet trafikk av småbåter.

Skipspåvirket areal: Det antas at 50 % av sedimentarealet som er grunnere enn 20 m påvirkes av skipstrafikk. Sedimentarealet som er grunnere enn 20 m tegnes inn i ArcGIS, og det blir hentet ut arealer fra ArcGIS.

Fraksjon suspendert: Andelen av sedimentet som er mindre enn 2 μm vil ha innvirkning på skipsindustriert spredning. Fraksjonen hentes ut gjennom analyseresultater for korngredning i alle prøver for sedimenter, og resultatene er et gjennomsnitt av de fem prøvene som er analysert innenfor hvert delområde. For delområde 4 og 10 er det andelen som er påvist i porevannssedimentene etter porevannsanalyse som benyttes.

Alle øvrige parametere i risikovurderingsverktøyet er beholdt som sjablongverdi, da det ikke foreligger tilstrekkelig informasjon for hver av delområdene for å gjøre dem stedspeifikke.

2.6 Prøvetaking av porevann og beregningen av stedlig K_d -verdi

Fordelingskoeffisienten (K_d) beskriver fordelingen av den enkelte miljøgift mellom sedimentene og porevannet i sedimentene. Miljøgifter som har høy affinitet til sedimentpartikler vil være lite tilgjengelig for eksponering av stedlig biota. Her forutsettes det likevekt mellom sedimentene og porevannet, og den enkelte miljøgift vil forekomme både i sedimentene og i porevannet. Fordelingskoeffisienten beskriver i hvor stor grad miljøgiften vil forekomme i sedimentet eller i porevannet. Ved høyere K_d -verdier, bindes miljøgiften i større grad til sedimentene, og ved lavere verdier vil den lettere kunne lekke ut til vannet.

Risikovurderingsverktøyet har innebygget sjablongverdier for K_d -verdier for alle miljøgifter som inngår i verktøyet. Disse er basert på omfattende litteratursøk, og er satt slik at det blir konservatisme i vurderingene som gjøres. Det vil si at mange av sjablongverdiene er lavere enn det som vil forekomme i sedimentene som undersøkes, fordi konservatisme vil si at en overestimerer utlekking slik at verktøyet beregner risikoen til å være høyere enn den vil være i realiteten.

En kan gjøre fordelingen mer stedsspesifikk ved å ta prøve av sedimentet for analyse av porevannet. I dette prosjektet er det blitt gjort i alle undersøkte delområder av indre Oslofjord. Ved å legge inn resultater av porevannsanalyser, vil verktøyet beregne stedlige K_d -verdier. Fra de stedlige K_d -verdiene vil en mer reell spredning fra sedimentene beregnes.

I vedlegg P vises beregningsgrunnlaget for stedlige K_d -verdier for alle parametere i alle delområder. I dette prosjektet er det også gjort en analyse av porevannssedimentene som gjenstår etter porevannsutpressing (sammenstilt i vedlegg Q). Dette er gjort som en ekstra kontroll av de gjennomsnittskonsentrasjonene som regnes ut basert på de påviste totalkonsentrasjonene beregnet fra alle prøver innenfor et delområde.

3 Resultater fra risikovurderinger

I de grafiske framstillingene vises overskridelser som antall ganger over de definerte grenseverdiene for hvert risikoelement (spredning, human helse og økotoksikologi). For detaljer omkring utregninger vises til vedleggene for risikovurdering for de enkelte delområder. I oppsummeringen begynner en først med å se på hvilke områder som utgjør størst risiko for human helse og økotoksikologiske effekter, og deretter ser en på spredning. Det kommer av at det *først og fremst er virkningen av spredningen som gir grunn til bekymring, ikke spredningen i seg selv* (sitat fra M-409, Miljødirektoratet, 2020)

I resultatframstillingen fokuseres det på metaller og PAH-forbindelser, samt PCB7 for risiko for human helse og spredning. Dette kommer av at det er disse stoffene som er viktigst med tanke på vurdering av tiltak, samt at disse parameterne er analysert i alle delområder. Øvrige resultater for delområdene er å finne i vedleggene.

3.1 Risiko for spredning og spredningsmekanismer

3.1.1 Spredningsmekanismer

De ulike delområdene i undersøkelsen har stedsspesifikke verdier som gjør at den beregnede spredningen varierer innenfor de ulike områdene. Sammen med ulike sedimentkonsentrasjoner har stedsspesifikke verdier som skipsoppvirvling pga. båttrafikk, diffusjon pga. målte porevannskonsentrasjoner stor betydning.

For skipsoppvirvling vil spredningsmengden variere både med antall skipsanløp, mengde masse som spres for hvert anløp (som korrigeres for trasélengden som skipene / båtene har), konsentrasjonsnivå i sedimentene, kornfordeling i sedimentene, samt arealet innenfor delområdet som er påvirket av skipsoppvirvling. I risikoverktøyet defineres skipspåvirket areal som arealet grunnere enn 20 m. Dette gjøre at båttrafikk gir særlig utslag i grunne områder. Eks. for delområde 8, hvor hele delområdet kan påvirkes av oppvirvling pga. propellerrosjon.

Mengden som spres med biodiffusjon vil variere fordi det er ulike påviste porevannskonsentrasjoner innenfor delområdene.

For transport via organismer vil variasjon forekomme fordi det er påvist ulike konsentrasjoner i sedimentene, som gir ulik oppkonsentrering av stoffer oppover i næringskjeden. Ulikheter kommer også av forskjeller i fordelingskoeffisienter, som følge av ulike påviste eller beregnede porevannskonsentrasjoner.

Siden transport via skipsoppvirvling har flest faktorer som er påvirket av stedlige faktorer, er det forventet av variasjonen mellom delområder i undersøkelsen i størst grad skyldes denne transportmekanismen.

3.1.2 Beregning av stedlig K_d -verdi

Spredning av forurensning skjer ved at stoffene går fra å være bundet til sedimentpartikler til at de frigjøres i porevannet. Frigjøring og binding vil være i likevekt mellom sedimentene og porevannet. Når porevannet går opp i bunnvannet over sedimentene, forskyves likevekten slik at enda mer av stoffet lekker ut fra sedimentene. Fordelingen mellom sedimentene og porevannet beskrives med fordelingskoeffisienten, som beskrevet i kap. 2.6.

For å få en stedlig tilpasset fordelingskoeffisient (K_d - verdi) har det blitt tatt prøver som er sendt til porevannsanalyse. Porevannssedimentene etter porevannsutpressing er også analysert, og en sammenligning mot gjennomsnittskonsentrasjoner fra de øvrige sedimentprøvene presenteres i vedlegg Q.

Konsentrasjonsverdier som benyttes for beregning av fordelingskoeffisientene, presenteres i vedlegg P. I de følgende tabeller presenteres de stedlige K_d -verdiene, og vises om verdiene er høyere eller lavere enn sjablongverdien som benyttes i verktøyet. Dersom K_d -verdien er høyere enn sjablongverdien, vil mindre av miljøgiften lekke ut av sedimentet og risikoene som beregnes vil være lavere. En lavere K_d -verdi enn sjablong vil gi mer utlekking, og høyere beregnet risiko.

I tabellene angis også noen verdier som mindre enn eller større enn. Dersom K_d -verdien oppgis som større enn ($>$) er det fordi parameteren ikke er påvist i porevannet. Fordelingskoeffisienten er beregnet med halv rapporteringsgrense, og fordelingskoeffisienten med stor sannsynlighet er større enn beregnet verdi (mindre spredning). Motsatt er det når K_d -verdien oppgis som mindre enn ($<$). Det kommer da av at parameteren ikke er påvist i sedimentet. Fordelingskoeffisienten er også her beregnet med halv rapporteringsgrense for sedimenter, og fordelingskoeffisienten er med stor sannsynlighet mindre enn beregnet verdi (mer spredning).

For metaller (tabell 1 og tabell 2) beregnede fordelingskoeffisienter fra porevannskonsentrasjoner i hovedsak lavere enn sjablongverdier. Dette fører til at de beregnede risikoene (spredning, human helse og økologiske effekter) er høyere enn det de ville vært ved å benytte sjablongverdier i verktøyet. Dette kan komme av at porevannet ikke er filtrert før analyse av metaller, og at noe partikulært bundne metaller er kommet med i analysene.

Tabell 1 Stedsspesifikk K_d -verdi (i L/kg) for metaller i delområder 1 til 8 (P1 til P8), samt sjablongverdiene som brukes i verktøyet til veileder M-409 (Miljødirektoratet, 2015).

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Sjablong*
Arsen	463	229	426	254	116	851	225	609	6 607
Bly	12 203	243	35 685	886	1 291	2 147	54 865	1 705	154 882
Kadmium	4 012	345	1 325	562	>107 525	3 009	15 760	1 548	130 000
Kobber	6 245	371	14 845	591	2 068	2 115	24 781	2 018	24 409
Krom	2 460	1 352	11 140	1 015	1 393	459	5 207	1 913	120 000
Kvikksølv	10 303	282	32 258	336	1 434	1 545	15 922	672	100 000
Nikkel	11 588	2 368	9 345	2 782	6 432	7 184	20 899	5 022	7 079
Sink	19 190	747	21 165	1 167	3 067	3 193	47 637	2 299	110 000

> X = parameter er ikke påvist i porevann

< X = parameter er ikke påvist i sedimenter

Røde tall = stedsspesifikk verdi er lavere enn sjablong

Svarte tall = stedsspesifikk verdi er høyere enn sjablong

*Sjablong er hentet fra Miljødirektoratet, 2015

Tabell 2 Stedsspesifikk K_d -verdi (i L/kg) for metaller i delområder 9 til 16 (P9 til P16), samt sjablongverdiene som brukes i verktøyet til veileder M-409 (Miljødirektoratet, 2015).

Parameter	P9	P10	P12	P13	P14	P15	P16	Sjablong*
Arsen	231	1 129	347	549	381	187	634	6 607
Bly	1 505	>220 286	27 692	11 024	20 161	4 733	30 402	154 882
Kadmium	997	1 170	526	2 377	2 113	1 369	>4 044	130 000
Kobber	2 231	2 306	4 895	8 363	7 039	4 339	13 203	24 409
Krom	2 624	3 679	4 467	19 123	3 429	2 543	2 462	120 000
Kvikksølv	1 101	>320 000	29 223	14 405	15 068	4 105	43 955	100 000
Nikkel	8 162	7 595	19 403	10 367	17 371	6 743	11 995	7 079
Sink	3 605	21 855	9 133	21 225	20 000	9 688	>87 089	110 000

> X = parameter er ikke påvist i porevann

< X = parameter er ikke påvist i sedimenter

Røde tall = stedsspesifikk verdi er lavere enn sjablong

Svarte tall = stedsspesifikk verdi er høyere enn sjablong

*Sjablong er hentet fra Miljødirektoratet, 2015

For PAH-forbindelser (tabell 3 og tabell 4) er beregnede fordelingskoeffisienter i hovedsak høyere enn sjablongverdier, bortsett fra for de tyngste PAH-forbindelsene der beregnet K_d er lavere. Høyere beregnet K_d -verdi enn sjablong fører til at de beregnede risikoene (spredning, human helse og økologiske effekter) er lavere enn det de ville vært ved å benytte sjablongverdier i verktøyet.

For TBT (tabell 3 og tabell 4) er beregnede fordelingskoeffisienter høyere enn sjablongverdier i alle områder, og vil derfor føre til lavere beregnet risiko enn ved å benytte sjablongverdier.

For analyse av PCB-kongener i porevann viser analysen at alle er under metodens rapporteringsgrense. Selv når en bruker halv rapporteringsgrense som utregning, blir alle beregnede fordelingskoeffisienter lavere enn sjablongverdier. En vil da overestimere spredning av PCB. Derfor benyttes ikke porevannskonsentrasjonene for PCB7 i videre beregninger i verktøyet.

Tabell 3 Stedsspesifikk K_d -verdi (i L/kg) for PAH-forbindelser og TBT i delområder 1 til 7 (P1 til P7), samt sjablongverdiene som brukes i verktøyet til veileder M-409 (Miljødirektoratet, 2015).

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Sjablong*
Naftalen	2	>3 640	>2 000	>12 778	>3 240	>2 800	23	13
Acenaftylene	911	>6 520	883	>5 133	>5 600	>3 760	>2 520	26
Acenaften	5	>1 640	<38	>8 800	>1 280	>1 320	44	51
Fluoren	14	>3 080	>1 240	>8 267	>2 560	>2 120	127	102
Fenantren	69	>26 080	>5 640	>60 667	>11 000	>10 760	974	372
Antracen	195	>12 200	>4 055	>15 533	>6 680	>5 960	1 691	295
Fluoranten	918	4 146	2 523	4 583	11 450	3 304	10 575	977
Pyren	1 636	3 989	5 908	12 667	7 680	4 842	12 322	589
Benso(a)antracen	>5 840	2 897	>3 040	>39 933	>9 240	>10 560	>18 760	5012
Krysen	>14 880	5 985	>7 160	>40 000	>19 080	>19 920	>27 880	3981
Benso(b)fluoranten	>23 000	>28 160	>9 160	ia	>17 840	>27 600	>36 320	8319
Benso(k)fluoranten	>19 440	>29 160	>10 280	>22 533	>22 320	>30 600	>39 760	7943
Benso(a)pyren	>22 960	9 082	>11 880	>15 338	>24 760	>28 440	>50 480	8318
Indeno(123cd)pyren	>13 920	8 388	>8 200	>18 022	>18 440	>23 080	>24 760	19498
Dibenso(ah)antracen	>3 840	>7 640	>2 560	ia	>5 480	>6 080	>8 880	10233
Benso(ghi)perylene	>24 280	14 886	>14 320	>22 644	>32 440	>37 200	>38 160	23442
TBT	6 338	935	2 169	3 913	28 617	5 646	8 508	11

> X = parameter er ikke påvist i porevann

< X = parameter er ikke påvist i sedimenter

Røde tall = stedsspesifikk verdi er lavere enn sjablong

Svarte tall = stedsspesifikk verdi er høyere enn sjablong

ia = ikke analysert i sediment

*Sjablong er hentet fra Miljødirektoratet, 2015

Tabell 4 Stedsspesifikk Kd-verdi (i L/kg) for PAH-forbindelser og TBT i delområder 8 til 16 (P8 til P16), samt sjablongverdiene som brukes i verktøyet til veileder M-409 (Miljødirektoratet, 2015).

Parameter	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P16	Sjablong*
Naftalen	<9	<13	>1 280	>1 640	40	>4 500	58	13
Acenaftylen	>1 280	>1 880	>2 160	<1 000	>1 480	>21 450	>2 244	26
Acenaften	<26	>25	1 200	>2 240	<89	2 109	154	51
Fluoren	<33	>38	1 840	>2 360	<125	>19 050	524	102
Fenantren	58	276	12 640	7 182	462	>152 100	4417	372
Antracen	117	385	5 592	>6 200	>2 404	>81 600	>6 087	295
Fluoranten	811	4 036	11 053	7 513	6 643	69 239	>39 067	977
Pyren	668	4 873	6 435	6 492	5 514	21 201	16 622	589
Benso(a)antracen	>3 400	>8 160	>12 080	>9 000	>4 480	>131 000	>10 711	5012
Krysen	>5 880	>11 360	>16 440	>15 120	>9 000	>114 900	>17 533	3981
Benso(b)fluoranten	4 855	>20 480	>24 960	>18 440	>16 640	40 406	>19 356	8319
Benso(k)fluoranten	3 600	>17 120	>22 600	>24 640	>17 360	>100 600	>15 800	7943
Benso(a)pyren	2 954	>17 920	>23 720	>28 560	>17 360	>152 750	>19 756	8318
Indeno(123cd)pyren	3 309	>14 480	>15 400	>14 400	>12 400	>63 600	>13 622	19498
Dibenso(ah)antracen	>2 320	>4 680	>5 480	>5 640	>3 920	>25 050	>3 422	10233
Benso(ghi)perylene	>10 600	>20 360	>21 760	>24 600	>21 720	14 929	>21 200	23442
TBT	5644	2793	>24 332	>11 856	>15 544	>5 855	1824	11

> X = parameter er ikke påvist i porevann

< X = parameter er ikke påvist i sedimenter

Røde tall = stedsspesifikk verdi er lavere enn sjablong

Svarte tall = stedsspesifikk verdi er høyere enn sjablong

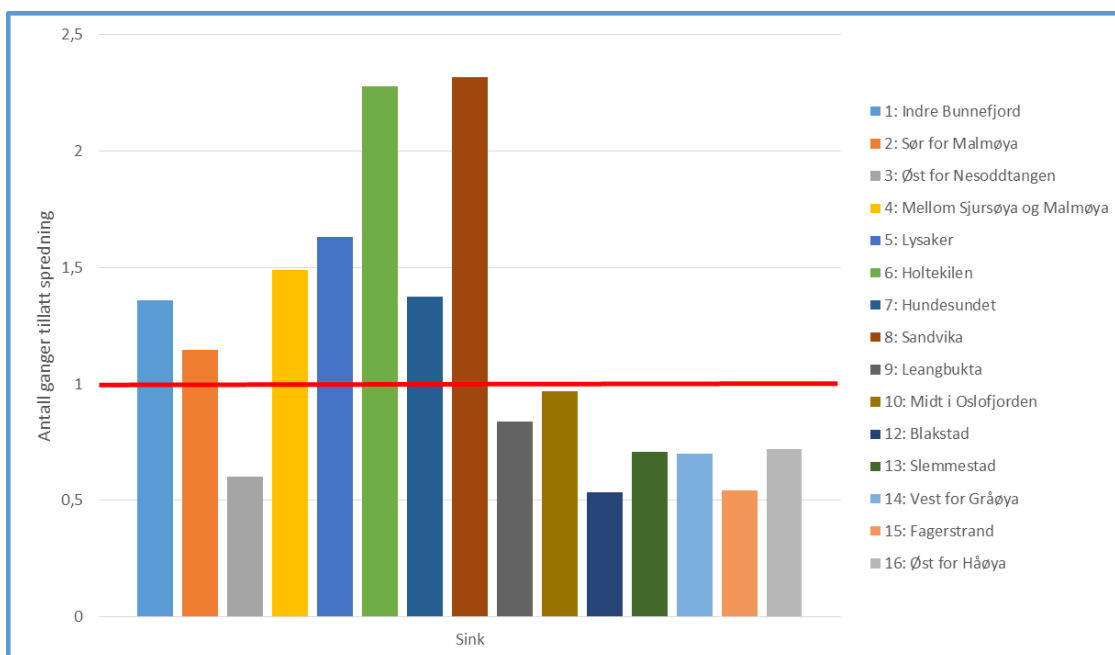
*Sjablong er hentet fra Miljødirektoratet, 2015

3.1.3 Spredningsrisiko i delområdene

Den totale årlige fluksen ($F_{tot, skip}$, i $mg/m^2/år$) fra sedimentene angir spredning av stoffene i de ulike delområdene, og resultatene framstilles som antall ganger fluksen overskrider tillatt spredning. Tillatt spredning er definert som den spredningen som ville kommet fra det enkelte område dersom konsentrasjonsnivået av den enkelte parameter var tilsvarende for grenseverdien for en trinn 1 risikovurdering (grenseverdien mellom tilstandsklasse 2 og 3 i henhold til veileder M-608 (Miljødirektoratet, 2020)). Dermed benyttes stedsspesifikk data for å regne ut den tillatte spredningen med grenseverdier for tillatt spredning per parameter.

For metaller overskrider sink nivå for tillatt spredning i de fleste områdene. I tillegg overskrides tillatt spredning for arsen i delområde 4 (mellom Sjursøya og Malmøya), kadmium, kvikksølv og kobber overskrider i delområde 5 (Lysaker), og kobber i delområde 6 (Holtekilen). I figur 8 vises overskridelsene for sink (Zn) beregnet for de ulike delområdene, der 1 representerer grensen for tillatt spredning. Kun områder som overskrider tillatt spredning er tatt med.

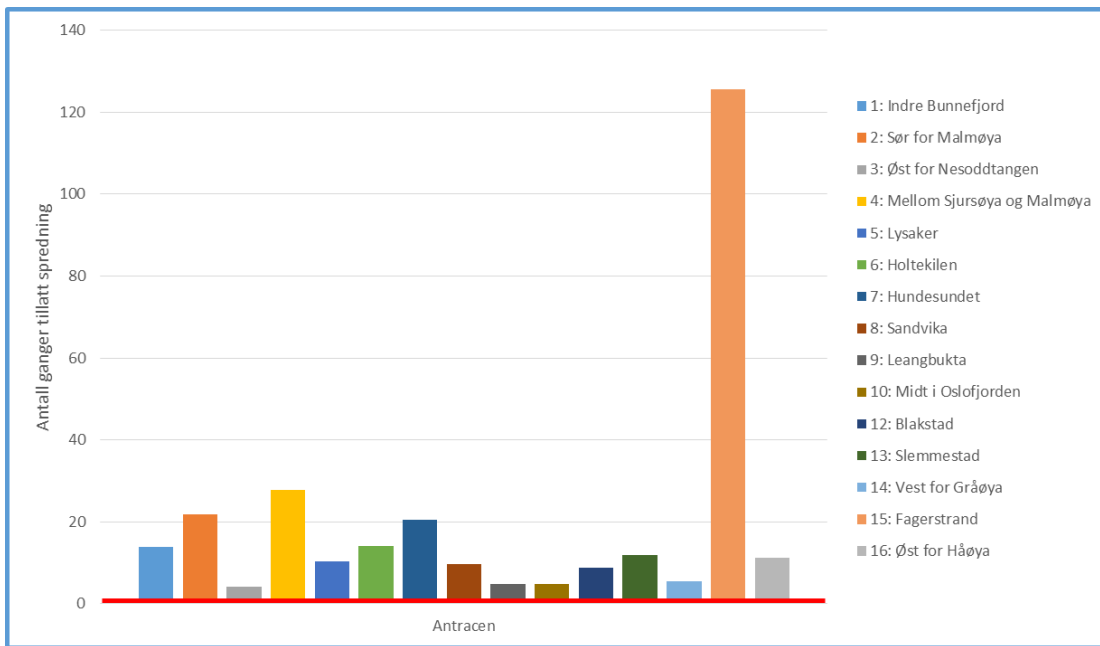
Overskridelsene er høyest for delområde 8 (Sandvika), etterfulgt av delområde 6 (Holtekilen) og delområde 5 (Lysaker). Det er kun delområdene i den indre delen av Oslofjorden som viser overskridelser av tillatt spredning for metaller, og det har sammenheng med at det også er der konsentrasjonsnivåer av metaller er påvist å være høyest (for mange metaller tilsvarende tilstandsklasse 3 og 4).



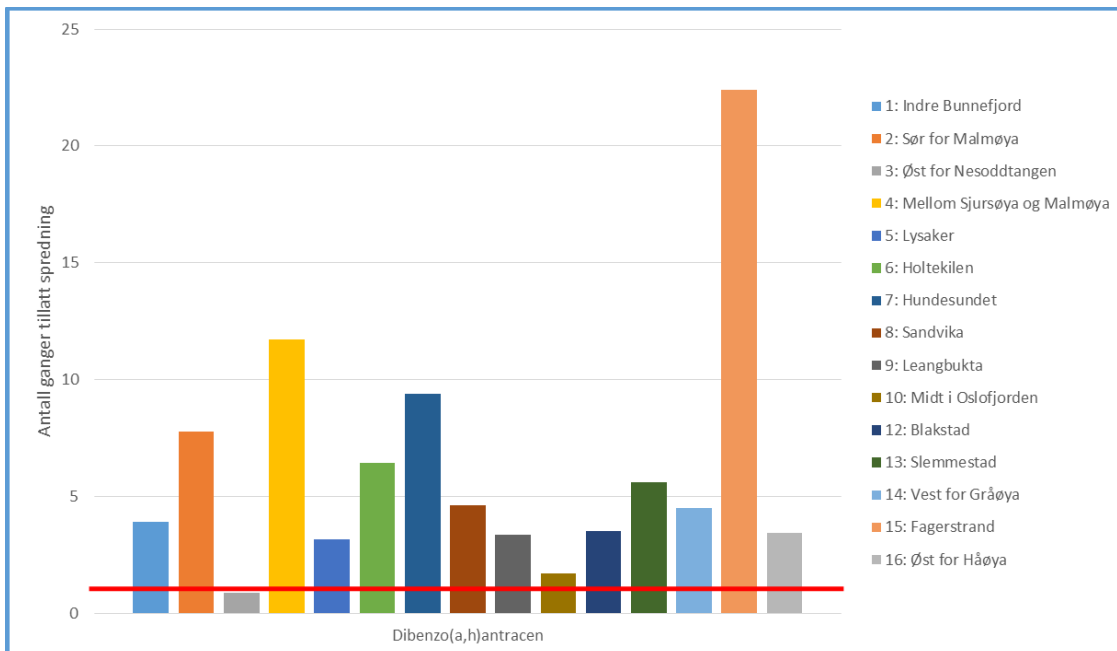
Figur 8 Overskridelse av tillatt spredning (antall ganger) for sink (Zn). Tillatt spredning er fluksen som ville vært forventet dersom konsentrasjonsnivået var lik grenseverdien for en trinn 1 risikovurdering. Grense for akseptabel spredning er vist med rød vertikal strek i figuren.

For PAH-forbindelser vises overskridelser av antracen (figur 9) og dibenzo(a,h)antracen (figur 10). For disse forbindelsene, samt for alle andre påviste PAH-forbindelser, utmerker delområde 15 (Fagerstrand) seg med høyest overskridelse av tillatt spredning. Dette er knyttet til en hot-spot av PAH-forbindelser i punkt P15-1. Konsentrasjonsnivået synes ikke å være representativt for området for øvrig. Det er likevel langt mellom prøvene innenfor delområdet, så prøven kan representere et betydelig areal, og dermed være forbundet med risiko for human helse og/eller økologi. Den lokale risikoen kan derimot ikke kvantifiseres basert på denne undersøkelsen alene.

Videre er det høye overskridelser av tillatt spredning for PAH-forbindelser i delområder 4 (mellom Sjursøya og Malmøya), etterfulgt av delområder 2 (sør for Malmøya) og 5 (Lysaker). Overskridelsene kan i hovedsak knyttes til at det også påvises høye konsentrasjonsnivåer i sedimenter i disse områdene (tilstandsklasse 4 for enkeltkongenere av PAH).

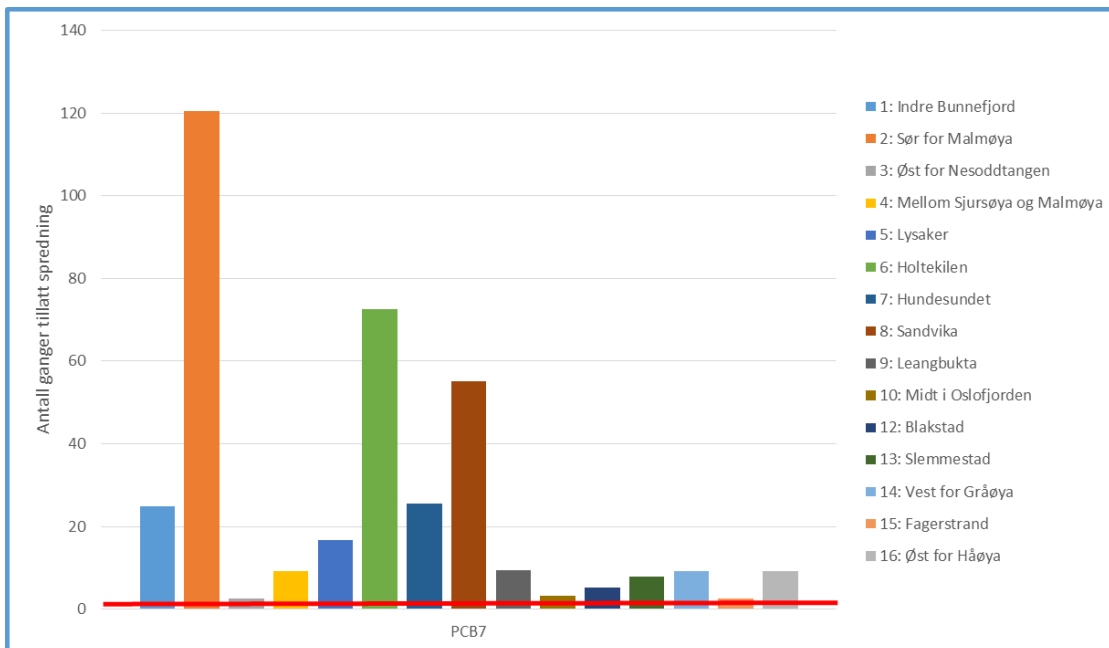


Figur 9 Overskridelse av tillatt spredning (antall ganger) for antracenen. Tillatt spredning er fluksen som ville vært forventet dersom konsentrasjonsnivået var lik grenseverdien for en trinn 1 risikovurdering. Grense for akseptabel spredning er vist med rød vertikal strek i figuren.



Figur 10 Overskridelse av tillatt spredning (antall ganger) for dibenzo(a,h)antracenen. Tillatt spredning er fluksen som ville vært forventet dersom konsentrasjonsnivået var lik grenseverdien for en trinn 1 risikovurdering. Grense for akseptabel spredning er vist med rød vertikal strek i figuren.

Overskridelse av tillatt spredning for PCB7 er vist i figur 11. Det er høyest overskridelse av tillatt spredning i delområde 2 (sør for Malmøya), delområde 6 (Holtekilen) og delområde 8 (Sandvika). De områdene med høyest spredning korresponderer til de områdene med høyeste påviste konsentrasjonsnivåer av PCB7.



Figur 11 Overskridelse av tillatt spredning (antall ganger) for PCB7. Tillatt spredning er fluksen som ville vært forventet dersom konsentrasjonsnivået var lik grenseverdien for en trinn 1 risikovurdering. Grense for akseptabel spredning er vist med rød vertikal strek i figuren.

For områdene med høyest spredning av PAH-forbindelser og PCB7 er det i hovedsak transport via organismer som er den dominerende spredningsmekanismen. Det er noe variasjoner mellom de ulike PAH-forbindelsene, der de lettere forbindelsene (f.eks Naftalen) domineres av biodiffusjon. Det er fordi denne forbindelsen i hovedsak transporteres som en løst forbindelse, mens de tyngre forbindelsene i hovedsak er bundet til partikler.

For delområde 5 (Lysaker) ser en betydelig virkning av skipsoppvirvling. Dette kommer av et høyt årlig estimat for anløp (15 297 anløp per år), både av småbåter og rutetrafikk. Det er gjort en avsjekk om rutetrafikk eller småbåter utgjør den største risikoen, og det synes at disse utgjør et omtrentlig like stort bidrag til spredningsmengden Dette kommer av at småbåter genererer en liten mengde spredd materiale per anløp (150 kg), men de har en lang innløpstrasé til småbåthavna (1 972 m). Rutetrafikken genererer derimot en stor mengde spredd materiale per anløp (2 000 kg), men har en kort innløpstrasé (158 m).

De områdene som skiller seg ut med høyest risiko for spredning er:

- Delområde 8 – Sandvika: Har høye overskridelser av tillatt spredning for metaller, særlig for sink og PCB7. Også noe høy spredning av PAH-forbindelser
- Delområde 6 – Holtekilen: Har høye overskridelser for metaller og PCB7
- Delområde 2 – sør for Malmøya: Har høye overskridelser for PAH-forbindelser og PCB7

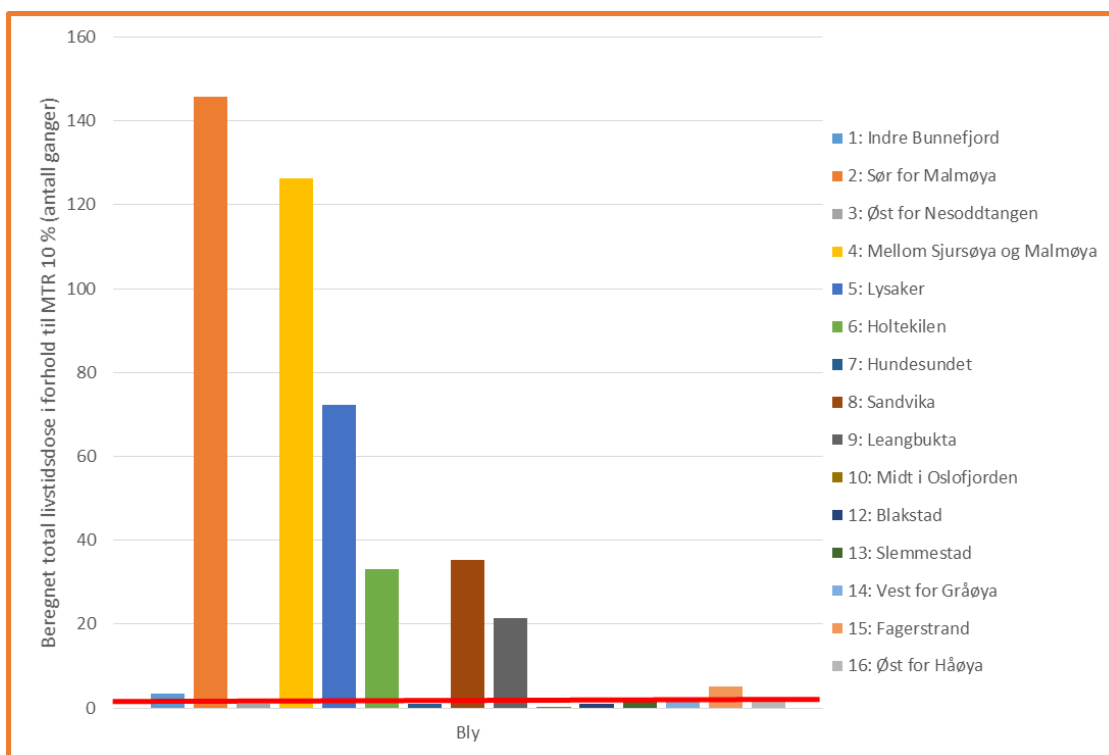
3.1.4 Kontroll av spredningsberegning

Det anbefales i M-409 at det blir gjort en kontroll av spredningsberegningene som gjøres av verktøyet, for å se om fluksene som beregnes er realistiske. I verktøyet gjøres det ved å beregne "tømmetid" for sedimentet, det vil si hvor lang tid det vil ta før de øverste 10 cm av sedimentet er tomt for miljøgift, gitt konsentrasjonsnivået som er lagt inn i verktøyet og den beregnede fluksen ut (F_{tot}). Dersom beregninger av tømmetid viser at lageret av miljøgift tømmes raskt, vil det enten si at fluksen ut overestimeres eller at det tilføres miljøgifter til sedimentet.

Det er gjort en kontroll på tømmetid med datasettet i prosjektet. Tømmetidene er relativt høye for en rekke parametere, og spesielt i de ytre delområder (områder 9 og utover) er det få parametere som har veldig kort tømmetid. Likevel ser en at i områder med mye båttrafikk så overestimeres spredning grunnet skipsoppvirvling. F.eks. ser en lav tømmetid (<2 år) for alle parametere innenfor delområde 3 (øst for Nesoddtangen). I prosjektering før tiltak er der derfor anbefalt at områder med spesielt mye skipstrafikk skilles ut som egne delområder som risikovurderes separat.

3.2 Risiko for human helse

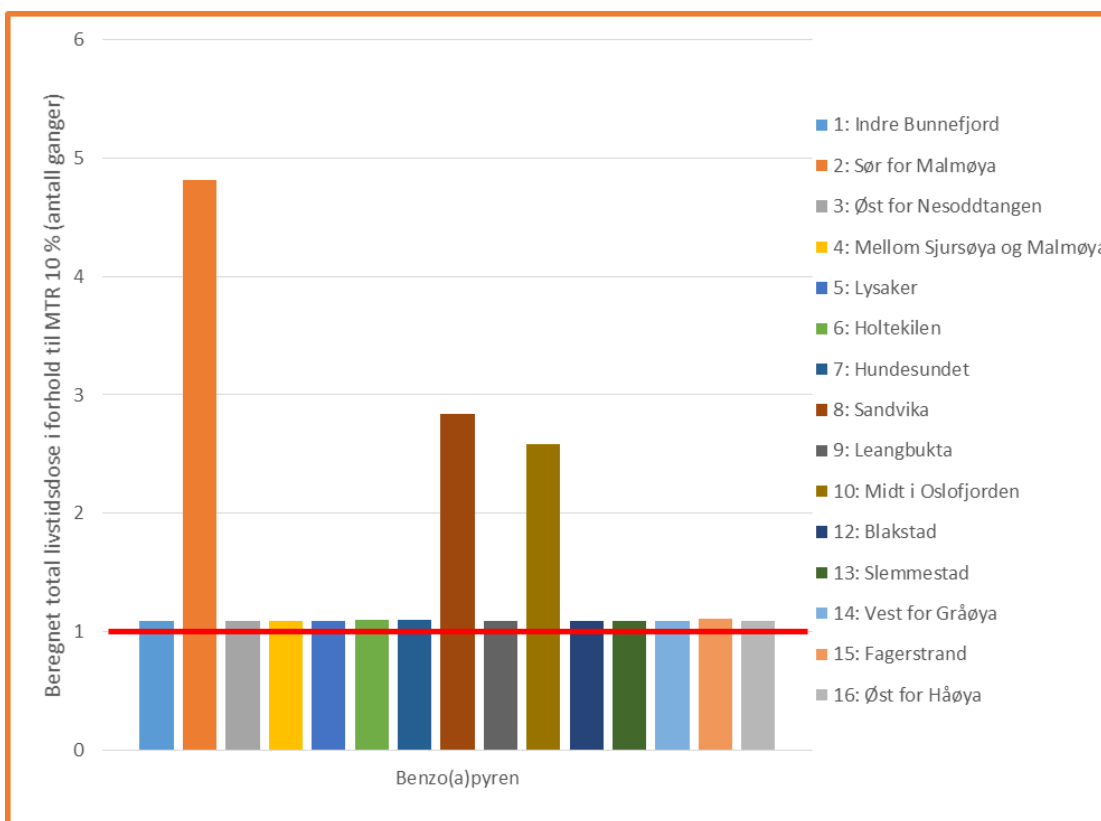
Risikoen for human helse er for de analyserte metallene i størst grad knyttet til sedimentenes innhold av bly. Figur 12 viser overskridelse av 10 % MTR for bly (antall ganger) beregnet for de ulike delområdene. Som en ser, er overskridelsene høyest i delområde 2, 4 og 5. En ser ikke overskridelse i delområder 3, 7, 10 og 12.



Figur 12 Beregnet total livstidsdose for bly (Pb) i forhold til MTR 10 %. Resultatene er angitt som antall ganger bly overskrider MTR 10 %. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.

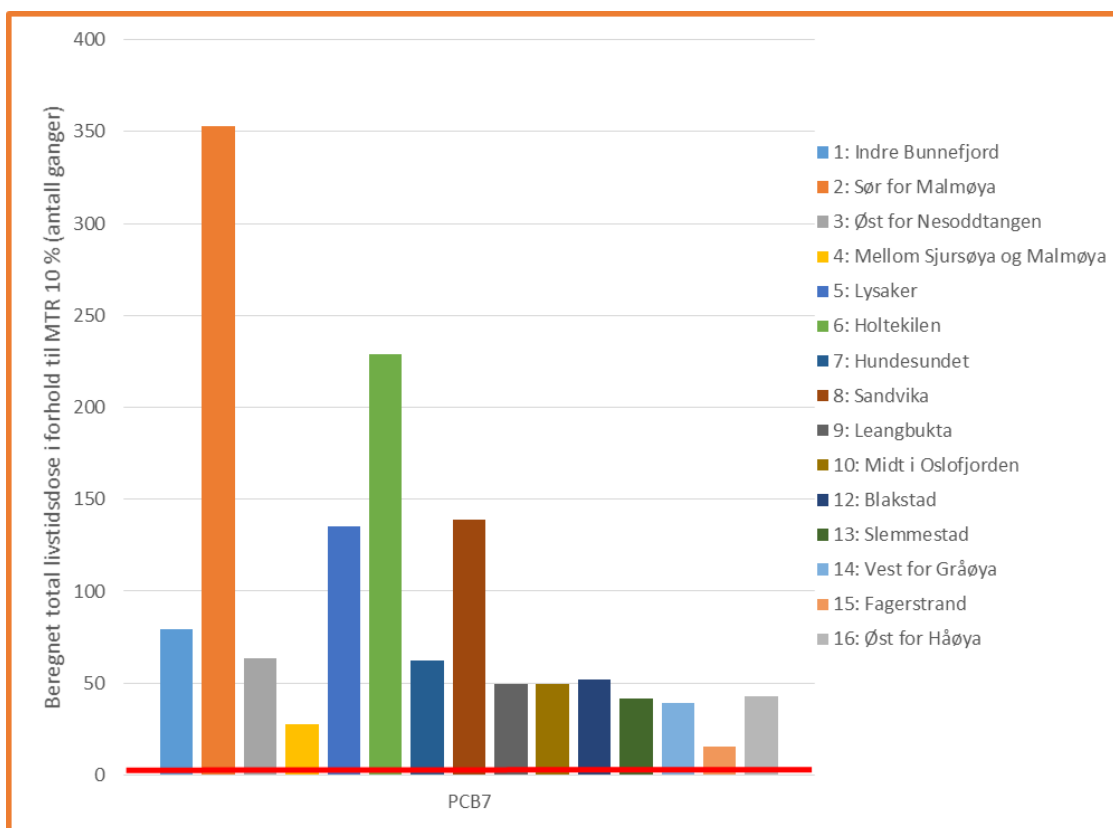
For PAH-forbindelser, er det få parametere som overskrider grenseverdien for human eksponering. Det er enkelte overskridelser for fenantren (delområder 1 og 10) og benzo(a)antracen (delområder 2 og 10). For benzo(a)pyren er det overskridelse av grensa i alle områder, som vist i figur 13. For resterende områder hvor kolonnene tilsynelatende er like høye, kommer det av at parameteren ikke påvises i porevann, og at porevannskonsentrasjonen i stor grad er styrende for videre transport oppover i næringskjeda (se faktabokser 12 og 7 i M-409 for å se formler for utregning av risiko for human eksponering via inntak av fisk og skalldyr, samt vedlegg IV for å se beregning av total risiko). Halv rapporteringsgrense benyttes som beregningsgrunnlag for parametere som ikke påvises.

For benzo(a)pyren er risikoen for human helse størst i delområde 2, men også forhøyet i delområder 8 og 10.



Figur 13 Beregnet total livstidsdose for benzo(a)pyren (B(a)P) i forhold til MTR 10 %. Resultatene er angitt som antall ganger B(a)P overskrider MTR 10 %. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.

For PCB vises risikoen for human helse forbundet med sedimenter med innhold av sju kongener av PCB (PCB7) i figur 14. Her ser en at den høyeste risikoen for human helse er i delområde 2, etterfulgt av delområder 6, 8 og 5.



Figur 14 Beregnet total livstidsdose for PCB7 i forhold til MTR 10 %. Resultatene er angitt som antall ganger PCB7 overskrider MTR 10 %. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.

De områdene som utpeker seg med høyest risiko for human helse er:

- Delområde 2: Sør for Malmøya. Har høyest risiko forbundet med metaller, PAH-forbindelser og PCB
- Delområde 8: Sandvika. Har høy risiko forbundet med innhold av metaller, PAH-forbindelser og PCB
- Delområde 5: Lysaker. Har høy risiko forbundet med innhold av metaller og PCB
- Delområde 4: Mellom Sjursøya og Malmøya. Har høy risiko forbundet med metaller.

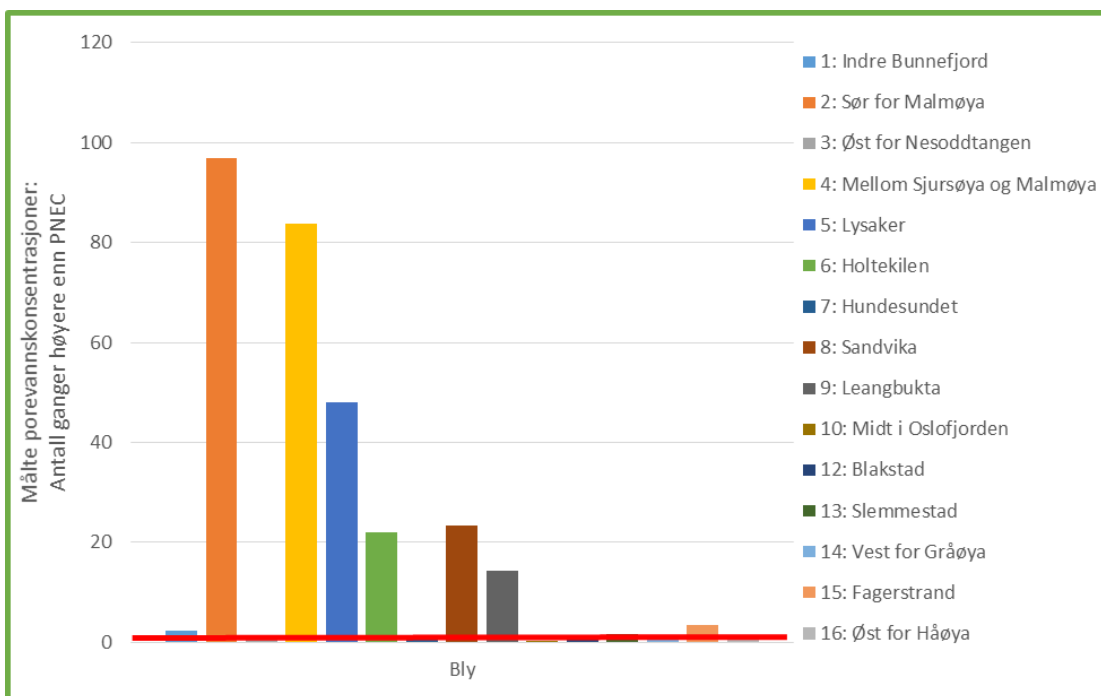
Den dominerende eksponeringsveien for human helse er gjennom konsum av fisk og skalldyr. For noen metaller er det også noe eksponering gjennom oralt inntak av sedimenter. Se vedlegg for detaljer vedrørende eksponeringsveier for de ulike delområdene.

3.3 Risiko for økologiske effekter

3.3.1 Beregnet risiko basert på porevannskonsentrasjoner

For metallene er den høyeste beregnede risikoen for økologiske effekter knyttet til påviste konsentrasjoner av bly (figur 15) og arsen (figur 16) i porevannet. Resultatene fra risikovurderingen vises som antall ganger den påviste konsentrasjonen overskrider PNEC (predicted no-effect concentration) for forbindelsene. Det er noe usikkerheter knyttet til de påviste porevannskonsentrasjonene på grunn av mulig innhold av partikulært materiale. Derfor blir også resultater fra beregnede porevannresultater tatt med og diskutert (figurer med stiplede rammer). Her er porevannskonsentrasjonene beregnet fra en fordeling fra de stedlige sedimentene. Fordelingen bestemmes av en fordelingskoeffisient (K_d) som er hentet fra litteraturen (ligger inne som sjablongverdier i risikovurderingsverktøyet).

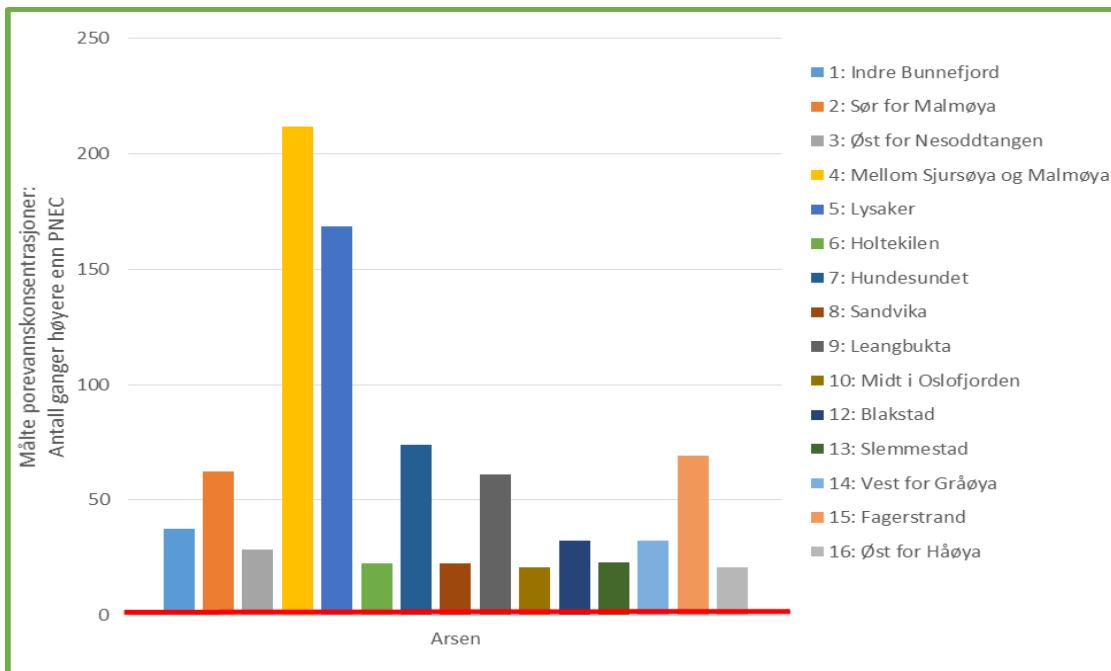
For bly (figur 15) er overskridelsen av PNEC høyest i delområde 2 (sør for Malmøya) etterfulgt av delområde 4 (mellom Sjursøya og Malmøya) og delområde 5 (Lysaker). For beregnede porevannskonsentrasjoner er det ingen overskridelser av PNEC.



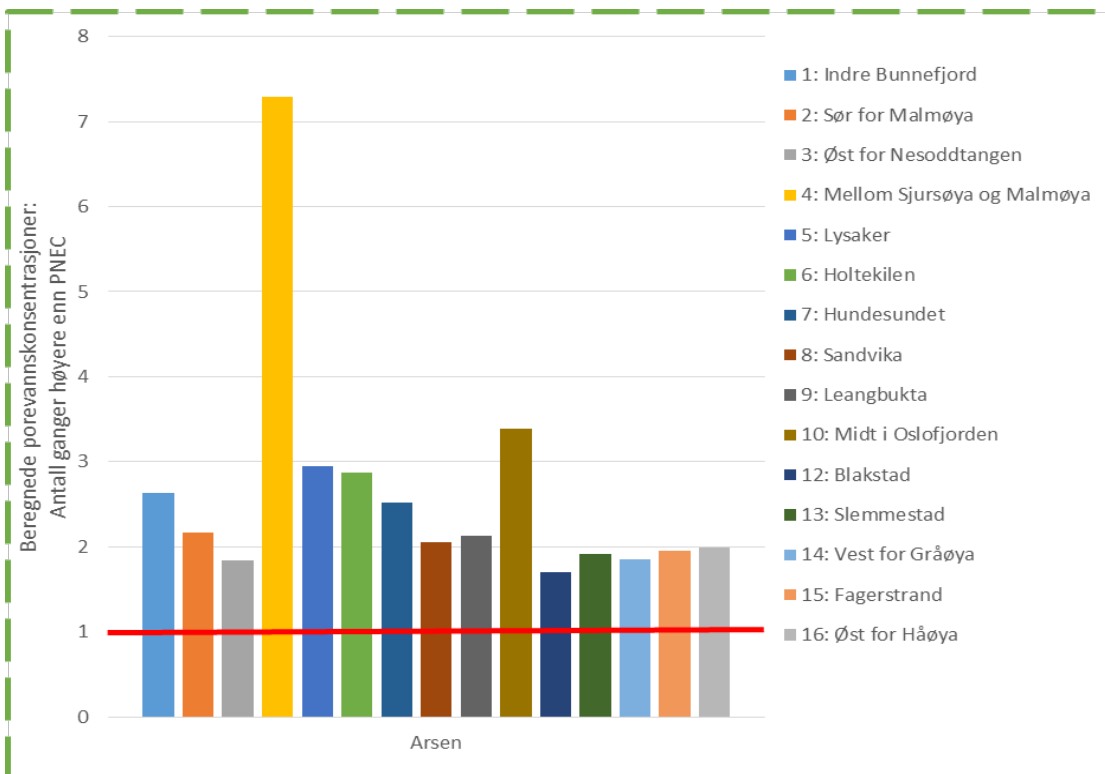
Figur 15 Målte porevannskonsentrasjoner av bly (Pb) i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.

For arsen (figur 16) er det høyest økologisk risiko knyttet til overskridelser i delområde 4 (mellom Sjursøya og Malmøya), delområde 5 (Lysaker) og delområde 7 (Hundesundet). Også delområder 2, 9 og 15 har relativt høye overskridelser av PNEC. For beregnede porevannskonsentrasjoner (figur 17) har også delområde 4 høyest overskridelse av risiko for arsen, etterfulgt av delområde 10 (midt i Oslofjorden) og delområde 5 (Lysaker). Dette er i god overensstemmelse med det en ser for målte porevannskonsentrasjoner for arsen, der også delområder 4 og 5 kommer ut med høyest risiko. For delområde 10 er porevannet filtrert før analyse, og en kan således ha fjernet en del av partikulært bundet metall i prøven. Merk også at nivået på overskridelsene er mye lavere for beregnede porevannskonsentrasjoner (se y-akser).

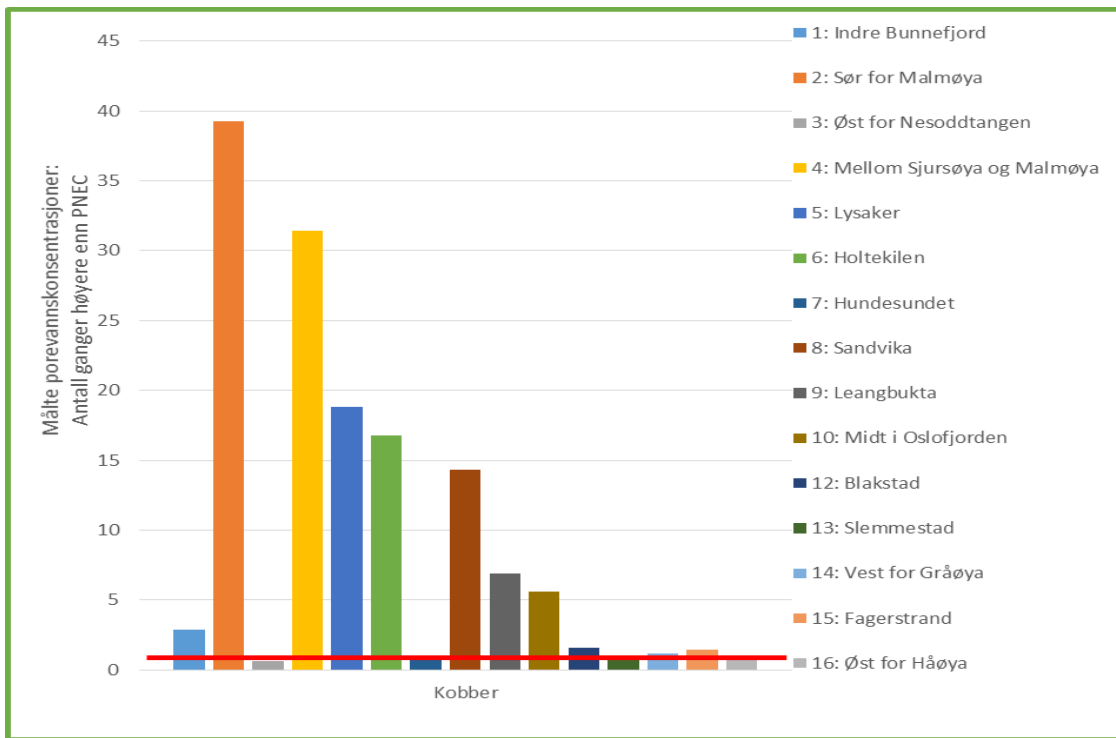
For kobber viser figur 18 målte overskridelser av PNEC i porevann, mens figur 19 viser beregnede. Også her er målte overskridelser mye større enn beregnede (se y-akser). Ser man bort fra delområde 2 som ikke viser overskridelse for beregnede porevannskonsentrasjoner av kobber, er områder forbundet med høyest risiko relativt sammenfallende, hvor delområder 4 (mellom Sjursøya og Malmøya), 5 (Lysaker), 6 (Holtekilen) og 8 (Sandvika) alle kommer ut med uakseptabel risiko for økologiske effekter.



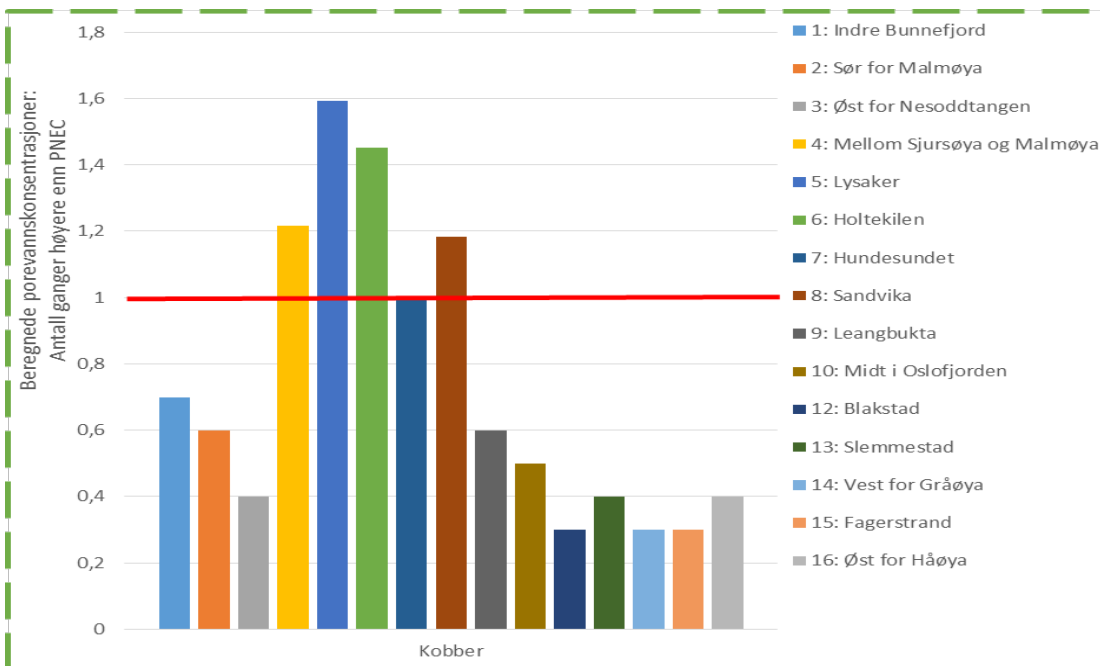
Figur 16 Målte porevannskonsentrasjoner av arsen (As) i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.



Figur 17 Beregnede porevannskonsentrasjoner for arsen (As) i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.



Figur 18 Målte porevannskonsentrasjoner av kobber (Cu) i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.



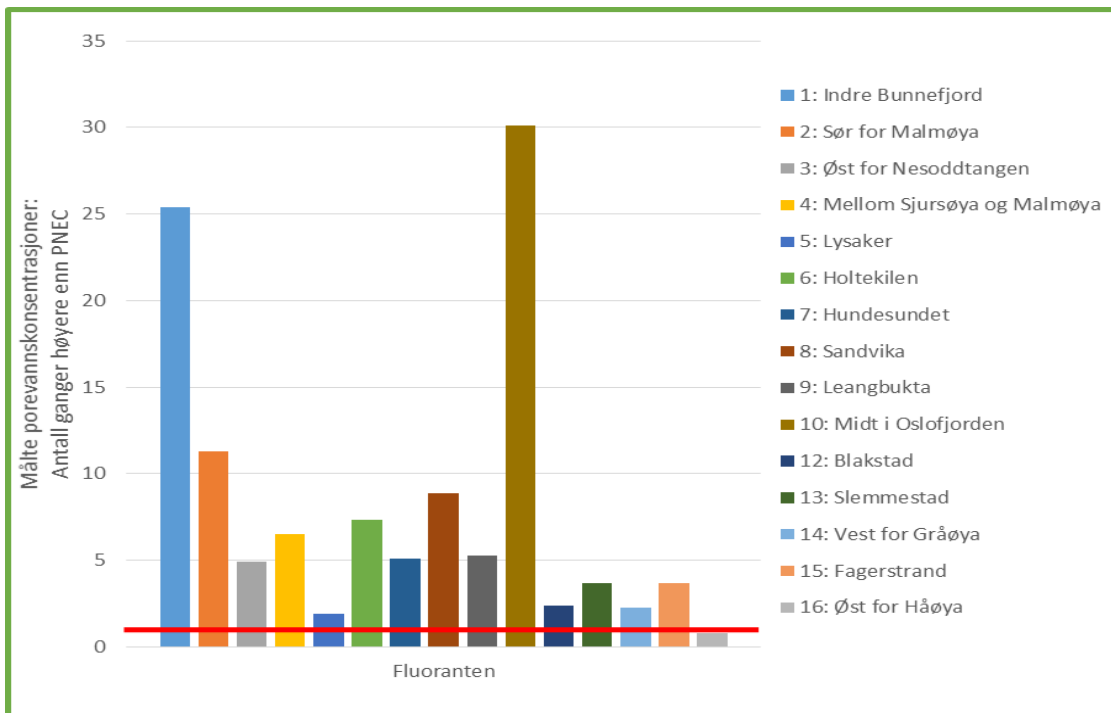
Figur 19 Beregnede porevannskonsentrasjoner av kobber (Cu) i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.

Det er gjennomgående for de fleste metaller at delområde 2 har de største overskridelsene av PNEC for det målte porevannet. Dette gjelder for Pb, Cd, Cu, Hg, Ni og Zn. Unntaket er for arsen og krom. Delområde 2 utmerker seg derimot ikke når beregnede konsentrasjoner sammenlignes med PNEC.

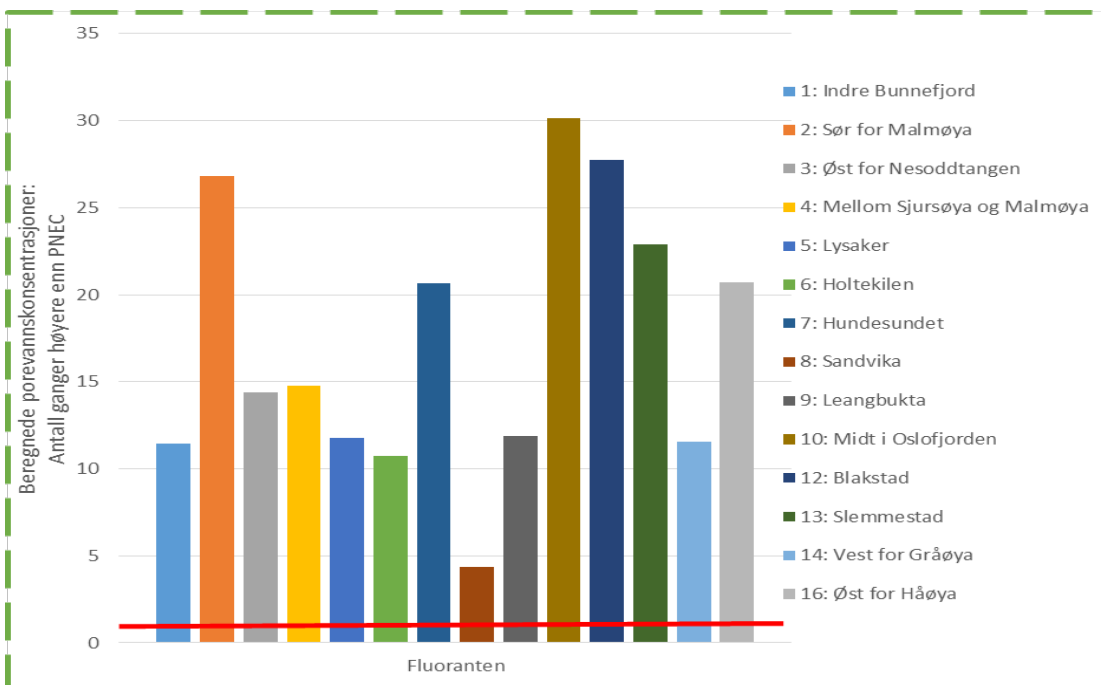
For PAH-forbindelser, vises resultater for sammenligning av forbindelsene mot PNEC for fluoranten (figur 20), pyren (figur 22) og benzo(a)pyren (figur 24). Disse forbindelsene har overskridelse av PNEC i mange delområder, slik at en kan sammenligne hvilke områder som har høyest risiko for økologiske effekter forbundet med de påviste konsentrasjoner i porevann. Det vises også til figurer som sammenligner beregnede porevannskonsentrasjoner med PNEC for de samme PAH-forbindelsene (fluoranten: se figur 21; pyren: se figur 23; benzo(a)pyren: se figur 25)

For målte porevannskonsentrasjoner av PAH-forbindelser vises det ikke resultater fra delområde 10, siden porevannet ikke er analysert for organiske miljøgifter. Delområde 10 er derimot med i figurer som viser beregnede porevannskonsentrasjoner. For beregnede verdier tas delområde 15 (Fagerstrand) ut av figurene. Det kommer av at det er mye høyere konsentrasjonsnivåer for PAH-forbindelser i dette delområdet enn i andre områder, og at det vanskeliggjør sammenligning. Delområde 15 kommer ut med høyest risiko for alle PAH-forbindelser når vurderingen baseres på beregnede porevannskonsentrasjoner. PNEC overskrides henholdsvis 195, 70 og 425 for fluoranten, pyren og benzo(a)pyren.

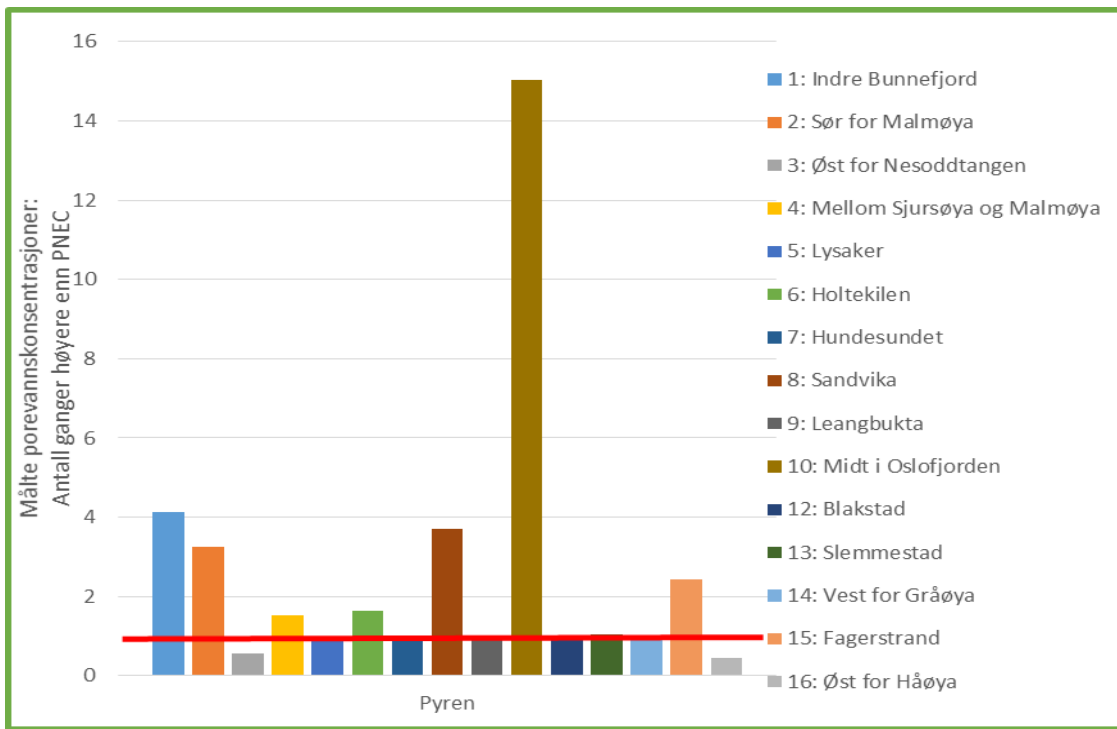
Den høyeste risikoen for økologiske effekter grunnet målte porevannskonsentrasjoner av fluoranten forekommer i delområde 1 (indre Bunnefjord) etterfulgt av delområde 2 (sør for Malmøya) og delområde 8 (Sandvika). For beregnede porevannskonsentrasjoner er det delområde 10 (midt i Oslofjorden) som er høyest, etterfulgt av delområde 2 (sør for Malmøya) og 12 (Blakstad). Delområder 1 og 8 er ikke blant de med høyeste overskridelser når PNEC sammenlignes med beregnede porevannskonsentrasjoner.



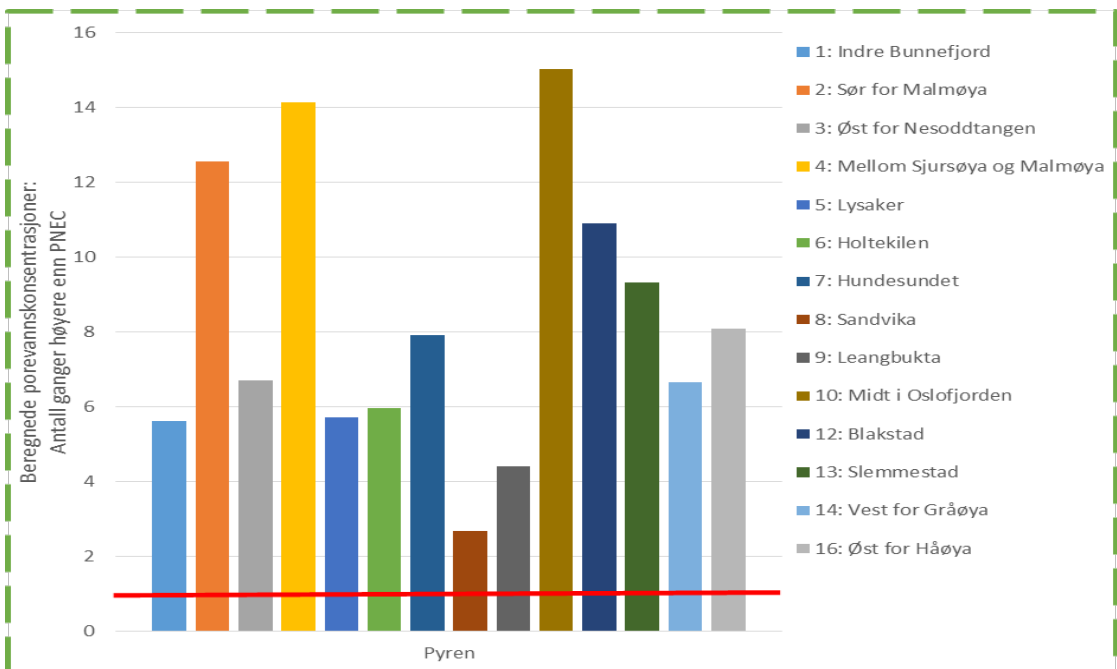
Figur 20 Målte porevannskonsentrasjoner av fluoranten i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.



Figur 21 Beregnede porevannskonsentrasjoner av fluoranten i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek. Delområde 15 er tatt ut av figuren fordi beregnet overskridelse er mye høyere enn for de øvrige områder (overskrider PNEC 195 ganger)



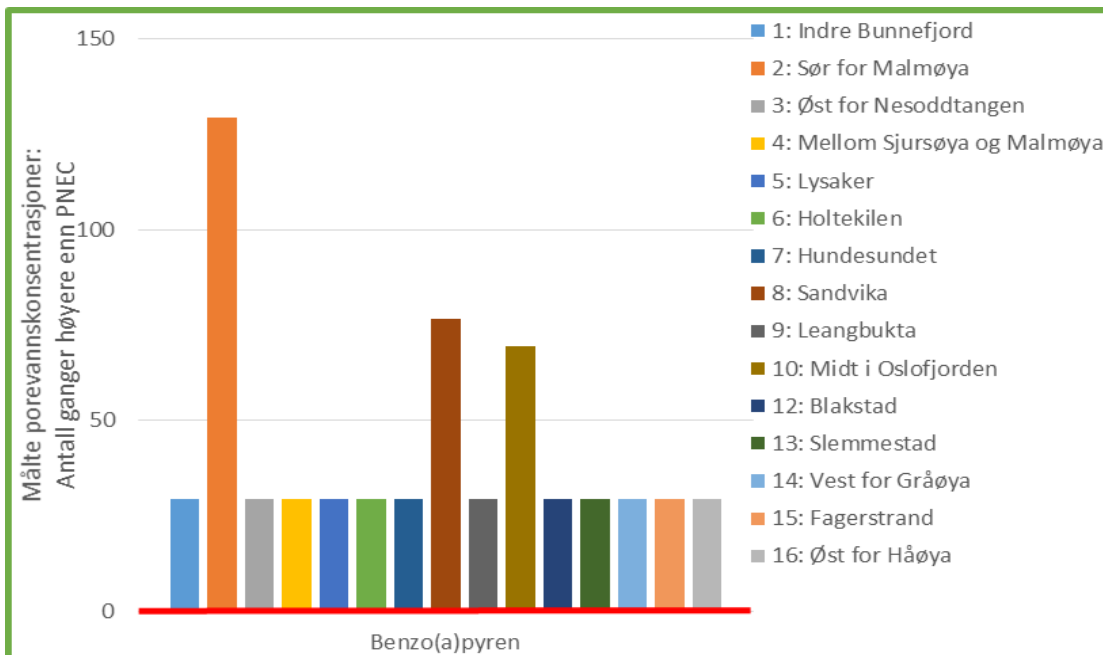
Figur 22 Målt porevannskonsentrasjon av pyren i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.



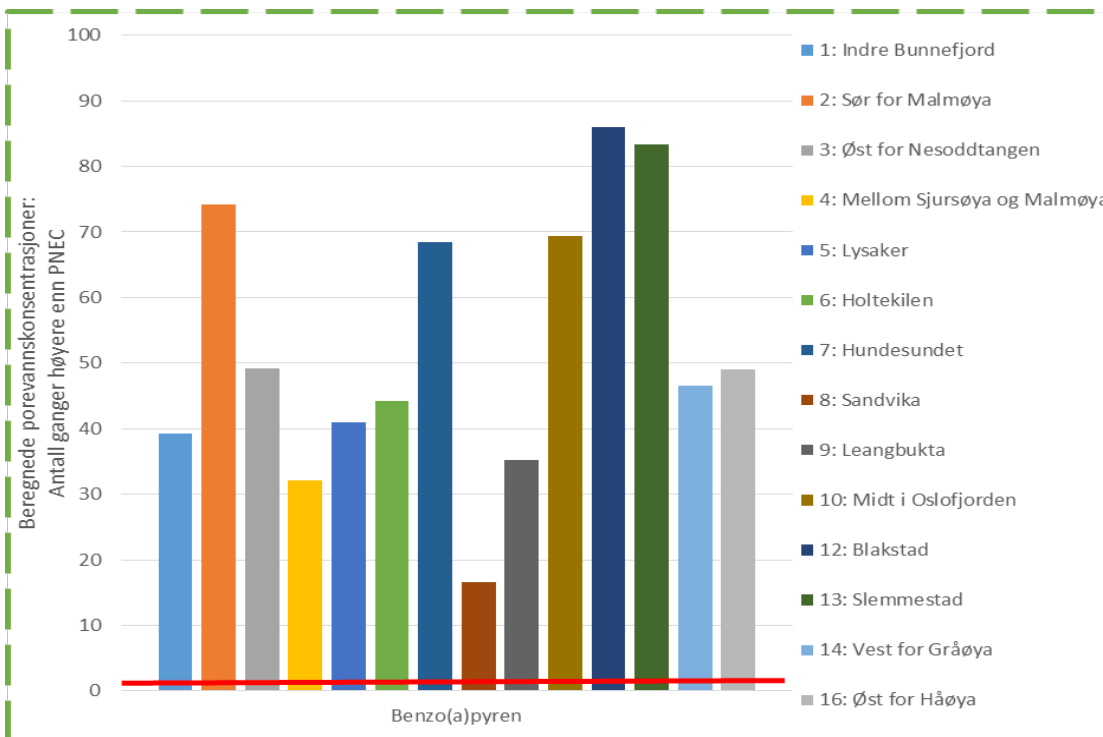
Figur 23 Beregnede porevannskonsentrasjoner av fluoranten i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek. Delområde 15 er tatt ut av figuren fordi beregnet overskridelse er mye høyere enn for de øvrige områder (overskrider PNEC 70 ganger)

For målte porevannskonsentrasjoner for pyren er det de samme tre områdene (1, 2 og 8) som utpeker seg, dog med noe høyere risiko forbundet med delområde 8 enn delområde 2. For beregnede verdier er det delområder 10 (midt i Oslofjorden), 4 (mellom Sjursøya og Malmøya) og 2 (sør for Malmøya) som er høyest.

For målte porevannskonsentrasjoner av benzo(a)pyren er PNEC tilsynelatende overskredet med like mye i mange av delområdene (figur 24). Dette kommer av at halv rapporteringsgrense for benzo(a)pyren (0,005 µg/L) overskrider PNEC (0,00017 µg/L). Risikoen forbundet med porevannets innhold av benzo(a)pyren i disse områdene er derfor usikre, men uansett lavere enn det en ser i områder der forbindelsen er påvist i porevannet. Høyest økologisk risiko for benzo(a)pyren er funnet i delområde 2 (sør for Malmøya), etterfulgt av delområde 8 (Sandvika).



Figur 24 Målt porevannskonsentrasjon av benzo(a)pyren i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek.



Figur 25 Beregnede porevannskonsentrasjoner av benzo(a)pyren i sedimentene, sammenlignet med PNEC for forbindelsen. Grense for tillatt nivå er angitt som rød vertikal strek. Delområde 15 er tatt ut av figuren fordi beregnet overskridelse er mye høyere enn for de øvrige områder (overskrider PNEC 425 ganger)

For beregnede porevannskonsentrasjoner av benzo(a)pyren (figur 25) ser en at overskridelse av PNEC er høy for delområde 2, men det er også andre områder som er tilsvarende høye (delområder 7, 10, 12 og 13). Risiko forbundet med porevannskonsentrasjoner i delområder 9 til 16 kan være noe underestimerte, siden gjennomsnittskonsentrasjonene fra området gjennomgående er høyere enn påviste konsentrasjonsnivåer i porevannssedimenter (se vedlegg Q).

Sammenligningen mellom overskridelser av PNEC basert på målte og beregnede porevannskonsentrasjoner viser at en ikke ville ha konkludert likt basert på de to datasettene. Dette bidrar dermed med en usikkerhet knyttet til vurderingene som er gjort. Samtidig er det noen delområder som peker seg ut i begge datasett (metaller: delområder 4, 5, 6 og 8 og PAH-forbindelser: delområde 2) og dette styrker vurderingen av en uakseptabel økologisk risiko i disse områdene.

3.3.2 Beregning av sjøvannskonsentrasjoner

Risikovurderingsverktøyet beregner også sjøvannskonsentrasjoner basert på spredningsvurderinger og fortykning i vannvolum, og sammenligner disse med PNEC. Følgende delområder har beregnet sjøvannskonsentrasjoner som overskrider PNEC (antall ganger overskridelse):

- ↗ Delområde 3 – Øst for Nesoddtangen: Arsen (1,1), benzo(a)pyren (15), dibenzo(a,h)antracen (1), benzo(g,h,i)perylene (3,9). Her har beregninger av tømmetid vist at spredningen overestimeres, så sjøvannskonsentrasjonene som kan påvises i området er trolig lavere enn beregnet
- ↗ Delområde 5 – Lysaker: Arsen (1,6), benzo(a)pyren (5,5), benzo(g,h,i)perylene (1,4) og TBT (1,9)
- ↗ Delområde 6 – Holtekilen: Benzo(a)pyren (3,2)
- ↗ Delområde 8 – Sandvika: TBT (1,8)
- ↗ Delområde 9 – Leangbukta: TBT (14,7)
- ↗ Delområde 10 – Midt i Oslofjorden: TBT (4,9)
- ↗ Delområde 12 – Blakstad: Benzo(a)pyren (1,9)

Det legges ikke vekt på beregnede sjøvannskonsentrasjon i denne fasen. Det kommer av at det ikke er gjort noen stedsspesifikk vurdering av vannets oppholdstid innenfor de ulike delområdene, og det er en viktig parameter i utregningen av sjøvannskonsentrasjon i områdene. For en nærmere vurdering burde det måles på innhold av miljøgifter i vannsøylen for eksempel med passive prøvetakere.

3.3.3 Vurdering av risiko basert på toksisitetstester

Tabell 5 viser resultater fra toksisitetstester utført på sedimenter fra delområdene. Det er ikke utført toksisitetstester på sedimenter fra delområde 10, da det ikke var tilstrekkelig med porevann for ekstraksjon.

Resultatene fra toksisitetstestene er også omhandlet i trinn 1 risikovurdering (NGI, 2021). Resultatene viser følgende overskridelser:

- ↗ *Skeletonema costatum*: Delområder 2 (Sør for Malmøya), 4 (Mellom Sjursøya og Malmøya), 8 (Sandvika), 13 (Vest for Gråøya) og 15 (Fagerstrand)
- ↗ *Tisbe battagliai*: Delområde 2 (Sør for Malmøya)
- ↗ DR-CALUX: Delområder 4 (Mellom Sjursøya og Malmøya) og 5 (Lysaker)

I tabell 5 vises i tillegg til resultatene fra trinn 1 også resultatene av helsedimentttesten, som er en del av en trinn 2 risikovurdering. Resultatene fra helsedimentttest med *Corophium volutator* viser at ingen av delområdene har høyere dødelighet enn grenseverdien for økotoksisitet. Det er høyest dødelighet innenfor delområde 4 (mellom Sjursøya og Malmøya), etterfulgt av delområde 2 (sør for Malmøya) og delområde 7 (Hundesundet).

Tabell 5 Resultater fra toksisitetstester utført på sedimenter fra delområdene i indre Oslofjord.

Delområde	Organisk ekstrakt	Porevann		Hersedimentttest
	Dr Calux (TEQ ng/kg TS)	<i>Skeletonema</i> (TU)	<i>Tisbe</i> (TU)	<i>Corophium volutator</i> (% dødelighet)
1: Indre Bunnefjord	24	<1	<1	5
2: Sør for Malmøya	8,5	9	2	8
3: Øst for Nesoddtangen	14	<1	<1	5
4: Mellom Sjursøya og Malmøya	64	2	<1	10
5: Lysaker	68	<1	<1	3
6: Holtekilen	39	1	<1	5
7: Hundesundet	15	1	<1	7
8: Sandvika	34	2	<1	0
9: Leangbukta	27	<1	<1	3
12: Blakstad	12	<1	<1	1
13: Slemmestad	6,4	2	<1	5
14: Vest for Gråøya	17	<1	<1	3
15: Fagerstrand	17	2	1	1
16: Øst for Håøya	22	<1	<1	3
Grenseverdi for økotoksisitet	TEQ < 50 ng/kg	1,0	1,0	20 %

3.3.4 Oppsummering av risiko for økologiske effekter

Fra vurderingene av risiko for økologiske effekter basert på porevannskonsentrasjoner og toksisitetstester, er det sedimenter innenfor følgende delområder som har høyest risiko for økologiske effekter:

- Delområde 2 - Sør for Malmøya. Har overskridelser av PNEC i porevann for en rekke metaller, samt overskridelser av PAH-forbindelser både for målt og beregnet porevannskonsentrasjon. Overskrider også grenseverdier for økotoksistet i toksisitetstester (to av fire tester)
- Delområde 8 – Sandvika: Overskrider PNEC i porevann for målte PAH-forbindelsene, og har også overskridelser for metaller. Har lavere overskridelser av PNEC for beregnede porevannskonsentrasjoner enn øvrige områder. Overskrider også grenseverdier for økotoksistet i toksisitetstester (en av fire tester)
- Delområde 4 – mellom Sjursøya og Malmøya: Overskrider PNEC i porevann for både beregnede og målte metallkonsentrasjoner, samt beregnede PAH-konsentrasjoner. Overskrider også grenseverdier for økotoksistet i toksisitetstester (to av fire tester)
- Delområde 5 - Lysaker – Har blant de høyeste overskridelsene av PNEC i porevann for bly og arsen, men overskrider i liten grad PNEC for PAH-forbindelser. Overskrider også grenseverdier for økotoksistet i toksisitetstester (en av fire tester)

3.4 Oppsummering risikovurderinger

Miljømålene som er fastsatt for Oslofjorden og ble presentert innledningsvis er:

- Oppnå god miljøtilstand
- Ivareta det biologiske mangfoldet i fjorden

Per i dag er det ingen av de undersøkte delområdene som oppnår det som er definert som "god miljøtilstand". Denne tilstanden vil kun være oppnådd i områder med sedimentkonsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse 2, og som vist i trinn 1 risikovurdering (NGI, 2021) er det ingen områder som per nå tilfredsstillende dette kriteriet.

I trinn 2 risikovurdering er beregnede risikoer sammenlignet med gjeldende grenseverdier for å si noe om akseptabel risiko. Følgende konklusjoner kan trekkes fra disse vurderingene:

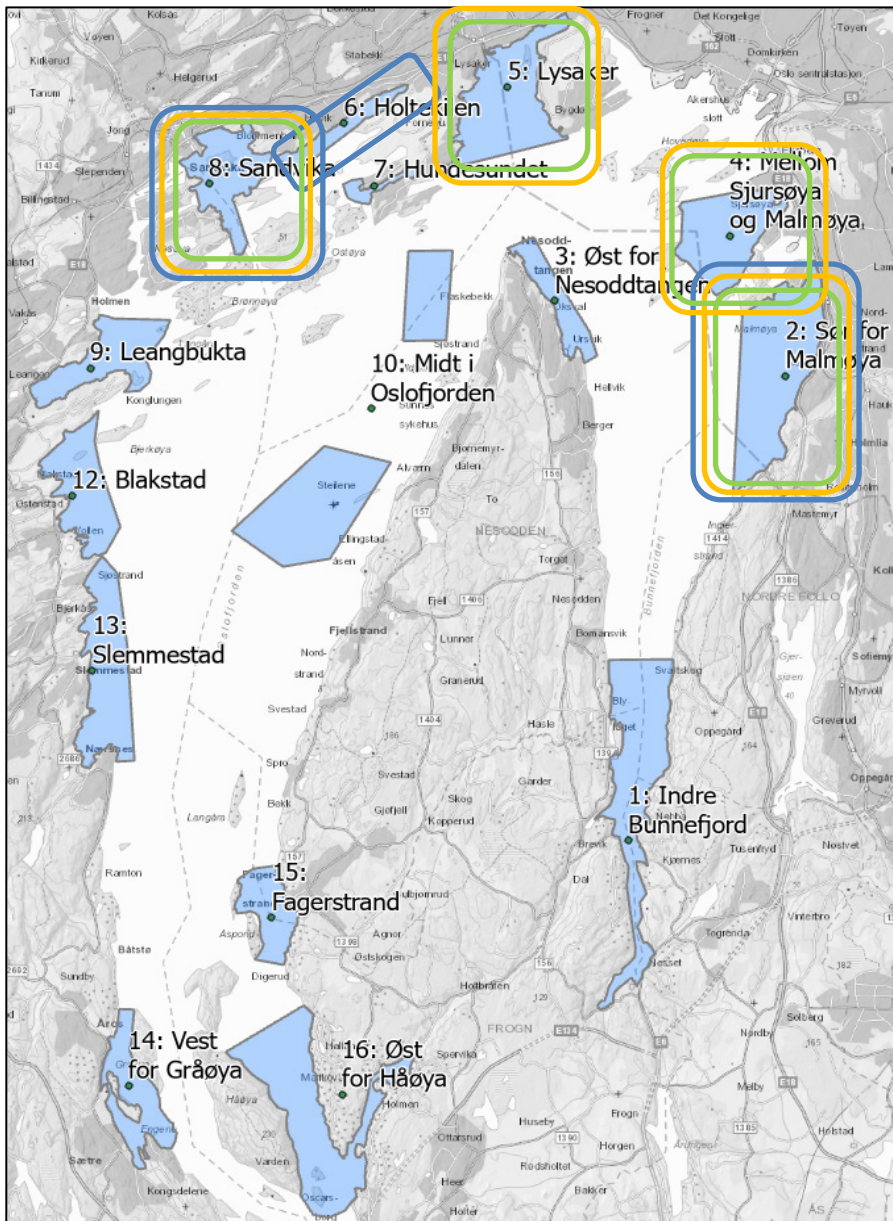
- Risiko for spredning: Risikoen er uakseptabel dersom spredningen overskrider den teoretiske spredningen fra et referansesediment (her er et sediment som overholder grenseverdier for trinn 1 benyttet, tilsvarer tilstandsklasse 2) som påvirkes på samme måte som sedimentarealet i delområdet
 - Konklusjon: Alle delområder viser overskridelse av tillatt spredning
- Risiko for human helse: Risikoen er uakseptabel dersom beregnet human eksponering overskrider 10 % MTR/TDI

- Konklusjon: Alle delområder viser overskridelse av risiko for human helse
- Risiko for økologiske effekter: Risikoen er uakseptabel dersom porevannskonsentrasjoner er høyere enn PNEC
 - Konklusjon: Det forekommer overskridelse av PNEC i alle delområder. Toksisitetstester på sedimentet viser overskridelse av grenseverdier for økotoksisitet innenfor delområder 2 (sør for Malmøya), 4 (mellom Sjursøya og Malmøya), 5 (Lysaker), 8 (Sandvika), 13 (Slemmestad) og 15 (Fagerstrand)

Risikovurderingene viser at alle områdene har overskridelser av sedimentkonsentrasjoner som ansees som uakseptable for spredning, human helse og økologi. Imidlertid er det betydelig variasjon mellom de ulike delområdene hvor mange ganger akseptabelt nivå overskrides, samt hvor mange parametere som det påvises overskridelser for. På bakgrunn av dette har NGI utarbeidet en prioritering av de ulike delområdene. Det ser ut som den samlede risikoen er høyest i følgende fire delområder:

- Delområde 2 (sør for Malmøya) Har overskridelse for risiko for spredning, human helse og økologiske effekter
- Delområde 8 (Sandvika): Har overskridelse for risiko for spredning, human helse og økologiske effekter
- Delområde 5 (Lysaker): Har overskridelse for risiko for human helse og økologiske effekter
- Delområde 4 (mellom Sjursøya og Malmøya): Har overskridelse for risiko for human helse og økologiske effekter

Dette er vist grafisk på kartet i Figur 26.



Figur 26 Grafisk oppsummering av beregnet risiko. Firkanter viser områder hvor risikovurdering har vist høyest risiko for spredning (blå firkanter), human helse (oransje firkanter) og økologiske effekter (grønne firkanter). Det understrekes at ingen delområder i indre Oslofjord har akseptabel risiko for noen av de vurderte risikoelementene.

Det er usikkerheter knyttet til risikovurderingene presentert i denne rapporten som vil kunne ha konsekvenser for vurderingene som har blitt gjort.

Sedimentundersøkelsen (oppsummert i NGI, 2021) er blitt gjort ved at det er tatt ut prøve fra fem sedimentstasjoner innenfor hvert delområde, uavhengig av områdets størrelse. Dette vil kunne slå ut på beregnede risikoer. Med større areal øker også usikkerheten knyttet til prøvenes representativitet for hele arealet.

I denne undersøkelsen har man bevisst plassert sedimentstasjoner i punkter der en har rimelig nærhet til kilder på land. Det er derfor sannsynlig at en i de fleste områder overestimerer risikoen noe. Overestimeringen vil øke med områdenes areal, fordi en i et område med større areal påfører et større areal en muligens forhøyd gjennomsnittlig sedimentkonsentrasjon. I et mindre areal vil også fem prøvestasjoner dekke en større del av sedimentarealet som risikovurderes.

Det er noen usikkerheter knyttet til porevannskonsentrasjoner, spesielt angående partikkelinnholdet i porevannet. For mange områder ser en at spredning av metaller øker betraktelig når en benytter målt porevann, sammenlignet med porevann som er teoretisk beregnet ut fra fordeling fra de stedlige sedimentene. I noen områder ser en også at tømmetiden som er beregnet fra sedimentene er lav for noen metaller, en indikasjon på overestimering av spredning. Dette kan være et resultat av at det er noe partikulært materiale i det analyserte porevannet, som overestimerer porevannskonsentrasjonene noe. En overestimert spredning fører til en overestimering av risiko. Fordelen her er at denne effekten er lik for alle delområder (med unntak av delområde 10). Dermed vil det ikke påvirke de relative forskjellene mellom områdene i alt for stor grad.

En annen usikkerhet for porevannskonsentrasjoner, er at porevannssedimentene og gjennomsnittet av prøver innenfor delområdene avviker noe (se vedlegg Q). I risikovurderingen er konsentrasjoner i porevannet og gjennomsnittskonsentrasjoner av sedimenter innenfor delområdet (prøver som er navngitt PX-1 til 5, der X er delområdet, samt prøver med navn VMX-1 etc. som er uttrekk fra Vannmiljø) benyttet sammen. Dette er i tråd med intensjonen i verktøyet, og det vil vanligvis være en usikkerhet knyttet til dette. Forskjellen i dette prosjektet er at også porevannssedimentene har blitt analysert og en kan derfor identifisere om det foreligger forskjeller som vil kunne føre til mer eller mindre konservatisme i beregningene. Dette varierer noe fra delområde til delområde, og trender innenfor hvert område er derfor oppsummert i vedlegg Q. Noe av usikkerheten for porevannskonsentrasjoner kan derfor forklares med påviste konsentrasjonsnivåer i porevannssedimentene. Som en ser i vedlegg Q er det for P1 til P8 i hovedsak påvist høyere konsentrasjonsnivåer for metaller i porevannssedimentene enn i gjennomsnittssedimentet. Det vil gi høyere konsentrasjonsnivåer i porevannet enn forventet fra sjablongverdiene. For disse delområdene kan det derfor være en overestimering av spredning for metaller. Vurderingen som gjøres i disse områdene vil slik sett være konservative. En ser antydning til motsatt trend for metaller i områder P9 til P16, og i disse områdene kan det derfor være en noe underestimering av risikoen ved å benytte målte porevannskonsentrasjoner.

Skipstrafikk er estimert basert på antagelser om antall anløp per år for småbåter, samt på bakgrunn av dagens rutetraffic. Det sistnevnte antas å være ganske nært faktiske forhold. Med tanke på båttrafikk grunnet småbåter, så er det store usikkerheter knyttet til antallet. Et estimat på 5 årlige anløp kan føre til at antallet både kan være for lavt eller og for høyt, og det vil være ulikheter mellom delområdene for hvor ofte båteiere benytter båtene sine.

4 Konklusjoner og anbefalinger

Gjennom denne undersøkelsen har en opparbeidet et datagrunnlag som muliggjør en sammenligning av risiko forbundet med 15 ulike delområder i indre Oslofjord. Forurensningen som finnes i sedimentene er forbundet med menneskelige aktiviteter, og det er derfor naturlig å knytte diskusjoner om eventuelle tiltak som skal gjøres for opprydding av sedimenter, til kildene som foreligger innenfor hvert av delområdene.

Det er likevel viktig å påpeke at undersøkelsene som er gjennomført i dette prosjektet, ikke er detaljerte nok for å kunne gå inn på prosjektering av tiltak i de ulike områdene. Anbefalingene som gis her er derfor knyttet til hvilke områder som i denne undersøkelsen viser høyest risiko, og NGI anbefaler at disse områdene prioriteres for mer detaljerte undersøkelser, som grunnlag for mulige tiltak rettet mot reduksjon av risiko forbundet med de forurensede sedimentene.

Parallelt med dette prosjektet, har NIVA gjennomført et prosjekt for Miljødirektoratet der en ser på forurensede sedimenter på nasjonalt nivå. Målet med prosjektet er å prioritere områder for tiltak i sedimenter, basert på tilgjengelig sedimentdata, risikovurderinger i områdene og naturverdier. I NIVAs prosjekt er sedimentarealer i hele Norge inkludert. For indre Oslofjord er sedimentkonsentrasjonene som er framskaffet av NGI i foreliggende undersøkelse, benyttet som vurderingsgrunnlag. Altså er vurderingene for indre Oslofjord basert på tilnærmet de samme grunnlagsdataene i begge prosjekter. Metoden for vurdering er derimot ikke den samme, og vurderingene av prioritering for tiltak vil derfor bli ulik.

Metodikken i NIVA sitt arbeid er i stor grad utarbeidet av Andersen et. al (2015). I NIVA sitt prosjekt er vurderingene i indre Oslofjord i hovedsak basert på påviste sedimentkonsentrasjoner, uten å vurdere porevannsdata. Kort forklart vil konsentrasjonsnivåene sammenstilles med etablerte grenseverdier for økologisk risiko, EQS-verdier ihht. vannforskriften som tilsvarer overgangen mellom tilstandsklasse 2 og 3 i henhold til M-608 (Miljødirektoratet, 2016). Overskridelse av grenseverdien summeres for alle analyserte forbindelser og resulterer i en aggregert belastningsfaktor innenfor hvert delområde. Belastningsfaktoren er det som vektet som viktigst i videre sammenligning, i tillegg inkluderes risikovurderinger for human helse og økologiske effekter som er gjennomført, dybdeforhold innenfor områdene, naturverdier, og områdets bruk til rekreasjonsformål i en total vektning mellom ulike områder. NIVAs vektning for områder i indre Oslofjord inkluderer lav vektning (faktor 1) av risikovurdering for human helse og øko-

logiske effekter siden resultatet fra risikovurderingene ikke var en del av vurderingsgrunnlaget (resultatene av risikovurderingene vises i foreliggende rapport). NIVAs og NGIs undersøkelser tar utgangspunkt i de samme sedimentkonsentrasjonene, men dataene vurderes ulikt. Derfor vil prioriteringene i de to prosjektene være forskjellig.

En risikovurdering av forurensede sedimenter er en prosess i tre trinn. En trinn 1 vurdering er kun en risikovurdering av økologiske effekter. Denne vurderingen er oppsummert i en egen rapport (NGI, 2021), sammen med en presentasjon av analysedata som er innhentet i prosjektet. Konklusjonen etter trinn 1 risikovurderingen er at ingen av delområdene har akseptabel risiko med tanke på risiko for økologiske effekter.

Risikovurderingene i denne rapporten er hovedsakelig trinn 2 risikovurderinger, men det er gjort stedlig tilpassing (trinn 3 vurdering) ved hjelp av porevannskonsentrasjoner som er målt i sedimenter fra delområdene.

Delområde 2 (sør for Malmøya) og delområde 8 (Sandvika) er de områdene som samlet sett utgjør størst risiko. Disse to områdene er ganske forskjellige når en vurderer de mot hverandre. F.eks. er en liten del av arealet av delområde 2 påvirket av båttrafikk, mens hele delområde 8 er grunnere enn 20 m, og dermed definert som areal som kan påvirkes av oppvirvling av propeller på båter. Delområde 2 er både større og dypere enn delområde 8, men delområde 8 har mye mer båttrafikk enn det en estimerer innenfor delområde 2. Dette viser at det er ulike faktorer som medvirker til beregning av risiko innenfor delområdene i undersøkelsen. Resultatene viser videre at delområder 5 (Lysaker) og 4 (mellom Sjursøya og Malmøya) også har høye overskridelser av tillatte risikoelementer. Det anbefales at disse områdene vurderes først for en trinn 3 risikovurdering. Videre undersøkelser bør inneholde:

- Mer prøvetaking av sedimenter. Dette er for å få et bedre bilde av fordeling av forurensningen innenfor delområdene, og vil også kunne danne grunnlag for utredning av tiltak. Her foreslår NGI at prøvetakingen gjennomføres i et fast rutenett, og at områder der spesielt høye konsentrasjonsnivåer påvises avgrenses ytterligere.
- Prøvetaking av sedimenter må sees i sammenheng med kjent tilførsel fra kilder på land. I en undersøkelse utført av Norconsult og UiO i 2017 ble det sammenstilt resultater fra daterte sedimentkjerner med resultater fra prøvetaking av overflatesedimenter. Resultatene viser at det er TBT, kobber, kvikksølv, sink og enkelte PAH-forbindelser som styrer miljøtilstanden i de undersøkte områdene i indre Oslofjord. Videre viser datering i kombinasjon med miljøgiftinnhold at det er registrert en forbedring med tid for alle parametere i alle prøvetatte områder (Bunnefjorden og Holmenbassenget) (Norconsult og UiO, 2018). Dette viser at tilførsel fra land generelt sett har avtatt over tid. Innenfor områder der en skal vurdere tiltaksgjennomføring, bør en derfor også opparbeide seg et datagrunnlag som gjør det mulig å vurdere om overvåket naturlig restitusjon er en tiltaksmulighet. Mulige undersøkelser kan være prøvetaking av sedimentkjerner som dateres eller utsetting av sedimentfeller. Begge metoder vil kunne kvantifisere mengden partikler som sedimenteres, samt bestemme

miljøtilstand for sedimenterende materiale. NGI har erfaringer med gjennomføring av denne metodikken under tiltaksgjennomføring i Drammensfjorden.

- Som del av vurdering av sedimenter og historisk utvikling av miljøkvaliteten, anbefales det å inkludere tilgjengelige foraminiferdata som miljøindikatorer innenfor delområdene. Foraminiferer vil kunne supplere foreliggende vurdering, med spesielt fokus på oksygenforhold i bunnvannet på grunn av organiske belastning, både nå-tilstand og historisk.
- Det bør tas prøver av sjøvann innenfor delområdene for å kunne gjøre en steds-spesifikk vurdering av økologisk risiko basert på sjøvannskonsentrasjoner. Prøvetaking bør gjøres i flere dybder, og i flere stasjoner. Prøvetaking bør fortrinnsvis utføres med passive prøvetakere som gir et integrert bilde av konsentrasjonsnivået over en lengre tidsperiode.
- Det bør gjøres en stedsspesifikk vurdering av eksponeringsveiene for human helse, slik at verktøyet kan tilpasses lokale forhold. Vurderingen bør gjøres også for ønsket tilstand og/eller arealbruk, dersom den skiller seg fra slik tilstanden er per i dag.
- Det bør gjøres prøvetaking av stedlig biota for å kunne vurdere tilgjengelighet av forurensningen og kvantifisere stedlig risiko for inntak av biota fra delområdene. Risiko for human helse er tett knyttet til inntak av biota.
- Det bør gjøres en analyse av spredning fra båttrafikk innenfor delområdene. Det foreslås at dette gjøres ved at det settes ut sedimentfeller i arealer både med og uten båttrafikk.
- Områder innenfor delområdene der det er svært mye båttrafikk kan med fordel skilles ut som mindre delområder, slik at en kan skille risikoen her fra øvrige områder. Da kan en også prosjektere tiltak basert på båttrafikk og tilstanden innenfor disse mindre delområdene.

5 Referanser

Andersen, et.al (2016)

Development and testing of a prototype toll for integrated assessment of chemical status in marine environments. Environ Monit Assess (2016) 188:115

Miljødirektoratet (2015)

Veileder M-409/2015 Risikovurdering av forurenset sediment.

Miljødirektoratet (2019)

Forslag til helhetlig plan for Oslofjorden. Ren og rik Oslofjord med et aktivt friluftsliv. M1550/2019

Miljødirektoratet (2020)

Veileder M-608/2016 Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – siste revisjon datert: 2020-10-30

NGI (2021)

Risikovurderinger av sedimenter i indre Oslofjord. Datarapport for prøvetaking av sedimenter og trinn 1 risikovurdering av forurenset sediment. Dokumentnr: 20200524-01-R, utkast

NIVA (2020)

Rapport for tokt fra mai til august 2020. Miljøovervåkning for indre Oslofjord. Presentasjon datert: 2020-09-04

Norconsult og UiO (2018)

Miljøgifter i indre Oslofjord: Kartlegging av historisk forløp gjennom analyser av utvalgte miljøgifter i daterte sedimentkjerner. Fagrådet rapportnr. 115, datert: 2018

Vedlegg A

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 1: INDRE BUNNEFJORD

Innhold

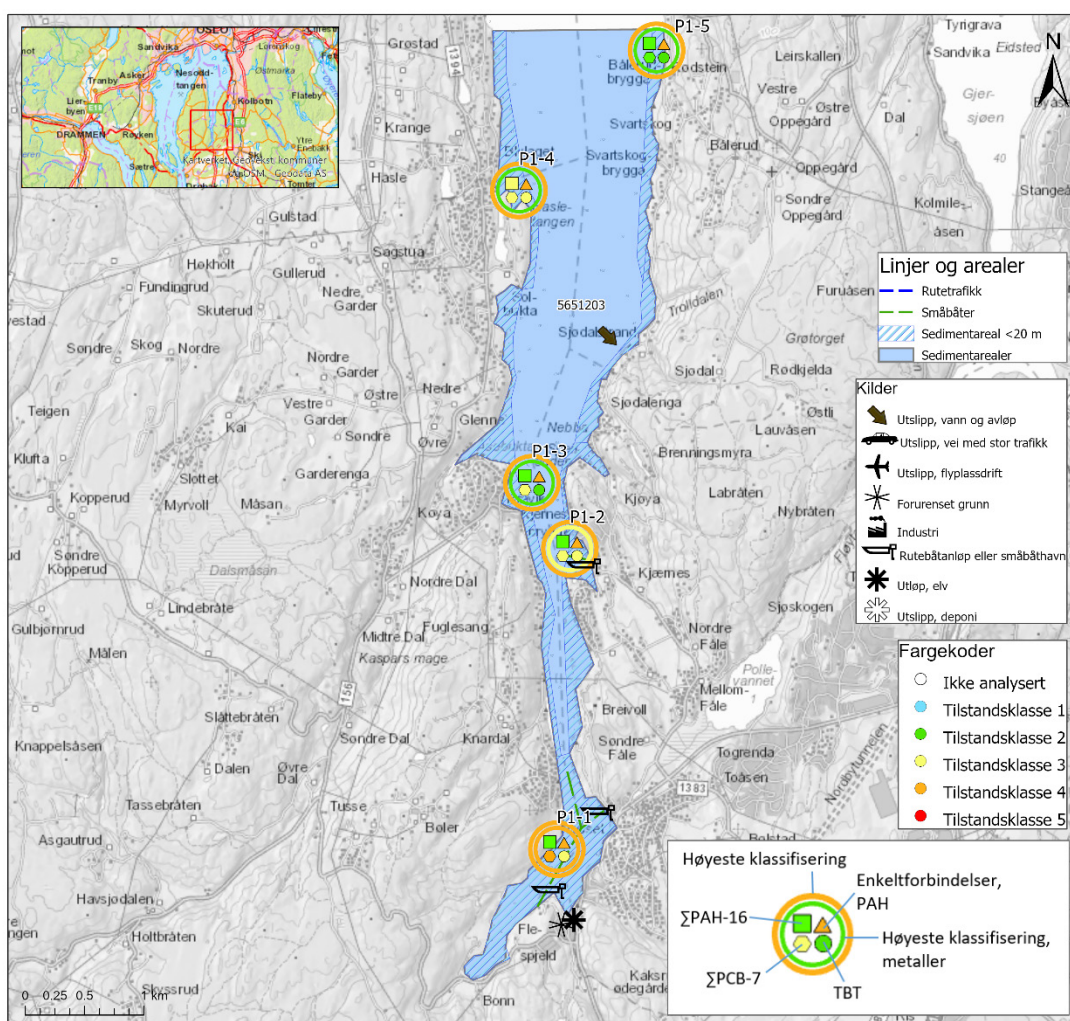
A1 Innledning	2
A1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
A1.2 Parametervalg	3
A2 Beregning av risiko for delområde 1 – indre Bunnefjord	3
A2.1 Risiko for spredning	3
A2.2 Risiko for human helse	5
A2.3 Risiko for økologiske effekter	7
A3 Oppsummering	9

A1 Innledning

A1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Området ligger innerst i indre Oslofjord. Bunnefjorden er en del av Oslofjorden som er preget av lite vannutskifting av bunnvann. Det er derfor til dels anoksiske forhold i sedimentene. Kilder til forurensning til sedimentene i området kan være fra småbåthavner i området, eller fra tilført forurensning fra oppstrømsområder til Årungenelva. Det er også utslipp fra Nordre Follo rensanlegg innenfor delområdet.

Sedimentundersøkelser viser at det mest forurenset helt innerst i Bunnefjorden (tilstandsklasse 4), men at forurensningsgraden avtar noe utover i delområde (enkelte PAH-forbindelser i tilstandsklasse 4, øvrige påviste parametere i tilstandsklasse 2-3).



Figur 1 Delområde 1 - Indre Bunnefjord. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

A1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for indre Bunnefjord. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 1 Indre Bunnefjord. Parametere som er uthevet er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 1
TOC	%	1,9
Areal delområde	m ²	5 651 203
Gjennomsnittlig dyp	m	70
Vannvolum	m ³	395 584 210
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	2 000
Trasélengde for skipsanløp	m	1 700
Kornstørrelse > 63 µm	%	29,38
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffikk	%	0
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	150
Areal <20 m vanddyp	m ²	1 882 800
Areal skipspåvirket areal	m ²	941 400
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0176

A2 Beregning av risiko for delområde 1 – indre Bunnefjord

A2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i indre Bunnefjord er vist i tabell 2. Her er resultatene vist for både total spredning ($F_{\text{tot, skip}}$ beregnet spredning for skipsoppvirvling, biodiffusjon og transport med organismer) og spredning uten skipsoppvirvling ($F_{\text{tot, sed-skip}}$). Resultatene viser at det er en rekke forbindelser som overskrider tillatt spredning fra sedimentene, med de parametere som er benyttet i regnearket. Det er også litt forskjeller mellom spredning med og uten skipsoppvirvling, men dette variere for de ulike stoffene grunnet ulik betydning av spredningsmekanismene. For metaller er det kun sink som overskrider for maks påvist konsentrasjon, og dette er knyttet til prøve P1-1, der sink er påvist i klasse 3.

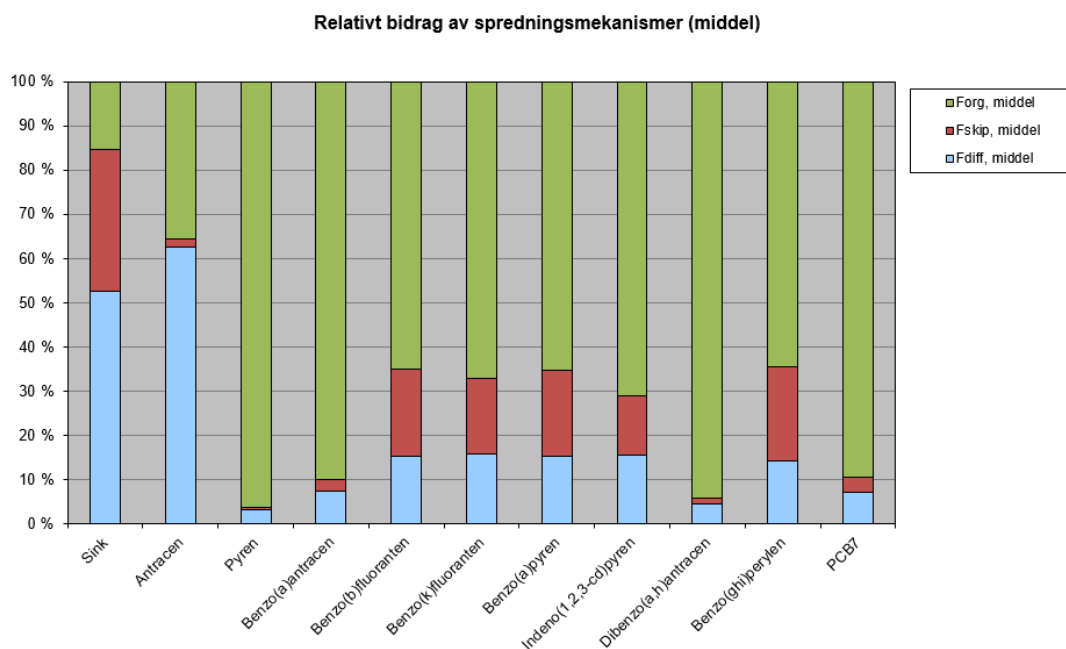
For PAH-forbindelser viser resultatene at det de fleste forbindelsene overskrider tillatt spredning. Størst overskridelse av tillatt spredning er det for antracen (13,8 ganger) og

pyren (11 ganger). De høyeste konsentrasjoner av PAH-forbindelser påvises i prøvepunkter P1-3 og P1-4. Også for PCB7 er konsentrasjonsnivåene i sedimentene slik at tillatt spredning overskrides (24,8 ganger tillatt nivå).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 1 indre Bunnefjord.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ ($mg/m^2/år$)		
Arsen	1,51E+02	1,54E+02	2,66E+02	0,6
Bly	2,24E+01	2,84E+01	1,12E+02	0,3
Kadmium	1,08E+00	1,20E+00	3,87E+00	0,3
Kobber	4,02E+01	4,82E+01	8,57E+01	0,6
Krom totalt (III + VI)	6,13E+01	6,80E+01	1,31E+03	0,1
Kvikksølv	1,53E-01	1,93E-01	4,16E-01	0,5
Nikkel	1,23E+01	1,68E+01	2,49E+01	0,7
Sink	5,77E+01	8,48E+01	6,24E+01	1,4
Naftalen	3,63E+01	3,67E+01	5,97E+01	0,6
Acenaftalen	1,15E-01	1,20E-01	1,51E-01	0,8
Acenaften	7,77E+00	7,87E+00	1,01E+02	0,1
Fluoren	5,82E+00	5,89E+00	5,07E+01	0,1
Fenantren	2,13E+01	2,14E+01	8,15E+01	0,3
Antracen	1,42E+00	1,44E+00	1,04E-01	13,8
Fluoranten	1,88E+00	1,93E+00	2,06E+00	0,9
Pyren	1,30E+01	1,30E+01	1,19E+00	11,0
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,79E-01	1,13E-01	2,5
Krysen	6,67E-02	8,30E-02	1,31E-01	0,6
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,28E-01	5,51E-02	2,3
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,25E-01	5,89E-02	2,1
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,28E-01	7,27E-02	1,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,18E-01	3,33E-02	3,5
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	3,99E-01	1,02E-01	3,9
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,30E-01	3,07E-02	4,2
Tributyltinn (TBT-ion)	1,54E-02	1,68E-02	3,56E-02	0,5
PCB7	1,31E-01	1,36E-01	5,49E-03	24,8
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	3,30E-02	3,37E-02	1,97E-03	17,2
Perfluoroktansyre (PFOA)	1,38E-02	1,43E-02	4,06E+00	0,0
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	2,07E+00	2,18E+00	4,18E+01	0,1

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene i indre Bunnefjord er vist i figur 2. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Som figuren viser, har stoffegenskapene til miljøgiftene mye å si for spredningsmekanismene. Sink er forventet å være i hovedsak partikulært bundet, og for partikulært bundet forurensning vil skipsoppvirvling være den primære spredningsmekanismen. Av figur 2 ser en imidlertid at biodiffusjon utgjør den viktigste spredningsmekanismen. Biodiffusjon er i stor grad styrt av porevannskonsentrasjonen, og siden den er høy for sink i dette området sammenlignet med beregnet (C_{pv} (målt) = 8,6 $\mu\text{g/L}$, mot C_{pv} (beregnet) = 1,5 $\mu\text{g/L}$), vil biodiffusjon utgjøre en stor del av spredningen. For de organiske miljøgiftene er transport med organismer den viktigste spredningsmekanismen, foruten for antracenen, der også biodiffusjon er en viktig mekanisme.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

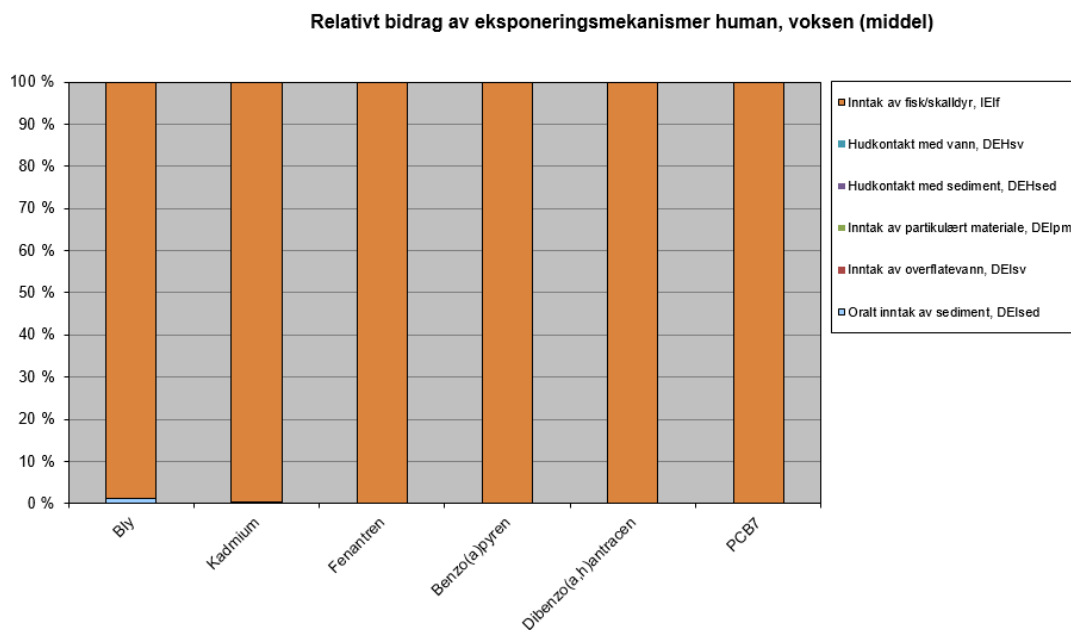
A2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i indre Bunnefjord er vist i tabell 3. Risikoen er her vist for eksponering av barn. Vurderingene viser bly (3,5 ganger), kadmium (2,1 ganger), fenantren (2,8 ganger), benso(a)pyren (1,1 gang), dibenso(a,h)antracenen (4,9 ganger), og PCB-7 (79,6 ganger) overskrider grenseverdien satt for human helse.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 1 indre Bunnefjord.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	9,76E-05	1,00E-04	1,0
Bly	1,26E-03	3,60E-04	3,5
Kadmium	1,06E-04	5,00E-05	2,1
Kobber	7,68E-04	1,63E-02	0,0
Krom totalt (III + VI)	3,02E-04	5,00E-04	0,6
Kvikksølv	2,47E-06	7,10E-05	0,0
Nikkel	6,40E-04	5,00E-03	0,1
Sink	8,62E-03	5,00E-02	0,2
Naftalen	2,58E-03	4,00E-03	0,6
Acenaftylen	9,01E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	1,08E-03	5,00E-02	0,0
Fluoren	1,22E-03	4,00E-03	0,3
Fenantren	1,14E-02	4,00E-03	2,8
Antracen	3,36E-04	4,00E-03	0,1
Fluoranten	7,54E-04	5,00E-03	0,2
Pyren	8,22E-03	5,00E-02	0,2
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,00E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,48E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	7,25E-06	2,50E-04	0,0
PCB7	7,96E-05	1,00E-06	79,6
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	1,37E-05	1,50E-05	0,9
Perfluoroktansyre (PFOA)	1,99E-08	1,50E-04	0,0
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	4,12E-04	4,80E-03	0,1

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det nesten utelukket grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den mest forekommende eksponeringsveien er gjennom frigjøring til vann, opptak i fisk og skalldyr og deretter konsum av forurenset fisk og skalldyr. For bly utgjør også eksponering gjennom oralt inntak av sediment en liten del av livstidseksponeringen. Dette viser at fasefordeling for de ulike stoffene er svært avgjørende for spredningsvurderingene.



Figur 3 Eksponeeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

A2.3 Risiko for økologiske effekter

NGI (2021) vurderer at det er risiko for økologisk effekter i delområde indre Bunnefjord på grunnlag av at gjennomsnittskonsentrasjonen for fem prøver i delområdet overskrider grenseverdien for trinn 1 risikovurdering for sink, en rekke PAH-forbindelser, PCB7 og TBT.

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller og PAH-forbindelser, samt TBT. Det er ganske stor forskjell mellom utslaget som beregnede og målte porevannskonsentrasjoner gir for risikoen. Målte porevannskonsentrasjoner gir overskrider for flere parametere enn porevannskonsentrasjoner som er beregnet gjennom fordeling fra sedimentkonsentrasjoner. Risikoen forbundet med målte porevannskonsentrasjoner kan være noe overestimerte siden vannet ikke er filtrert for analyse for metaller.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,58E-03	2,26E-02	6,0E-04	2,6	37,7
Bly	2,32E-04	2,95E-03	1,3E-03	0,2	2,3
Kadmium	5,34E-06	1,73E-04	2,0E-04	0,0	0,9
Kobber	1,90E-03	7,43E-03	2,6E-03	0,7	2,9
Krom totalt (III + VI)	2,85E-04	1,39E-02	3,4E-03	0,1	4,1
Kvikksølv	2,38E-06	2,31E-05	4,7E-05	0,1	0,5
Nikkel	3,81E-03	2,33E-03	8,6E-03	0,4	0,3
Sink	1,51E-03	8,64E-03	3,4E-03	0,4	2,5
Naftalen	4,21E-04	5,10E-03	2,0E-03	0,2	2,6
Acenaftilen	3,29E-04	1,80E-05	1,3E-03	0,3	0,0
Acenaften	4,37E-05	1,10E-03	3,8E-03	0,0	0,3
Fluoren	4,58E-05	7,50E-04	1,5E-03	0,0	0,5
Fenantren	6,92E-05	7,80E-04	5,1E-04	0,1	1,5
Antracen	5,54E-05	1,80E-04	1,0E-04	0,6	1,8
Fluoranten	7,20E-05	1,60E-04	6,3E-06	11,4	25,4
Pyren	1,29E-04	9,50E-05	2,3E-05	5,6	4,1
Benzo(a)antracen	2,97E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,2	0,4
Krysen	9,00E-06	5,00E-06	7,0E-05	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranten	6,78E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(k)fluoranten	6,00E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(a)pyren	6,67E-06	5,00E-06	1,7E-07	39,2	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,47E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,5	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	4,80E-07	5,00E-06	6,0E-07	0,8	8,3
Benzo(ghi)perylene	6,03E-06	5,00E-06	8,2E-07	7,4	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	2,55E-04	1,23E-06	2,0E-07	1274,7	6,2
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	7,16E-05	5,00E-06	1,3E-07	550,6	38,5
Perfluoroktansyre (PFOA)	7,19E-05	5,00E-06	9,1E-03	0,0	0,0
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	8,72E-05	5,00E-04	1,3E-03	0,1	0,4

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser ingen overskridelser av grenseverdiene for toksisitet.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra indre Bunnfjord.

Parameter	Målt økotoks		Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	24	24	TEQ < 50 ng/kg	0,5	0,5
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	5	5	20 %	0,3	0,3

A3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er funnet metaller, PAH-forbindelser og PCB7 opp til tilstandsklasse 4. TBT er påvist i tilstandsklasse 3.

Resultater fra risikovurderingen viser at de fleste PAH-forbindelsene (9 av 16) overskrider tillatt spredning. I tillegg overskrider PCB7 og PFOS akseptabel spredning fra sedimentet.

Risikovurderingen for human helse viser at bly, kadmium, fenantren, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grenseverdi for human helse. Foruten for PCB7 er overskridelsene lave (<5 ganger).

For økologiske effekter viser resultatene at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for en rekke metaller, PAH-forbindelser, TBT og PFOS når en sammenligner PNEC med målte konsentrasjoner i porevannet. Toksisitetstester viser imidlertid ikke overskridelse av grenseverdier for toksisitet.

Vedlegg B

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 2: SØR FOR MALMØYA

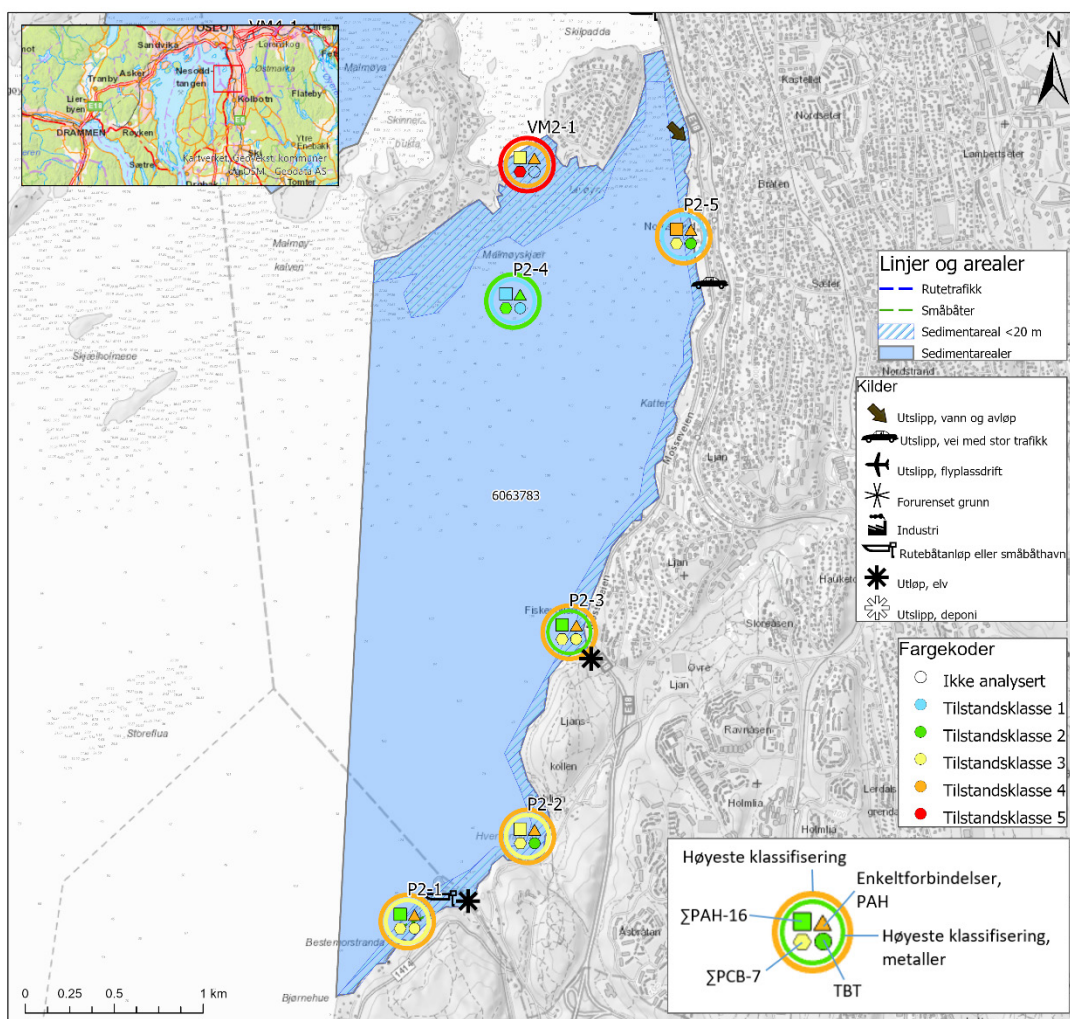
Innhold

B1 Innledning	2
B1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
B1.2 Parametervalg for delområdet	3
B2 Beregning av risiko for delområde 2 – sør for Malmøya	3
B2.1 Risiko for spredning	3
B2.2 Risiko for human helse	6
B2.3 Risiko for økologiske effekter	7
B3 Oppsummering	9

B1 Innledning

B1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Delområde 2 ligger i Bunnefjorden, sør for Malmøya (se Figur 1). Området er avgrenset i sør og øst mot kystlinjen, mens det i vest er sjø, i nord er området avgrenset av Ulvøya og Malmøya. Landområdene i sør og øst, og øyene i nord er bebygde områder. Det er to elver som har utløp sør i området, Ljanselva og Gjersjøelva. Det er utslipp av vann og avløp fra fastlandssiden på innsiden av Ulvøya. Det er også avrenning fra Mosseveien / E18 som langs hele området, veien er svært trafikkert. Det er en småbåthavn helt sør i delområdet. Sedimentundersøkelser viser at langs land er sedimentet forurensnet tilsvarende tilstandsklasse 4 (TK4), og dette skyldes i hovedsak polyaromatiske hydrokarbon forbindelser (PAHer). Mellom Ulvøya og Malmøya tilsvare forurensningen TK5, mens det lengre fra land er et prøvepunkt som viser TK2.



Figur 1 Delområde 2 Sør for Malmøya. Tilstandsklassifisering for prøver i området etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

B1.2 Parametervalg for delområdet

Parametere som er benyttet i risikovurderingen for Sør for Malmøya er vist i tabell 1. Forklaring og betydning av den enkelte parameter er gitt i kap. 2.4. i rapporten.

Tabell 1 Verdier brukt for parametere i risikovurderingsverktøyet for delområde 2 sør for Malmøya. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 2
TOC	%	2,76
Areal delområde	m ²	6 063 783
Gjennomsnittlig dyp	m	70
Vannvolum	m ³	424 464 810
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	1750
Trasélengde for skipsanløp	m	177
Kornstørrelse > 63 µm	%	55,44
Type sediment	-	Sand
Andel rutetraffic	%	0 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	15
Areal <20 m vanddyb	m ²	922 439
Areal skipspåvirket areal	m ²	461 220
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0116

Trinn 1 risikovurdering er beskrevet i datarapporten (NGI, 2020). Foreliggende vedlegg beskriver beregnet spredning, risiko for human helse og risiko for økologiske effekter (trinn 2, men med steds spesifikke verdier for fordelingskoeffisienten mellom vann og sediment (K_d) fordi konsentrasjonen av miljøgifter er målt i porevann).

B2 Beregning av risiko for delområde 2 – sør for Malmøya

B2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i området Sør for Malmøya er vist i tabell 2. Tabellen viser beregnet spredning fra biodiffusjon (F_{diff}), som følge av transport via organismer (F_{org}), og som følge av oppvirvling fra skip (F_{skip}). Den totale spredningen er summert (F_{tot}) og sammenlignet med spredning som ville vært dersom konsentrasjonen i sedimentet tilfredsstilte trinn 1 i risikovurderingen, det vil si at konsentrasjonene var lavere enn grensen mellom TK2 og 3. Spredning som ville vært med denne konsentrasjonen betegnes som "tillatt spredning". Resultatene viser at det er flere forbindelser som overskrider spredningen av miljøgifter om konsentrasjonen var lavere enn øvre

grense for trinn 1. I hovedsak er det de polyaromatiske hydrokarbon forbindelser (PAHer) og de polyklorete organiske forbindelsene (sum PCB7) som overskrider tillatt spredning. Av metallene er det kun sink som overskrider maks tillatt spredning (tabell 2).

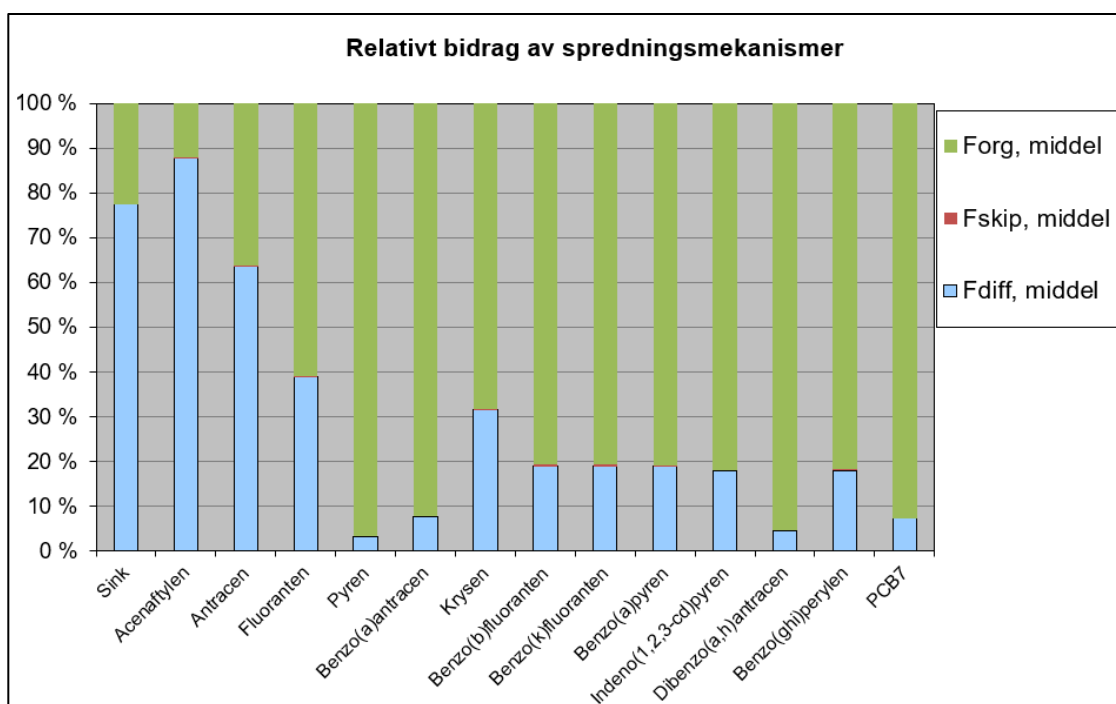
For PAH-forbindelser viser resultatene at det de større PAH-forbindelsene som overskrider tillatt spredning. For PAH-forbindelsene er det størst overskridelse for pyren (24,6 ganger tillatt spredning), antracen (21,8) og benzo(a)antracen/benzo(ghi)perylene (10,4 og 10,3). PCB7 overskrider tillatt spredning 120,4 ganger.

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 2 sør for Malmøya.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ ($mg/m^2/år$)		
Arsen	2,50E+02	2,50E+02	5,25E+02	0,5
Bly	9,57E+02	9,57E+02	4,37E+03	0,2
Kadmium	5,34E+00	5,34E+00	3,97E+01	0,1
Kobber	5,52E+02	5,52E+02	1,20E+03	0,5
Krom totalt (III + VI)	9,53E+01	9,54E+01	2,14E+03	0,0
Kvikksølv	7,82E+00	7,83E+00	1,20E+01	0,7
Nikkel	5,27E+01	5,28E+01	8,79E+01	0,6
Sink	1,17E+03	1,17E+03	1,02E+03	1,1
Naftalen	3,56E-02	3,56E-02	3,68E-02	1,0
Acenaftilen	3,19E-02	3,20E-02	2,37E-02	1,3
Acenaften	3,53E-02	3,53E-02	2,59E-01	0,1
Fluoren	3,88E-02	3,88E-02	1,94E-01	0,2
Fenantren	1,37E-01	1,37E-01	1,76E-01	0,8
Antracen	3,93E-02	3,95E-02	1,81E-03	21,8
Fluoranten	8,36E-01	8,37E-01	3,76E-01	2,2
Pyren	1,03E+01	1,03E+01	4,17E-01	24,6
Benzo(a)antracen	1,69E+00	1,69E+00	1,62E-01	10,4
Krysen	3,47E-01	3,47E-01	1,77E-01	2,0
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,04E-01	2,55E-02	4,1
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,04E-01	2,39E-02	4,3
Benzo(a)pyren	4,54E-01	4,54E-01	1,01E-01	4,5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3,26E-01	3,27E-01	3,33E-02	9,8
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	3,94E-01	5,08E-02	7,8
Benzo(ghi)perylene	2,85E-01	2,86E-01	2,79E-02	10,3
Tributyltinn (TBT-ion)	4,78E-02	4,78E-02	2,00E-01	0,2
PCB7	5,82E-01	5,83E-01	4,84E-03	120,4

Det er beregnet hvilke mekanismer som bidrar til spredning av miljøgiftene, vist i figur 2. Figuren viser kun data for de forbindelsene som overskrider tillatt spredning i tabell 2. Figur 2 viser at spredning som følge av transport via organismer (F_{org}) er dominerende for de større PAHene, mens spredning via biodiffusjon (F_{diff}) er dominerende for sink og noen av de mindre PAHene. Spredning via diffusjon beregnes ut fra forventet diffusionshastighet grunnet bioturbasjon og konsentrasjonen av forbindelsene i porevannet. I foreliggende vurdering er porevannskonsentrasjonen bestemt og ikke estimert fra stoffenes antatte fordeling med sediment og vann (K_d -verdien). Hvilken spredningsvei som dominerer er avhengig av egenskapene til forbindelsen, og aktiviteten i området.

I delområdet 2 er det i hovedsak småbåttrafikk og i inngangsdataene til risikovurderingen er det forutsatt at det virvles opp en begrenset mengde sediment per skipsanløp (15 kg; tabell 1). En økning i andel småbåttrafikk eller i størrelse på båter som trafikkerer området kan derfor føre til at spredningen i delområdet 2 blir høyere. Dette vil gjelde spesielt for de større PAHene og andre forbindelser som er sterk bundet til sedimentpartiklene.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismerne ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

B2.2 Risiko for human helse

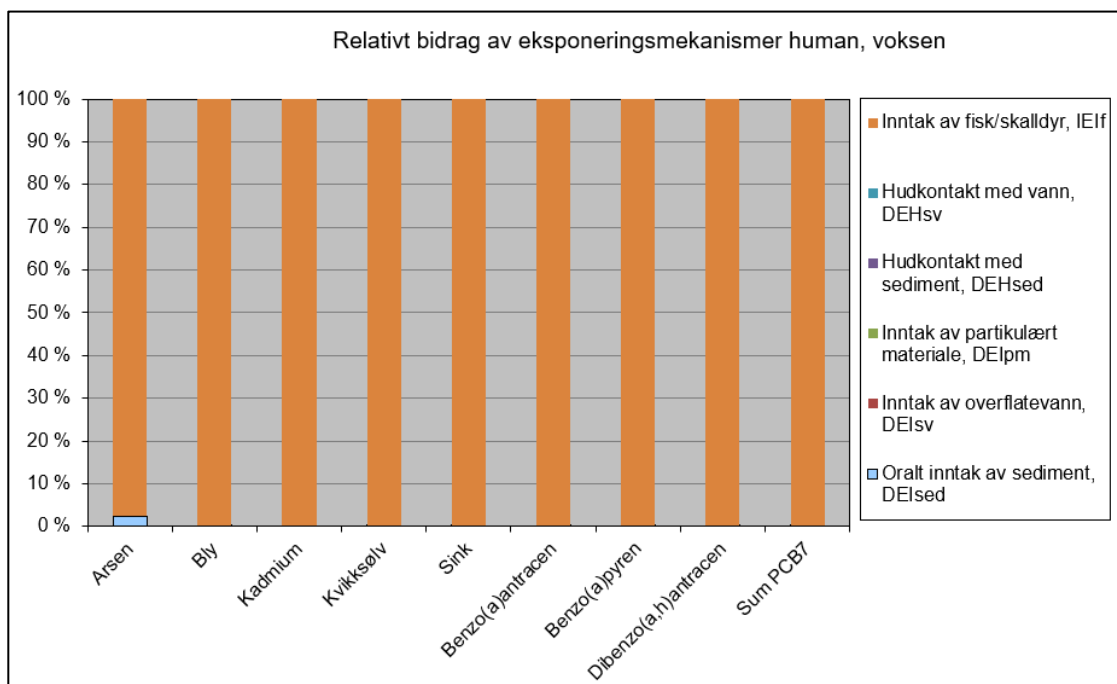
Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i delområde 2 Sør for Malmøya er vist i tabell 3. Risikoen er her vist for eksponering av barn. Beregningene gjøres som vist i kap. 4.2 i rapporten.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 2 Sør for Malmøya.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		
Arsen	1,54E-04	1,00E-04	1,5
Bly	5,24E-02	3,60E-04	145,7
Kadmium	5,24E-04	5,00E-05	10,5
Kobber	1,00E-02	1,63E-02	0,6
Krom totalt (III + VI)	4,49E-04	5,00E-04	0,9
Kvikksølv	1,16E-04	7,10E-05	1,6
Nikkel	2,67E-03	5,00E-03	0,5
Sink	1,72E-01	5,00E-02	3,4
Naftalen	2,55E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftilen	2,53E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	4,92E-06	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,16E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	7,33E-05	4,00E-03	0,0
Antracen	9,39E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	3,35E-04	5,00E-03	0,1
Pyren	6,49E-03	5,00E-02	0,1
Benzo(a)antracen	1,02E-03	5,00E-04	2,0
Krysen	1,56E-04	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	2,41E-04	5,00E-05	4,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,75E-04	5,00E-04	0,4
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	1,53E-04	3,00E-03	0,1
Tributyltinn (TBT-ion)	2,24E-05	2,50E-04	0,1
PCB7	3,53E-04	1,00E-06	353,1

For human helse er det metallene arsen, bly, kadmium, kvikksølv og sink som overskrider trygg grense for eksponering. Mens for de PAH-forbindelsene er det benzo(a)antracen, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 som overskrider trygg grense for eksponering. Den høyeste overskridelsen er for PCB7 som er 353 ganger høyere enn trygg eksponering, nest høyest er for bly som er på 145,7 ganger trygg eksponering.

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det nesten utelukket grunnet inntak av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den vanligste eksponeringsveien er via opptak av miljøgifter til fisk og skalldyr og deretter humant konsum av forurenset fisk og skalldyr. For arsen utgjør også eksponering gjennom oralt inntak av sediment en liten del av livstidseksponeringen.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

B2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for alle metallene, PAH-forbindelser, samt TBT. De målte porevannskonsentrasjonene gir vesentlig høyere overskridelse av PNEC sammenlignet med de beregnede porevannskonsentrasjonene. Konsentrasjonene i porevannet i sedimentet ble analysert på ufiltrerte prøver og risikoen forbundet med målte porevannskonsentrasjoner er derfor konservativ.

De målte porevannskonsentrasjonene viser overskridelse av PNEC for alle metallene, samt for de store PAH-forbindelsene. I tillegg er det overskridelse av PNEC for TBT. For TBT er overskridelsen større for beregnet porevannskonsentrasjon sammenlignet med målt porevannskonsentrasjon. For de beregnede porevannskonsentrasjonen er det overskridelse kun for arsen, 6 PAH-forbindelser, samt TBT.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med konsentrasjoner som er antatt å gi ingen økologiske effekter (Predicted No Effect Concentrations; PNEC).

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grense-verdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,30E-03	3,75E-02	6,0E-04	2,2	62,5
Bly	1,98E-04	1,26E-01	1,3E-03	0,2	96,9
Kadmium	2,28E-06	8,57E-04	2,0E-04	0,0	4,3
Kobber	1,55E-03	1,02E-01	2,6E-03	0,6	39,2
Krom totalt (III + VI)	2,43E-04	2,16E-02	3,4E-03	0,1	6,4
Kvikksølv	3,33E-06	1,18E-03	4,7E-05	0,1	25,1
Nikkel	3,35E-03	1,00E-02	8,6E-03	0,4	1,2
Sink	1,19E-03	1,75E-01	3,4E-03	0,3	51,5
Naftalen	6,64E-04	5,00E-06	2,0E-03	0,3	0,0
Acenaftalen	5,61E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,4	0,0
Acenaften	7,73E-05	5,00E-06	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	7,96E-05	5,00E-06	1,5E-03	0,1	0,0
Fenantren	2,06E-04	5,00E-06	5,1E-04	0,4	0,0
Antracen	8,74E-05	5,00E-06	1,0E-04	0,9	0,1
Fluoranten	1,69E-04	7,10E-05	6,3E-06	26,8	11,3
Pyren	2,88E-04	7,50E-05	2,3E-05	12,5	3,3
Benzo(a)antracen	1,18E-05	3,10E-05	1,2E-05	1,0	2,6
Krysen	2,27E-05	2,60E-05	7,0E-05	0,3	0,4
Benzo(b)fluoranten	8,78E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(k)fluoranten	9,47E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,6	0,3
Benzo(a)pyren	1,26E-05	2,20E-05	1,7E-07	74,3	129,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3,30E-06	1,60E-05	2,7E-06	1,2	5,9
Dibenzo(a,h)antracen	9,24E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,5	8,3
Benzo(ghi)perylene	1,05E-05	1,40E-05	8,2E-07	12,9	17,1
Tributyltinn (TBT-ion)	1,17E-04	3,81E-06	2,0E-07	586,7	19,1

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. For porevannet er det en overskridelse av målt økotoksikologisk effekt på *Skeletonema costatum*. Denne testen viser at porevannet gir en økt dødelighet for algen. Det er også en overskridelse av akutt toksisitet ovenfor *Tisbe battagliai*

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra området Sør for Malmøya.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, <i>Skeletonema</i> (TU)	9	1,0	9,0
Porevann, <i>Tisbe battagliai</i> (TU)	2	1,0	2,0
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	8,5	TEQ < 50 ng/kg	0,2
Helsedimenttest, <i>Corophium volutator</i> (% dødelighet)	8	20 %	0,4

B3 Oppsummering

Figurene og tabellene over viser at det er risiko for spredning, effekter på human helse og økologiske effekter fra forurensningen i sedimentet i området Sør for Malmøya. Det er de større PAH-ene som spres over tillatt spredning, eller det som spredningen ville vært om konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentet var tilsvarende grensen mellom TK2 og 3 (tabell 2). Det er i hovedsak spredning via biodiffusjon som utgjør spredningsveien (figur 2).

For human helse utpeker bly og PCB7 seg som de som gir størst risiko og overskridelse av anbefalt inntak av miljøgiften fra forurenset sediment (tabell 3). I all hovedsak kommer denne eksponeringen fra inntak av sjømat med miljøgifter (figur 2).

Det er til foreliggende risikovurdering vist frem både beregnede og målte konsentrasjoner av miljøgifter i porevann. Analysene av porevannskonsentrasjoner ble gjort på ufiltrerte prøver og er derfor konservative. Tabell 4 viser også dette. Overskridelsene av målt porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC er størst for metallene, de største PAH-ene og TBT, det vil si de forbindelsene som er sterkest bundet til partikler.

Risikovurderingen viser at for delområde 2 Sør for Malmøya så er det risiko for spredning over tillatt spredning, risiko for human helse og økologisk risiko. De forbindelsene som utgjør størst risiko er de større PAH-ene (spredning og økologisk effekter), og bly og PCB7 (human helse).

Vedlegg C

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 3: ØST FOR NESODDTANGEN

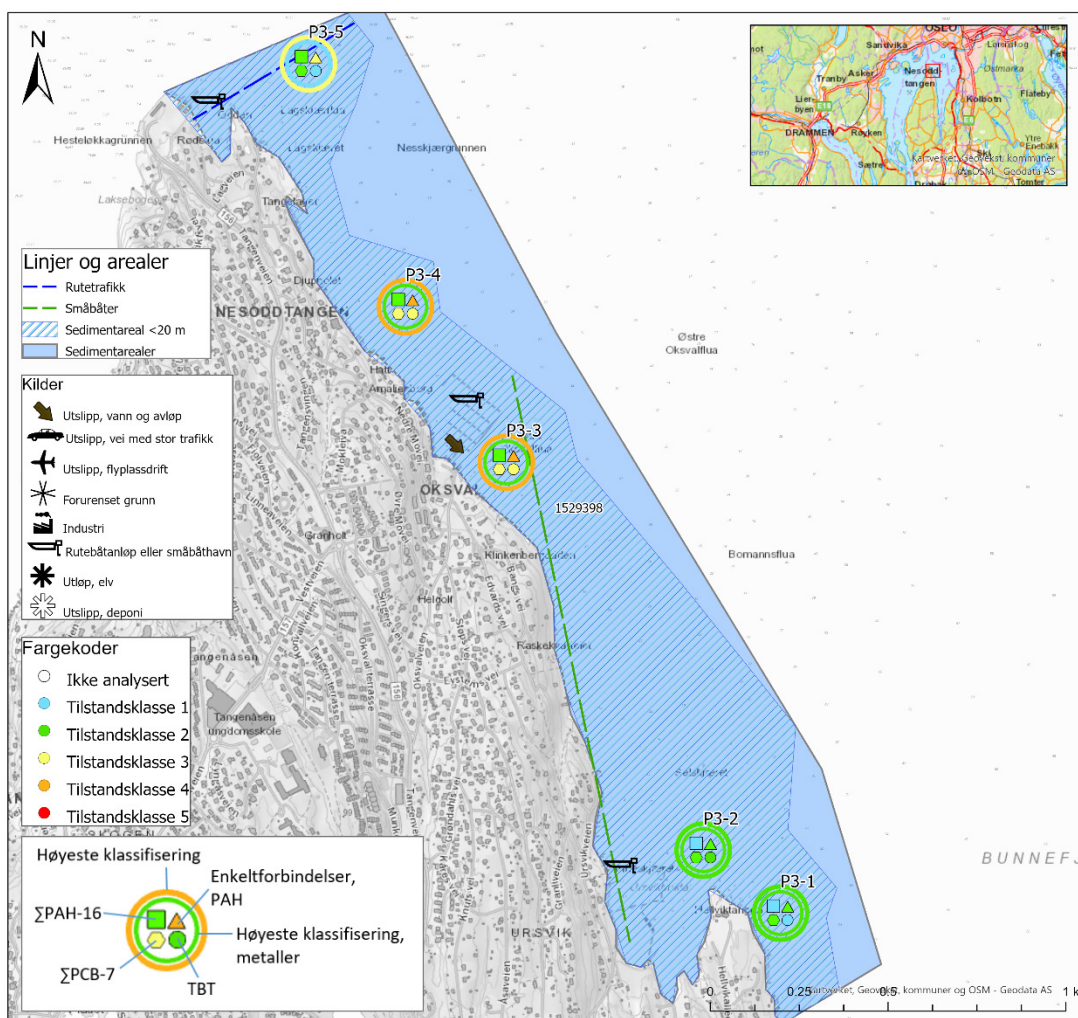
Innhold

C1 Innledning	2
C1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
C1.2 Parametervalg	3
C2 Beregning av risiko for delområde 3 øst for Nesoddtangen	3
C2.1 Risiko for spredning	3
C2.2 Risiko for human helse	5
C2.3 Risiko for økologiske effekter	7
C3 Oppsummering	9

C1 Innledning

C1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Området ligger øst for Nesoddtangen og strekker seg fra Ursvik i sør forbi Odden helt i nord. Området ligger utenfor bebygde deler av Nesodden og det er kai for Nesoddbåtene (passasjerferjer) i nord og småbåthavner i midtre og sørlig del av området. Det er utslipp fra Buhrestua rensesanlegg innenfor delområdet. Sedimentundersøkelser viser at det er funnet metaller i tilstandsklasse 2 og enkelte PAH-forbindelser i tilstandsklasse 4. PCB7 og TBT er i tilstandsklasse 3. Høyeste konsentrasjoner er funnet i stasjoner nærmest småbåthavnene i midtre del.



Figur 1 Delområde 3 Øst for Nesoddtangen. Tilstandsklassifisering for prøvene tatt i 2020 øst for Nesoddtangen etter grenser gitt i Veileder M-608|2016.

C1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for øst for Nesoddtangen. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 3 øst for Nesoddtangen. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 3
TOC	%	1,134
Areal delområde	m ²	1 529 398
Gjennomsnittlig dyp	m	15
Vannvolum	m ³	22 940 970
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	8 900
Trasélengde for skipsanløp	m	2 157
Kornstørrelse > 63 µm	%	49,84
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffic	%	83 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	1 678
Areal <20 m vanddyb	m ²	1 101 868
Areal skipspåvirket areal	m ²	550 934
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,027

C2 Beregning av risiko for delområde 3 øst for Nesoddtangen

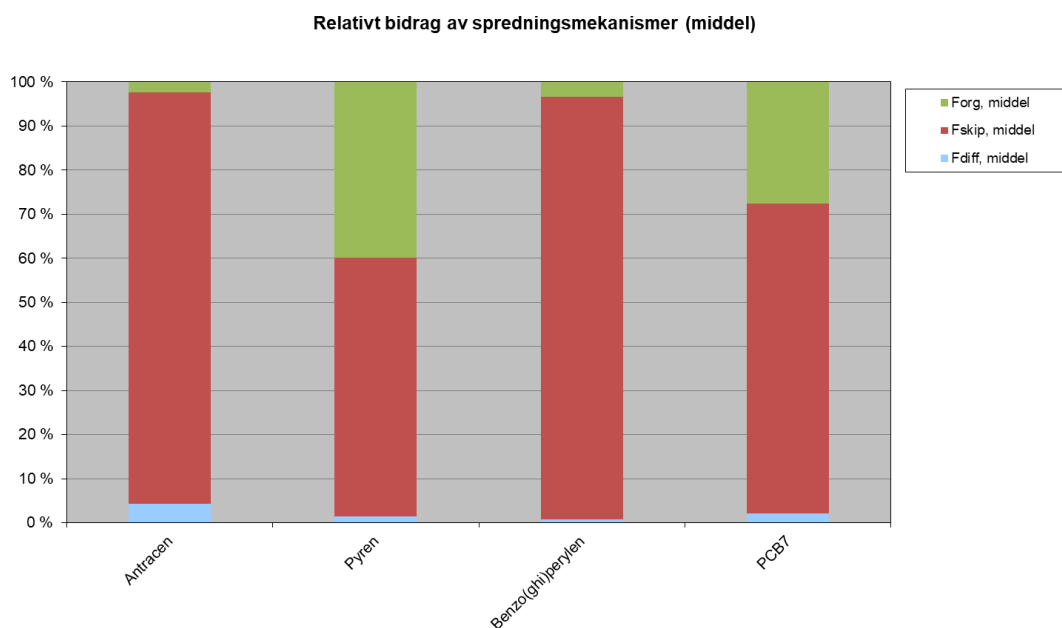
C2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i området øst for Nesoddtangen er vist i tabell 2. Resultatene viser at enkelte PAH-forbindelser overskrider tillatt spredning. Dette er; antracen (4,2 ganger høyere), pyren (1,6 ganger høyere) og benso(ghi)perylene (1,1 ganger høyere). I tillegg overskrider PCB akseptabel spredning (2,6 ganger høyere) for middelkonsentrasjon i sedimentet.

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 3 øst for Nesoddtangen.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ middel [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ middel ($mg/m^2/år$)		Snitt
Arsen	1,15E+02	4,75E+02	1,17E+03	0,4
Bly	5,49E+00	6,91E+02	4,02E+03	0,2
Kadmium	4,98E-01	4,07E+00	9,45E+01	0,0
Kobber	8,71E+00	6,53E+02	2,30E+03	0,3
Krom totalt (III + VI)	1,01E+01	7,01E+02	1,82E+04	0,0
Kvikksølv	2,47E-02	3,22E+00	1,39E+01	0,2
Nikkel	1,21E+01	5,97E+02	1,17E+03	0,5
Sink	2,64E+01	2,26E+03	3,76E+03	0,6
Naftalen	3,56E-02	3,84E-01	9,03E-01	0,4
Acenaftalen	7,65E-02	5,04E-01	1,39E+00	0,4
Acenaften	9,18E-01	2,32E+00	4,15E+01	0,1
Fluoren	3,88E-02	2,61E-01	5,71E+00	0,0
Fenantren	1,37E-01	1,03E+00	2,29E+01	0,0
Antracen	3,93E-02	5,83E-01	1,40E-01	4,2
Fluoranten	3,65E-01	3,01E+00	1,27E+01	0,2
Pyren	1,78E+00	4,32E+00	2,70E+00	1,6
Benzo(a)antracen	2,72E-01	7,84E-01	1,99E+00	0,4
Krysen	6,67E-02	1,22E+00	7,89E+00	0,2
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,59E+00	3,90E+00	0,4
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,74E+00	3,74E+00	0,5
Benzo(a)pyren	1,03E-01	2,00E+00	5,04E+00	0,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,49E+00	1,76E+00	0,8
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	8,48E-01	9,60E-01	0,9
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	2,48E+00	2,29E+00	1,1
Tributyltinn (TBT-ion)	1,71E-02	1,08E-01	1,16E+00	0,1
PCB7	1,05E-01	3,51E-01	1,33E-01	2,6

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene øst for Nesoddtangen er vist i figur 2. I figuren er kun de parametre som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Som figuren viser er spredning ved skipsoppvirvling det mest dominerende bidraget, men spredning med organismer bidrar også betydelig for pyren og PCB7.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismerne ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

C2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i området øst for Nesoddtangen er vist i tabell 3. Beregningene gjøres som beskrevet i kap 2.3.

Risikovurderingen for human helse viser at dibenzo(a,h)antracenen overskrider 4,9 ganger for middelkonsentrasjonen, og PCB7 overskrider 63,5 ganger. Benso(a)pyren overskrider så vidt grenseverdien med 1,1 ganger grenseverdi.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 3 øst for Nesoddtangen.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livs-tidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Middel
Arsen	7,38E-05	1,00E-04	0,7
Bly	3,23E-04	3,60E-04	0,9
Kadmium	4,90E-05	5,00E-05	1,0
Kobber	1,78E-04	1,63E-02	0,0
Krom totalt (III + VI)	6,63E-05	5,00E-04	0,1
Kvikksølv	4,67E-07	7,10E-05	0,0
Nikkel	6,25E-04	5,00E-03	0,1
Sink	3,95E-03	5,00E-02	0,1
Naftalen	2,54E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftalen	6,00E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	1,28E-04	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,14E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	7,31E-05	4,00E-03	0,0
Antracen	9,34E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	1,46E-04	5,00E-03	0,0
Pyren	1,12E-03	5,00E-02	0,0
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	2,99E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,47E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,47E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	8,01E-06	2,50E-04	0,0
PCB7	6,35E-05	1,00E-06	63,5

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de to parametere som overskrider grenseverdier gjør det grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at for de organiske miljøgiftene så er den mest forekommende eksponeringsveien frigjøring til vann, opptak i fisk og skalldyr og deretter konsum av forurenset fisk og skalldyr.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for metaller og de organiske miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

C2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene i tabell 4 at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller og PAH-forbindelser, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet.

Det er for noen av stoffene stor variasjon mellom beregnet porevannskonsentrasjon og målt porevannskonsentrasjon. Metallene arsen og sink gir en høyere målt porevannskonsentrasjon enn beregnet konsentrasjon, mens organiske forbindelser har lavere målt enn beregnet. TBT har en betydelig lavere målt konsentrasjon enn beregnet fra sediment.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grense- verdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevanns- konsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	3,93E-04	1,72E-02	6,0E-04	1,8	28,7
Bly	4,64E-04	7,23E-04	1,3E-03	0,1	0,6
Kadmium	2,94E-06	8,00E-05	2,0E-04	0,0	0,4
Kobber	4,41E-04	1,61E-03	2,6E-03	0,4	0,6
Krom totalt (III + VI)	4,74E-04	2,28E-03	3,4E-03	0,1	0,7
Kvikksølv	2,16E-06	3,72E-06	4,7E-05	0,0	0,1
Nikkel	4,05E-04	2,29E-03	8,6E-03	0,4	0,3
Sink	1,52E-03	3,95E-03	3,4E-03	0,2	1,2
Naftalen	2,75E-07	5,00E-06	2,0E-03	0,4	0,0
Acenaftylen	3,75E-07	1,20E-05	1,3E-03	0,3	0,0
Acenaften	1,90E-06	1,30E-04	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	1,83E-07	5,00E-06	1,5E-03	0,0	0,0
Fenantren	6,27E-07	5,00E-06	5,1E-04	0,2	0,0
Antracen	3,96E-07	5,00E-06	1,0E-04	0,6	0,1
Fluoranten	1,96E-06	3,10E-05	6,3E-06	14,4	4,9
Pyren	1,77E-06	1,30E-05	2,3E-05	6,7	0,6
Benzo(a)antracen	3,69E-07	5,00E-06	1,2E-05	0,3	0,4
Krysen	7,97E-07	5,00E-06	7,0E-05	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranten	1,02E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(k)fluoranten	1,11E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(a)pyren	1,29E-06	5,00E-06	1,7E-07	49,3	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	9,48E-07	5,00E-06	2,7E-06	0,8	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	3,27E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,3	8,3
Benzo(ghi)perylene	1,61E-06	5,00E-06	8,2E-07	10,5	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	6,70E-08	1,36E-06	2,0E-07	1330,3	6,8

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser ingen overskridelse av grenseverdi for økotoksitet.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra området øst for Nesodden.

Parameter	Målt økotox	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
	Middel		
Porevann, Skeletonema (TU)	0,5	1,0	0,5
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	14	TEQ < 50 ng/kg	0,3
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	5	20 %	0,3

C3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er funnet metaller i tilstandsklasse 2 og enkelte PAH-forbindelser i tilstandsklasse 4. PCB7 og TBT er i tilstandsklasse 3.

Resultater fra risikovurderingen viser at enkelte PAH-forbindelser overskrider tillatt spredning (antracen, pyren og benso(ghi)perylene). I tillegg overskrider PCB7 akseptabel spredning fra sedimentet.

Risikovurderingen for human helse viser at kun dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grenseverdi for human helse. Benso(a)pyren overskrider så vidt grenseverdien.

For økologiske effekter viser resultatene at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller (arsen og sink) og PAH-forbindelser, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet. Toksisitetstester viser imidlertid ikke overskridelse av grenseverdier for toksisitet.

Vedlegg D

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 4: MELLOM SJURSØYA OG MALMØYA

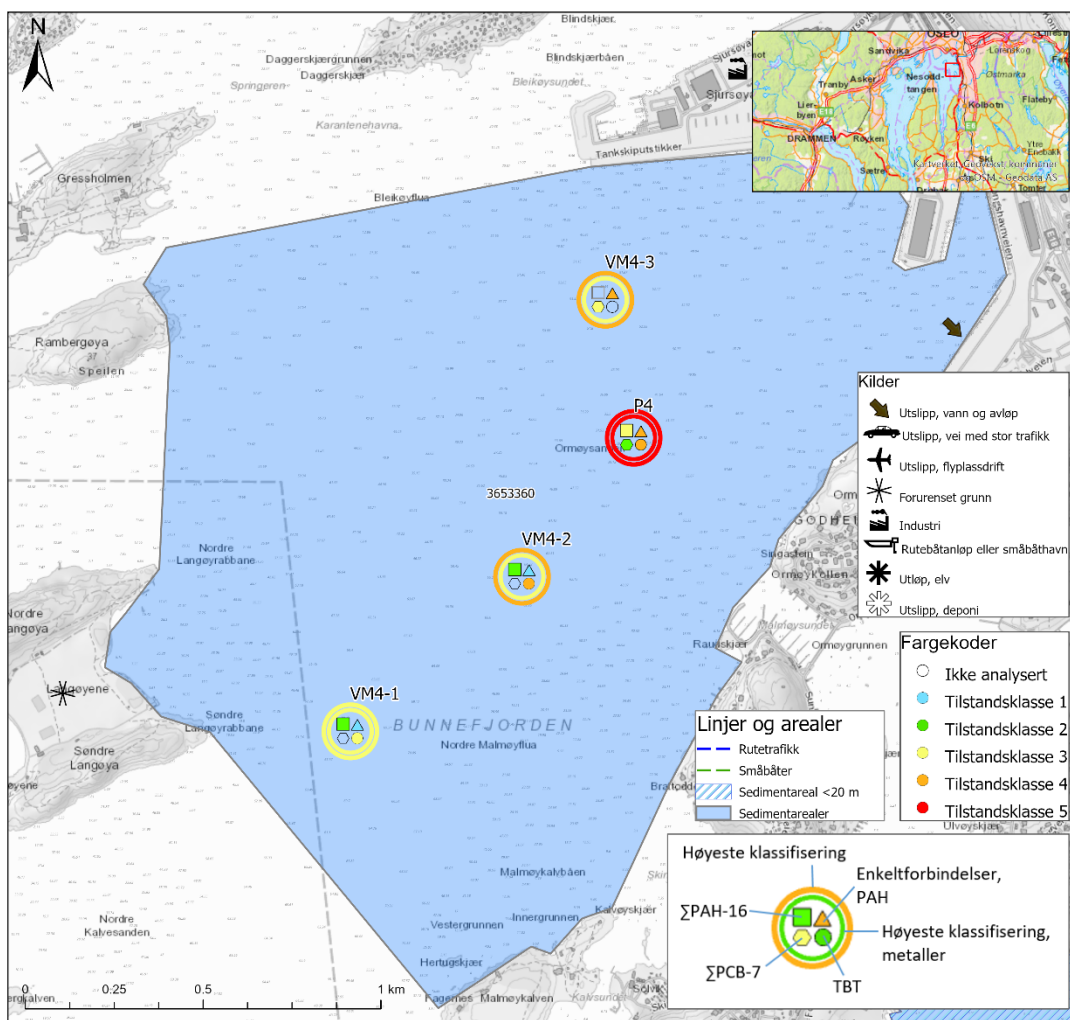
Innhold

D1 Innledning	2
D1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
D1.2 Parametervalg	3
D2 Beregning av risiko for delområde 4 – mellom Sjursøya og Malmøya	3
D2.1 Risiko for spredning	3
D2.2 Risiko for human helse	5
D2.3 Risiko for økologiske effekter	7
D3 Oppsummering	9

D1 Innledning

D1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

I området mellom Sjursøya og Malmøya ligger godshavna til Oslo Havn, og det er mye skipstrafikk til og fra dette området. I tillegg ligger utløpet fra Bekkelaget rensanlegg innenfor området. Sedimentundersøkelsene i området er delvis fra undersøkelsen i 2020 (P4), men tre prøver er uttrekk fra Vannmiljø. Resultatene viser at det til dels er svært forurenset av metaller (tilstandsklasse 5), PAH-forbindelser (tilstandsklasse 4) og TBT (tilstandsklasse 4). Det mest forurensete punktet ligger midt i havnebassenget (P4).



Figur 1 Delområde 4 – Mellom Sjursøya og Malmøya. Tilstandsklassifisering for prøver i området er etter grenser gitt i Veileder M-608/2016. Prøve P4 er fra undersøkelsen i 2020, forøvrigte prøver er uttrekk fra Vannmiljø.

D1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for området mellom Sjursøya og Malmøya. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4. For dette delområdet er vanddypet over 20 m, og spredning grunnet skipsoppvirvling er derfor ikke aktuelt. Det defineres ved at skipspåvirket areal legges inn som 0 i verktøyet.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 4 Mellom Sjursøya og Malmøya. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 4
TOC	%	2,7
Areal delområde	m ²	3653360
Gjennomsnittlig dyp	m	40
Vannvolum	m ³	146134400
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år		-
Trasélengde for skipsanløp	m	-
Kornstørrelse > 63 µm	%	-
Type sediment		Silt og leire
Andel rutetraffikk	%	-
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	-
Areal <20 m vanddyp	m ²	0
Areal skipspåvirket areal	m ²	0
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,03

D2 Beregning av risiko for delområde 4 – mellom Sjursøya og Malmøya

D2.1 Risiko for spredning

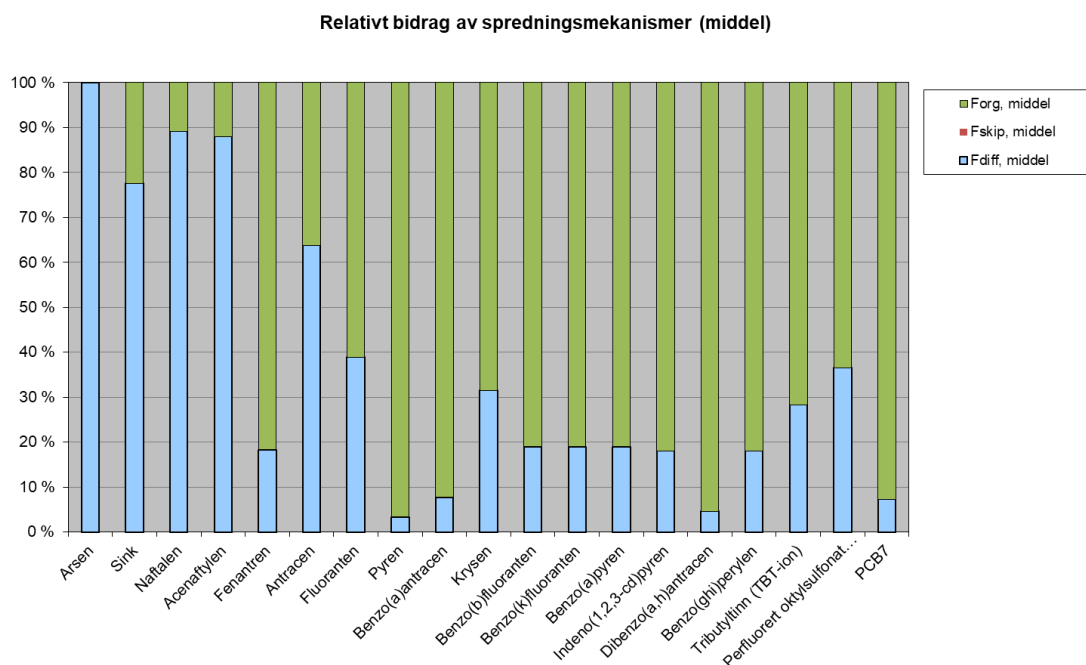
Risikovurdering for spredning fra sedimentet mellom Sjursøya og Malmøya er vist i tabell 2. Resultatene viser at det er en rekke forbindelser som overskrider tillatt spredning fra sedimentene, med de parametere som er benyttet i regnearket. For metaller er det arsen og sink som overskrider tillatt spredning. For PAH-forbindelser viser resultatene at det de fleste forbindelsene overskrider tillatt spredning. Størst overskridelse av tillatt spredning er det for antracen (27,8 ganger) og pyren (27,1 ganger). Også for PCB7, TBT og PFOS er konsentrasjonsnivåene i sedimentene slik at tillatt spredning overskrides.

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 4 Mellom Sjursøya og Malmøya

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ maks [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ middel ($mg/m^2/år$)		
Arsen	8,47E+02	8,47E+02	5,28E+02	1,6
Bly	8,28E+02	8,28E+02	9,57E+02	0,9
Kadmium	2,49E+00	2,49E+00	1,04E+01	0,2
Kobber	4,42E+02	4,42E+02	4,70E+02	0,9
Krom totalt (III + VI)	2,17E+02	2,17E+02	2,62E+03	0,1
Kvikksølv	6,41E+00	6,41E+00	1,28E+01	0,5
Nikkel	4,57E+01	4,57E+01	6,85E+01	0,7
Sink	7,54E+02	7,54E+02	5,06E+02	1,5
Naftalen	3,56E-02	3,56E-02	9,97E-03	3,6
Acenaftylene	3,19E-02	3,19E-02	2,85E-02	1,1
Acenaften	3,53E-02	3,53E-02	5,02E-02	0,7
Fluoren	3,88E-02	3,88E-02	6,49E-02	0,6
Fenantren	1,37E-01	1,37E-01	1,19E-01	1,2
Antracen	3,93E-02	3,93E-02	1,42E-03	27,8
Fluoranten	4,83E-01	4,83E-01	4,01E-01	1,2
Pyren	4,79E+00	4,79E+00	1,77E-01	27,1
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,72E-01	2,19E-02	12,4
Krysen	6,67E-02	6,67E-02	4,02E-02	1,7
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,03E-01	1,59E-02	6,5
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,03E-01	2,86E-02	3,6
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,03E-01	5,42E-02	1,9
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,02E-01	1,96E-02	5,2
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	3,94E-01	3,36E-02	11,7
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,02E-01	2,07E-02	4,9
Tributyltinn (TBT-ion)	6,85E-02	6,85E-02	4,78E-02	1,4
PCB7	4,59E-02	4,59E-02	2,77E-02	9,3
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	9,28E-02	9,28E-02	2,77E-02	3,4
Perfluoroktansyre (PFOA)	6,15E-01	6,15E-01	5,81E+01	0,0
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	2,07E+00	2,07E+00	3,89E+00	0,5

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene mellom Sjursøya og Malmøya er vist i figur 2. I figuren er kun de parametre som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Skipsoppvirvling er ikke en aktuell spredningsvei, da hele området er dypere enn 20 m.

Av figur 2 ser en at biodiffusjon utgjør den viktigste spredningsmekanismen for metaller (As og Zn), samt for PAH-forbindelsene Naftalen, Acenaftylen og Antracen. For øvrige miljøgifter som overskrider tillatt spredning, er transport med organismer viktigste spredningsvei.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon. Skipsoppvirvling er ikke en aktuell spredningsvei i dette området, da hele delområdet er dypere enn 20 m.

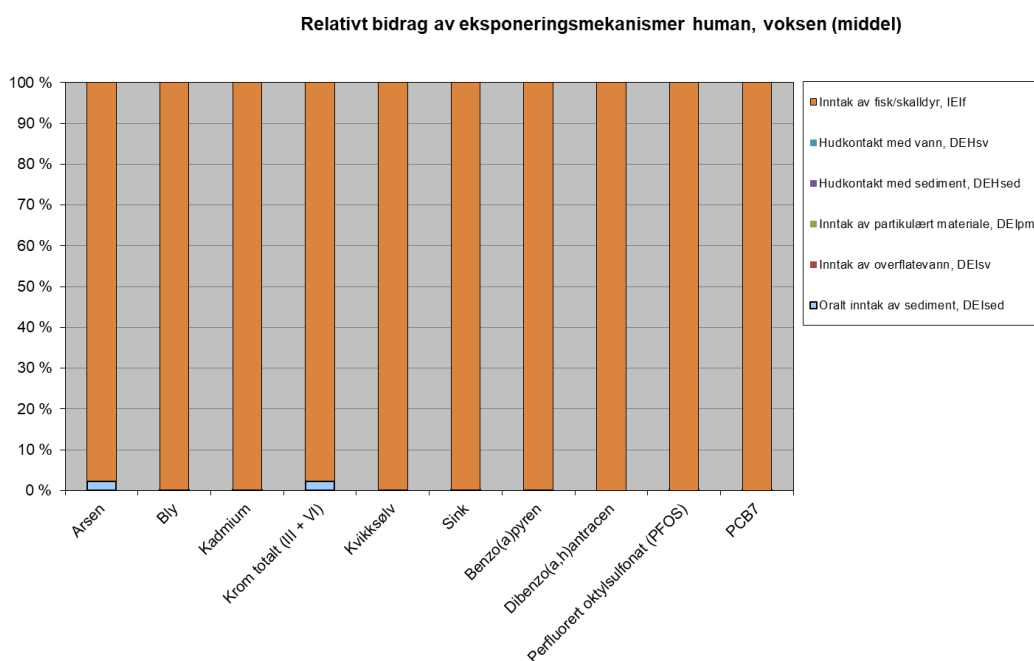
D2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene mellom Sjursøya og Malmøya er vist i tabell 3. Risikoen er her vist for eksponering av barn. Vurderingene viser livstidsdose overskrider tillatt nivå for en rekke metaller (As, Pb, Cd, Cr, Hg og Zn), noen få PAH-forbindelser (benzo(a)pyren, og dibenzo(a,h)andtracen) og PCB7 og PFOS.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 4 mellom Sjursøya og Malmøya.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	5,23E-04	1,00E-04	5,2
Bly	4,55E-02	3,60E-04	126,3
Kadmium	2,44E-04	5,00E-05	4,9
Kobber	8,08E-03	1,63E-02	0,5
Krom totalt (III + VI)	1,01E-03	5,00E-04	2,0
Kvikksølv	9,51E-05	7,10E-05	1,3
Nikkel	2,32E-03	5,00E-03	0,5
Sink	1,11E-01	5,00E-02	2,2
Naftalen	2,61E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftylen	2,53E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	4,96E-06	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,20E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	7,34E-05	4,00E-03	0,0
Antracen	9,41E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	1,93E-04	5,00E-03	0,0
Pyren	3,03E-03	5,00E-02	0,1
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,01E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,49E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,48E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	3,22E-05	2,50E-04	0,1
PCB7	2,79E-05	1,00E-06	27,9
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	3,85E-05	1,50E-05	2,6
Perfluoroktansyre (PFOA)	8,73E-07	1,50E-04	0,0
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	4,16E-04	4,80E-03	0,1

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at for organiske miljøgifter som overskrider grenseverdier gjør det utelukkende grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). For disse miljøgiftene er altså den mest forekommende eksponeringsveien gjennom frigjøring til vann, opptak i fisk og skalldyr og deretter konsum av forurenset fisk og skalldyr. For metallene er den primære eksponeringsveien gjennom inntak av fisk/skalldyr, men for arsen og krom inngår det også noe eksponering gjennom oralt inntak av sediment. Dette vil ikke være en relevant eksponeringsvei, da det ikke vil forekomme bading i dette området.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

D2.3 Risiko for økologiske effekter

NGI (2020) vurderer at det er risiko for økologisk effekter i delområde mellom Sjursøya og Malmøya på grunnlag av at gjennomsnittskonsentrasjonen for sedimentprøver i delområdet overskrider grenseverdien for trinn 1 risikovurdering for arsen, sink, en rekke PAH-forbindelser, PCB7, TBT og PFOS.

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller og PAH-forbindelser, samt TBT. Det er stor forskjell på risikoen forbundet med beregnet og målt porevann, noe som kan komme av analyse med partikler i porevann. Risikoen kan derfor være noe overestimert.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	4,37E-03	1,27E-01	6,0E-04	7,3	211,7
Bly	7,82E-04	1,09E-01	1,3E-03	0,6	83,8
Kadmium	4,03E-06	3,99E-04	2,0E-04	0,0	2,0
Kobber	3,17E-03	8,17E-02	2,6E-03	1,2	31,4
Krom totalt (III + VI)	4,51E-04	4,91E-02	3,4E-03	0,1	14,4
Kvikksølv	2,56E-06	9,67E-04	4,7E-05	0,1	20,6
Nikkel	3,72E-03	8,67E-03	8,6E-03	0,4	1,0
Sink	1,54E-03	1,13E-01	3,4E-03	0,5	33,2
Naftalen	2,50E-03	5,00E-06	2,0E-03	1,3	0,0
Acenaftylene	4,75E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,4	0,0
Acenaften	4,07E-04	5,00E-06	3,8E-03	0,1	0,0
Fluoren	2,42E-04	5,00E-06	1,5E-03	0,2	0,0
Fenantren	3,10E-04	5,00E-06	5,1E-04	0,6	0,0
Antracen	1,14E-04	5,00E-06	1,0E-04	1,1	0,1
Fluoranten	9,32E-05	4,10E-05	6,3E-06	14,8	6,5
Pyren	3,25E-04	3,50E-05	2,3E-05	14,1	1,5
Benzo(a)antracen	1,44E-05	5,00E-06	1,2E-05	1,2	0,4
Krysen	1,95E-05	5,00E-06	7,0E-05	0,3	0,1
Benzo(b)fluoranten	1,42E-05	5,00E-06	1,7E-05	0,8	0,3
Benzo(k)fluoranten	7,99E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(a)pyren	5,46E-06	5,00E-06	1,7E-07	32,1	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,78E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,7	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	1,42E-06	5,00E-06	6,0E-07	2,4	8,3
Benzo(ghi)perylene	5,15E-06	5,00E-06	8,2E-07	6,3	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	7,19E-04	5,46E-06	2,0E-07	3597,1	27,3
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	1,41E-05	ia	1,3E-07	108,3	-
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	9,02E-04	5,00E-04	1,3E-03	0,7	0,4
Perfluoroktansyre (PFOA)	2,22E-04	ia	9,1E-03	0,0	-

ia = ikke analysert

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser overskridelser av toksisitet for test på *Skeletonema* og DR CALUX-test. Helsedimenttest som skal gjøres i en trinn 2 risikovurdering har dødelighet som er innenfor grenseverdien.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter mellom Sjursøya og Malmøya.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	2	1,0	2,0
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	64	TEQ < 50 ng/kg	1,3
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	10	20 %	0,3

D3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er funnet metaller i tilstandsklasse 5, samt PAH-forbindelser og TBT opp til tilstandsklasse 4. PCB7 er påvist i tilstandsklasse 3.

Resultater fra risikovurderingen viser at de fleste PAH-forbindelsene (14 av 16) overskrider tillatt spredning. I tillegg overskrider også TBT, PCB7 og PFOS akseptabel spredning fra sedimentet.

Risikovurderingen for human helse viser at arsen, bly, krom, kvikksølv, fenantren, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grenseverdi for human helse. Foruten for PCB7 er overskridelsene lave (<5 ganger).

For økologiske effekter viser resultatene at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for alle metaller, seks PAH-forbindelser og TBT når en sammenligner PNEC med målte konsentrasjoner i porevannet. Toksisitetstester viser også overskridelser av imidlertid av grenseverdier for toksisitet for *Skeletonema* og DR Calux.

Vedlegg E

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 5: LYSAKER

Innhold

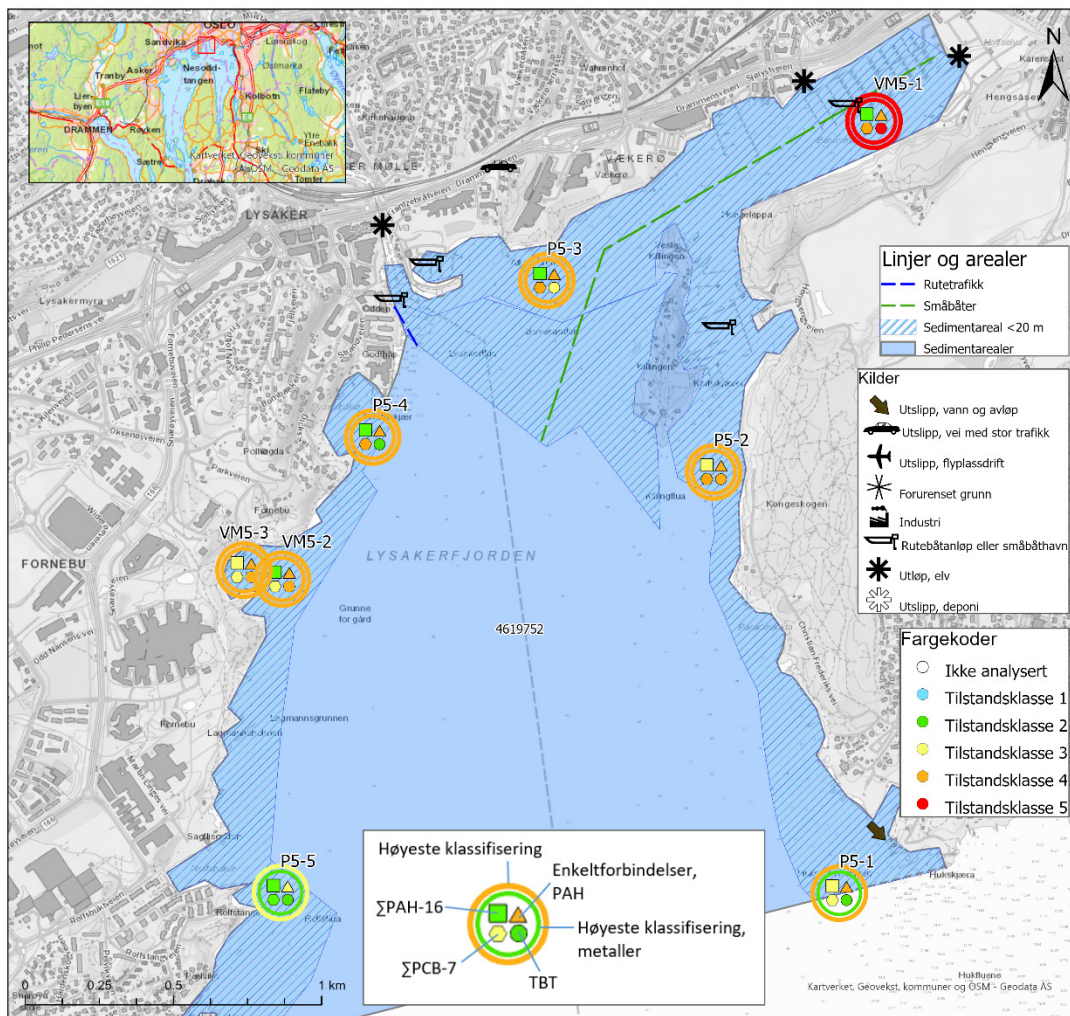
E1 Innledning	2
E1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
E1.2 Parametervalg	3
E2 Beregning av risiko for delområde 5 - Lysaker	3
E2.1 Risiko for spredning	3
E2.2 Risiko for human helse	5
E2.3 Risiko for økologiske effekter	7
E3 Oppsummering	9

E1 Innledning

E1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Innenfor delområdet Lysaker det flere store båthavner, med i overkant av 1500 båtplasser totalt innenfor hele delområdet. Det er også nærhet til E18 Drammensveien og utløp av tre elver til området.

I delområde 5 – Lysaker er det prøvetatt sediment ved stasjonene P5-1 til P5-5, og det er i tillegg hentet ut tre stasjoner fra Vannmiljø (VM5-1 til VM5-3). Det påvises til dels høye konsentrasjoner av alle analyserte parametere. Det er høyere konsentrasjoner i stasjonene som ligger innerst i området.



Figur 1 Delområde 5 - Lysaker. Tilstandsklassifisering for prøver i området er etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

E1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for delområde 5 Lysaker. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 5 Lysaker. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 5
TOC	%	2,9
Areal delområde	m ²	4 619 752
Gjennomsnittlig dyp	m	30
Vannvolum	m ³	138 592 560
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	15 297
Trasélengde for skipsanløp	m	2 130
Kornstørrelse > 63 µm	%	37,1
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffic	%	50 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	1 069
Areal <20 m vanddyb	m ²	1 822 323
Areal skipspåvirket areal	m ²	911 162
Fraksjon suspendert fsusp = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0126

E2 Beregning av risiko for delområde 5 - Lysaker

E2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i delområde 5 Lysaker er vist i tabell 2. Her er resultatene vist for både total spredning ($F_{tot, skip}$ beregnet spredning for skipsoppvirvling, biodiffusjon og transport med organismer) og spredning uten skipsoppvirvling ($F_{tot, sed-skip}$). Resultatene viser at det er en rekke forbindelser som overskrider tillatt spredning fra sedimentene, med de parametere som er benyttet i regnearket. Det er relativt store forskjeller mellom spredning med og uten skipsoppvirvling, men dette varierer for de ulike stoffene grunnet ulik betydning av spredningsmekanismene. Det at forskjellene er ganske store kommer av at det er mye skipstrafikk i området.

Resultatene for den totale spredningen sammenlignet med tillatt spredning viser at det er en rekke forbindelser som overskrider tillatt spredning fra sedimentene, med de parametere som er benyttet i regnearket. For metaller overskrider det tillatt spredning for kadmium, kobber, kvikksølv og sink.

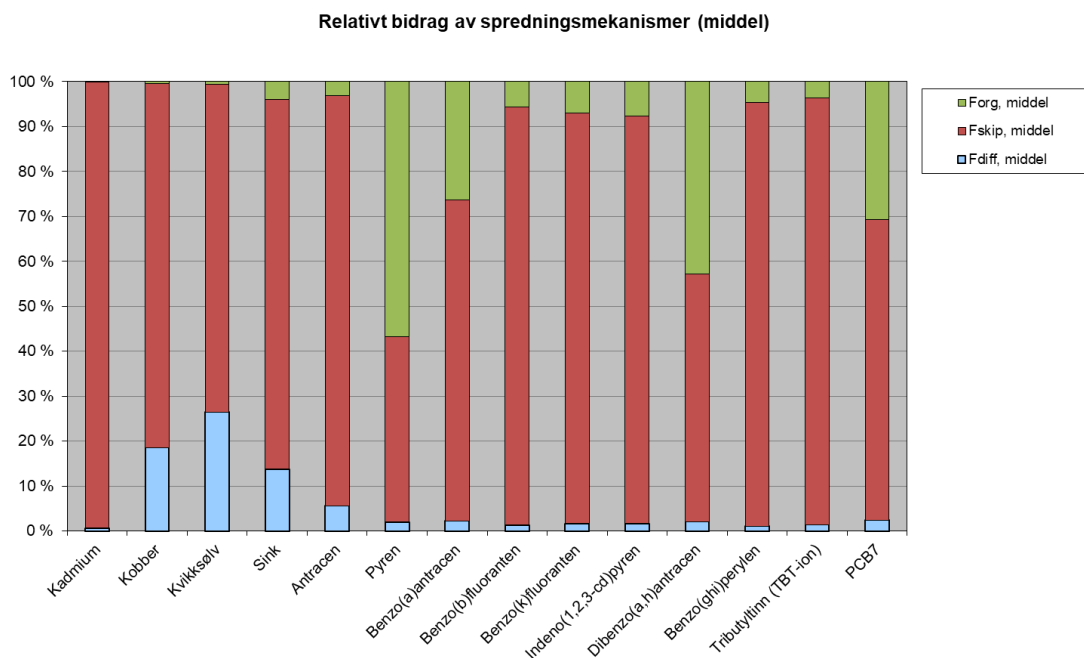
For PAH-forbindelser viser resultatene at det de fleste forbindelsene overskrider tillatt spredning. Størst overskridelse av tillatt spredning er det for antracen (10,4 ganger) og pyren (4,9 ganger). Også for PCB7 og TBT er konsentrasjonsnivåene i sedimentene slik at tillatt spredning overskrides (henholdsvis 16,7 og 2 ganger tillatt nivå).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 5 Lysaker.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ ($mg/m^2/år$)		
Arsen	6,74E+02	1,41E+03	2,17E+03	0,7
Bly	4,73E+02	1,52E+03	2,77E+03	0,5
Kadmium	8,41E-01	1,18E+02	2,04E+01	5,8
Kobber	2,64E+02	1,39E+03	1,15E+03	1,2
Krom totalt (III + VI)	1,22E+02	6,09E+02	1,04E+04	0,1
Kvikksølv	3,00E+00	1,11E+01	8,85E+00	1,3
Nikkel	2,91E+01	3,49E+02	4,11E+02	0,8
Sink	4,77E+02	2,69E+03	1,65E+03	1,6
Naftalen	3,56E-02	2,54E-01	2,92E-01	0,9
Acenaftilen	3,19E-02	3,25E-01	3,27E-01	1,0
Acenaften	3,53E-02	1,38E-01	1,44E+00	0,1
Fluoren	3,88E-02	2,17E-01	1,70E+00	0,1
Fenantren	1,37E-01	8,49E-01	6,99E+00	0,1
Antracen	3,93E-02	4,45E-01	4,29E-02	10,4
Fluoranten	1,41E-01	1,91E+00	3,50E+00	0,5
Pyren	2,74E+00	4,66E+00	9,55E-01	4,9
Benzo(a)antracen	2,72E-01	9,52E-01	5,58E-01	1,7
Krysen	6,67E-02	1,11E+00	2,39E+00	0,5
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,47E+00	1,18E+00	1,2
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,18E+00	1,15E+00	1,0
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,48E+00	1,54E+00	1,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,10E+00	5,41E-01	2,0
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	8,76E-01	2,77E-01	3,2
Benzo(ghi)perylen	1,02E-01	1,78E+00	7,02E-01	2,5
Tributyltinn (TBT-ion)	3,05E-02	6,04E-01	2,95E-01	2,0
PCB7	2,23E-01	6,73E-01	4,03E-02	16,7

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene ved Lysaker er vist i figur 2. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Som figuren viser, har stoffegenskapene til miljøgiftene mye å si for spredningsmekanismene. Metallene er forventet å være i hovedsak partikulært bundet. For kadmium ser en at det nesten utelukkende er skipsoppvirvling som fører til spredning av miljøgiften. For de øvrige metallene som overskrider tillatt spredning er også biodiffusjon en medvirkende mekanisme, dog ikke i like stor grad som skipsoppvirvling.

For de organiske miljøgiftene som overskrider tillatt spredning er også skipsoppvirvling den viktigste spredningsmekanismen for de fleste miljøgiftene, bortsett fra pyren der spredning med organismer dominerer.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved middel påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

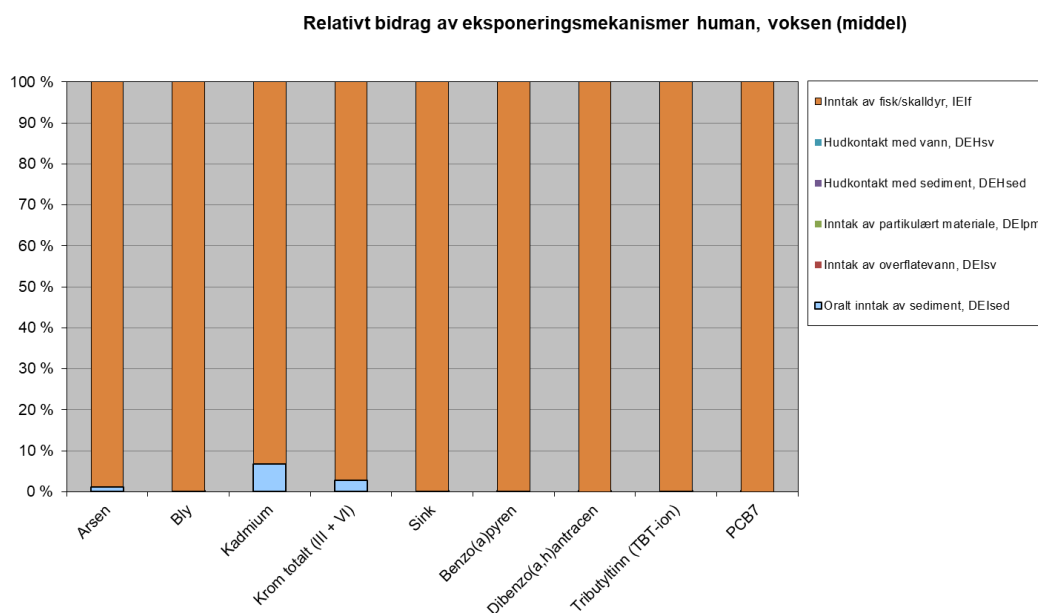
E2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene ved Lysaker er vist i tabell 3. Risikoen er her vist for eksponering av barn. Vurderingene viser at arsen, bly, kadmium, krom, sink, indeno(1,2,3,cd)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB-7 overskrider grense for total livstidseksponering.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 5 Lysaker

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	4,06E-04	1,00E-04	4,1
Bly	2,60E-02	3,60E-04	72,2
Kadmium	9,49E-05	5,00E-05	1,9
Kobber	4,88E-03	1,63E-02	0,3
Krom totalt (III + VI)	5,76E-04	5,00E-04	1,2
Kvikksølv	4,49E-05	7,10E-05	0,6
Nikkel	1,49E-03	5,00E-03	0,3
Sink	7,03E-02	5,00E-02	1,4
Naftalen	2,55E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftylen	2,53E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	4,91E-06	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,15E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	7,31E-05	4,00E-03	0,0
Antracen	9,36E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	5,67E-05	5,00E-03	0,0
Pyren	1,73E-03	5,00E-02	0,0
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,00E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,48E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	1,44E-05	2,50E-04	0,1
PCB7	1,36E-04	1,00E-06	135,5

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det nesten utelukket grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den mest forekommende eksponeringsveien er gjennom frigjøring til vann, opptak i fisk og skalldyr og deretter konsum av forurenset fisk og skalldyr. For arsen, kadmium og krom utgjør også eksponering gjennom oralt inntak av sediment en liten del av livstidseksponeringen.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

E2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller og PAH-forbindelser, samt TBT. For en rekke metaller er økologisk risiko høyere grunnet høye porevannskonsentrasjoner av metaller. Til sammenligning vil det ved å benytte sjablongverdier for fordeling mellom sedimenter og porevann kun være arsen og kobber som innenfor dette området vil ha porevannskonsentrasjon som overskrider PNEC (henholdsvis 3 og 1,6 ganger høyere enn PNEC, som vist i kolonnen for beregnede konsentrasjoner sammenlignet med PNEC).

For de organiske miljøgiftene, er det overskridelse av PNEC for en rekke PAH-forbindelser og TBT. For de fleste forbindelser er det lavere overskridelse når målte porevannskonsentrasjoner benyttes enn når teoretisk beregnet fordeling benyttes. F.eks. reduseres risikoen forbundet med TBT betydelig.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Antall ganger høyere enn beregnet	Antall ganger høyere enn målt
Arsen	1,77E-03	1,01E-01	6,0E-04	3,0	168,3
Bly	5,19E-04	6,23E-02	1,3E-03	0,4	47,9
Kadmium	1,12E-04	1,35E-04	2,0E-04	0,6	0,7
Kobber	4,14E-03	4,89E-02	2,6E-03	1,6	18,8
Krom totalt (III + VI)	3,21E-04	2,77E-02	3,4E-03	0,1	8,1
Kvikksølv	6,48E-06	4,52E-04	4,7E-05	0,1	9,6
Nikkel	5,02E-03	5,52E-03	8,6E-03	0,6	0,6
Sink	1,99E-03	7,15E-02	3,4E-03	0,6	21,0
Naftalen	6,16E-04	5,00E-06	2,0E-03	0,3	0,0
Acenaftylene	4,31E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,3	0,0
Acenaften	5,97E-05	5,00E-06	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	6,17E-05	5,00E-06	1,5E-03	0,0	0,0
Fenantren	7,85E-05	5,00E-06	5,1E-04	0,2	0,0
Antracen	5,43E-05	5,00E-06	1,0E-04	0,5	0,1
Fluoranten	7,42E-05	1,20E-05	6,3E-06	11,8	1,9
Pyren	1,31E-04	2,00E-05	2,3E-05	5,7	0,9
Benzo(a)antracen	5,56E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,5	0,4
Krysen	1,09E-05	5,00E-06	7,0E-05	0,2	0,1
Benzo(b)fluoranten	6,87E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(k)fluoranten	5,65E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,3	0,3
Benzo(a)pyren	6,96E-06	5,00E-06	1,7E-07	40,9	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,77E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,7	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	9,92E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,7	8,3
Benzo(ghi)perylene	6,90E-06	5,00E-06	8,2E-07	8,4	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	2,18E-03	2,43E-06	2,0E-07	10899,4	12,2

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser overskridelser av toksisitet for test på DR CALUX-test. Helsedimenttest, som skal gjøres i en trinn 2 risikovurdering, har dødelighet som er innenfor grenseverdien.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter utenfor Lysaker.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	0,5	1,0	0,5
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	68	TEQ < 50 ng/kg	1,4
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	3	20 %	0,3

E3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er funnet høye konsentrasjoner (tilsvarende tilstandsklasse 4 og 5) av alle parametere i den indre delen av område, mens konsentrasjonene er noe lavere (tilstandsklasser 2 og 3) i de ytre deler.

Resultater fra risikovurderingen viser at flere metaller (4 av 8), mange PAH-forbindelsene (8 av 16), samt PCB7 og TBT overskrider akseptabel spredning. Antracen og PCB7 er de eneste parametere som overskrider tillatt nivå mer enn 10 ganger.

Risikovurderingen for human helse viser at arsen, bly, krom, kadmium, krom, sink, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grenseverdi for human helse. Foruten for bly og PCB7 er overskridelsene lave (<5 ganger).

For økologiske effekter viser resultatene at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for seks metaller, fem PAH-forbindelser og TBT når en sammenligner PNEC med målte konsentrasjoner i porevannet. Toksisitetstester viser også overskridelser av grenseverdi for toksisitet for DR Calux.

Vedlegg F

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 6: HOLTEKILEN

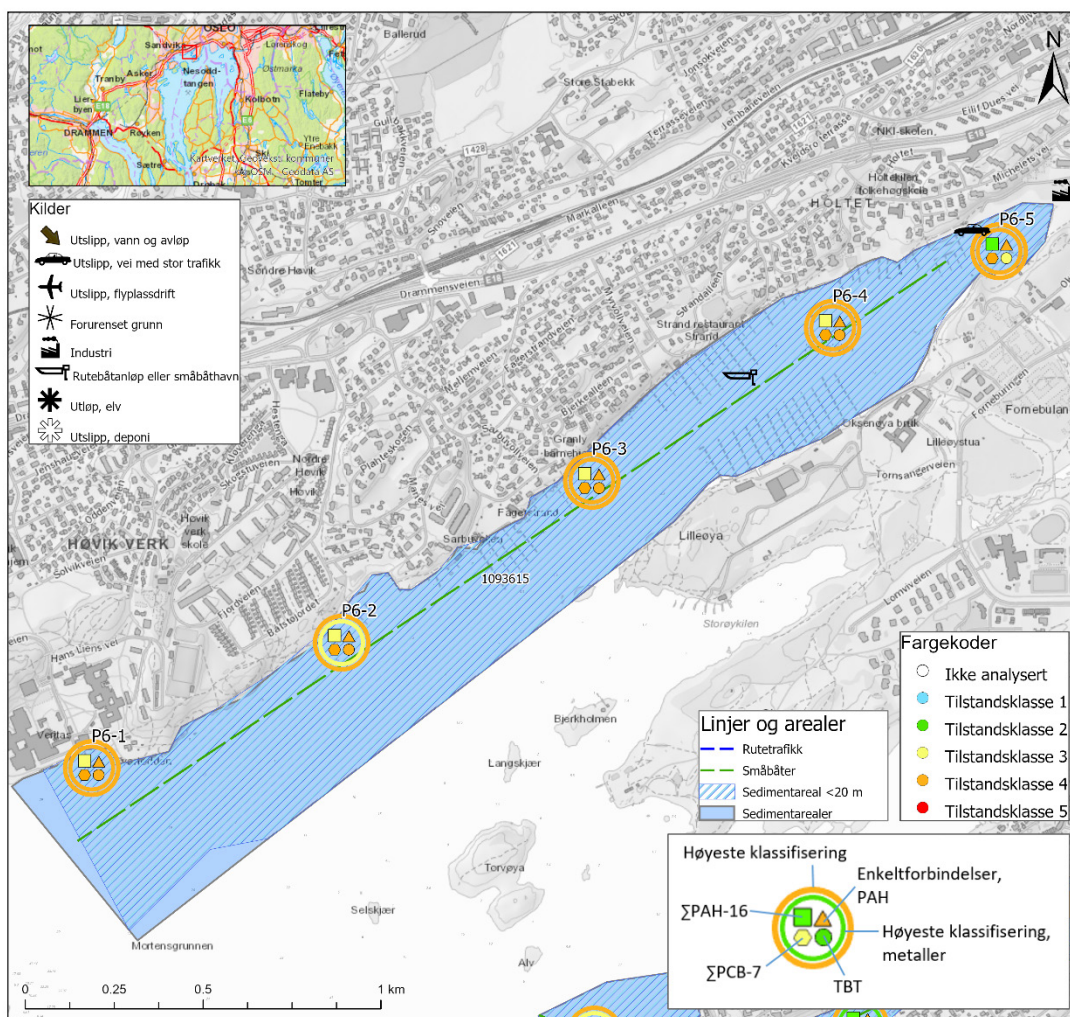
Innhold

F1 Innledning	2
F1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
F1.2 Parametervalg for delområdet	3
F2 Beregning av risiko for delområde 6 - Holtekilen	3
F2.1 Risiko for spredning	3
F2.2 Risiko for human helse	6
F2.3 Risiko for økologiske effekter	7
F3 Oppsummering	9

F1 Innledning

F1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Delområde 6 dekker Holtekilen (se Figur 1). Området er avgrenset av bebygde områder i nord og sør-øst, og mot sjø i sør-vest og i vest. Området er påvirket av et utslipp fra veitrafikk og et industriutslipp innerst i kilen, og det er en båthavn midtveis inne i kile. Sedimentundersøkelser viser at sedimentet er forurenset tilsvarende tilstandsklasse 4 (TK4) langs hele kilen. Dette skyldes aromatiske og klorerte organiske forbindelser (PCB og PAH), og metaller.



Figur 1 Delområde 6 Holtekilen. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

F1.2 Parametervalg for delområdet

Parametere som er benyttet i risikovurderingen for Holtekilen er vist i tabell 1. Forklaring og betydning av den enkelte parameter er gitt i kap. 2.4. i rapporten.

Tabell 1 Verdier brukt for parametere i risikovurderingsverktøyet for delområde 6 Holtekilen. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 6
TOC	%	4,42
Areal delområde	m ²	403 162
Gjennomsnittlig dyp	m	10
Vannvolum	m ³	403 162
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	5 560
Trasélengde for skipsanløp	m	2 936
Kornstørrelse > 63 µm	%	9,32
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffikk	%	0 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	150
Areal <20 m vanddyb	m ²	1 047 694
Areal skipspåvirket areal	m ²	523 847
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0114

Trinn 1 risikovurdering er beskrevet i datarapporten (NGI, 2020). Foreliggende vedlegg beskriver beregnet spredning, risiko for human helse og risiko for økologiske effekter (trinn 2, men med steds spesifikke verdier for fordelingskoeffisienten mellom vann og sediment (K_d) fordi konsentrasjonen av miljøgifter er målt i porevann).

F2 Beregning av risiko for delområde 6 - Holtekilen

F2.1 Risiko for spredning

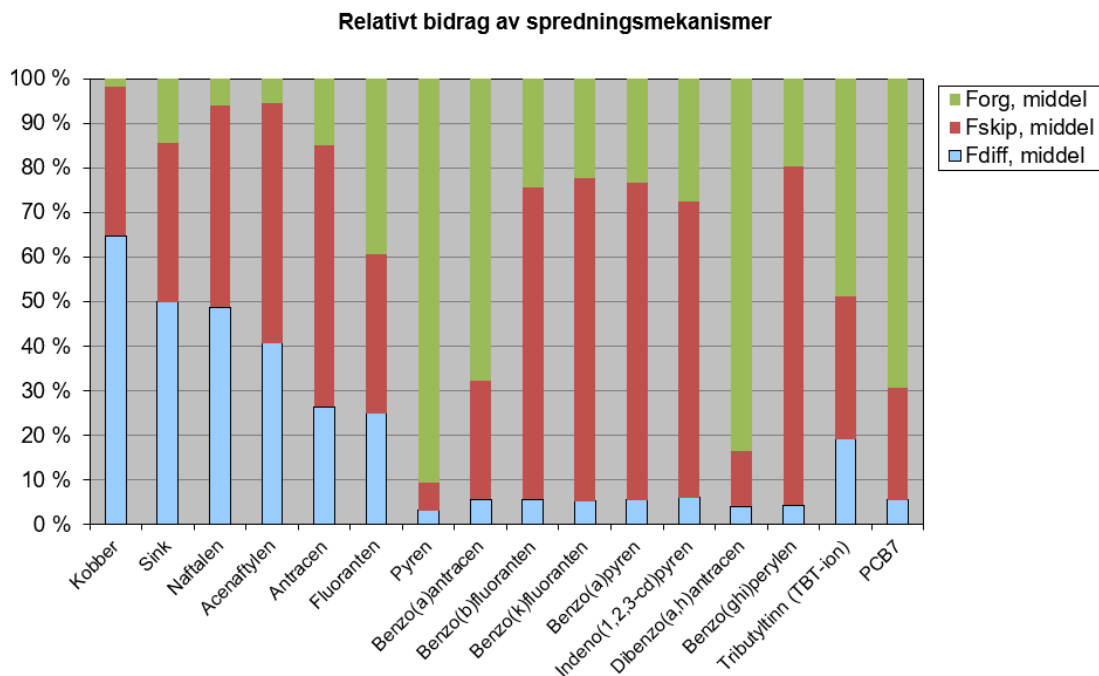
Risikovurdering for spredning fra sedimentet i Holtekilen er vist i tabell 2. Tabellen viser beregnet spredning fra biodiffusjon (F_{diff}), som følge av transport via organismer (F_{org}), og som følge av oppvirvling fra skip (F_{skip}). Den totale spredningen er summert (F_{tot}) og sammenlignet med spredning som ville vært dersom konsentrasjonen i sedimentet tilfredsstilte trinn 1 i risikovurderingen, det vil si at konsentrasjonene var lavere enn grensen mellom TK2 og 3. Spredning som ville vært med denne konsentrasjonen betegnes som "tillatt spredning". Resultatene viser at det er flere forbindelser som overskrider tillatt spredningen. For delområdet er det PAHene og PCB7 som overskrider tillatt

spredning, i tillegg til TBT og kobber (tabell 2). Overskridelsen er størst for PCB7 (72,6), så følger de mellomstore PAHene (antracen og pyren, 14,2 og 15,4 henholdsvis).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 6 Holtekilen.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ ($mg/m^2/år$)		
Arsen	8,94E+01	1,10E+02	1,74E+02	0,6
Bly	2,16E+02	2,94E+02	6,86E+02	0,4
Kadmium	3,63E+00	5,68E+00	7,47E+00	0,8
Kobber	2,36E+02	3,54E+02	3,17E+02	1,1
Krom totalt (III + VI)	9,09E+02	1,16E+03	8,04E+03	0,1
Kvikksølv	2,07E+00	2,75E+00	2,93E+00	0,9
Nikkel	2,58E+01	6,15E+01	7,15E+01	0,9
Sink	5,86E+02	9,08E+02	3,99E+02	2,3
Naftalen	3,56E-02	6,50E-02	5,93E-02	1,1
Acenaftylen	3,19E-02	6,89E-02	5,94E-02	1,2
Acenaften	3,53E-02	4,74E-02	4,42E-01	0,1
Fluoren	3,88E-02	6,59E-02	3,28E-01	0,2
Fenantren	1,37E-01	2,35E-01	1,09E+00	0,2
Antracen	3,93E-02	9,52E-02	6,71E-03	14,2
Fluoranten	5,42E-01	8,42E-01	7,91E-01	1,1
Pyren	5,20E+00	5,55E+00	3,61E-01	15,4
Benzo(a)antracen	2,72E-01	3,70E-01	9,76E-02	3,8
Krysen	6,67E-02	2,46E-01	3,02E-01	0,8
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	3,44E-01	1,48E-01	2,3
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	3,73E-01	1,41E-01	2,7
Benzo(a)pyren	1,03E-01	3,57E-01	1,92E-01	1,9
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	3,03E-01	6,82E-02	4,4
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	4,50E-01	6,99E-02	6,4
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	4,22E-01	8,53E-02	4,9
Tributyltinn (TBT-ion)	1,05E-01	1,54E-01	6,97E-02	2,2
PCB7	3,77E-01	5,05E-01	6,95E-03	72,6

Av de forskjellige spredningsmekanismene dominerer spredning via biodiffusjon (F_{diff}) for kobber, mens for sink og de mindre PAHene er det omtrent like mye spredning fra biodiffusjon som fra spredning fra skip (F_{skip}). For PAH-forbindelsene pyren, benzo(a)antracen og dibenzo(a,h)antracen dominerer spredning som følge av transport via organismer (F_{org}). Dette er fordi disse forbindelsene akkumuleres i næringskjeden i større grad enn de øvrige forbindelsene. For de øvrige PAH-forbindelsene er det spredning fra skip som dominerer som spredningsmekanisme. Også for TBT og PCB7 utgjør spredning fra transport via organismer en betydelig andel. Resultatene viser at det er akkumulering av miljøgifter i næringskjeden i området.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirkning av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

F2.2 Risiko for human helse

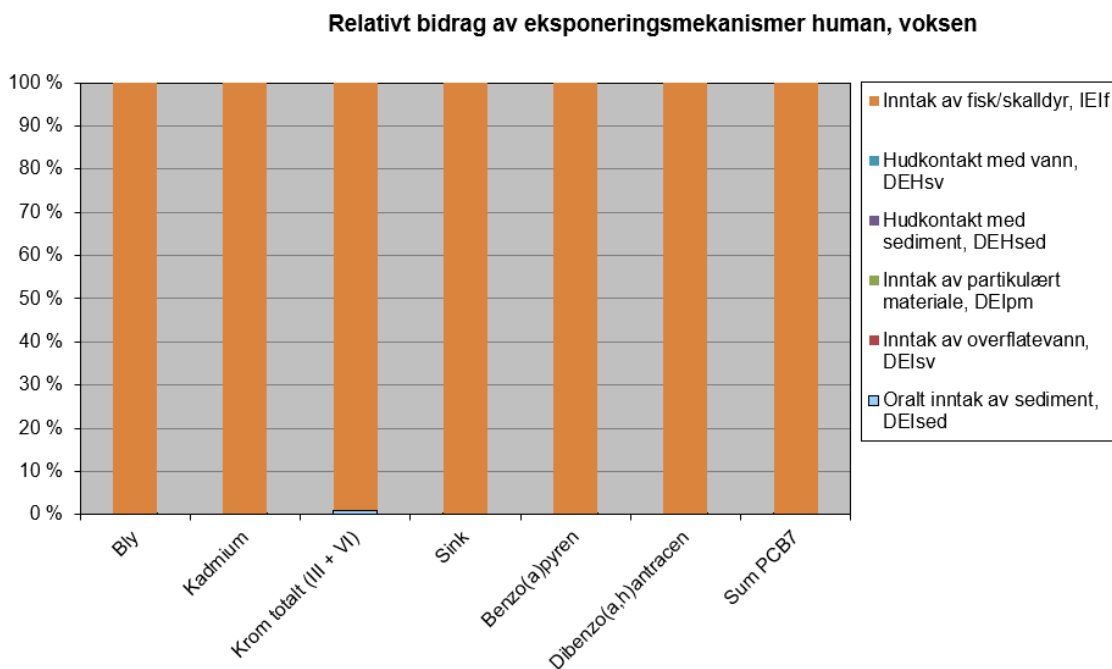
Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i delområde 6 Holtekilen er vist i tabell 3. Risikoen er her vist for eksponering av barn. Beregningene gjøres som vist i kap. 4.2 i rapporten.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 6 Holtekilen.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		
Arsen	6,23E-05	1,00E-04	0,6
Bly	1,19E-02	3,60E-04	33,1
Kadmium	3,58E-04	5,00E-05	7,2
Kobber	4,36E-03	1,63E-02	0,3
Krom totalt (III + VI)	4,12E-03	5,00E-04	8,2
Kvikksølv	3,10E-05	7,10E-05	0,4
Nikkel	1,33E-03	5,00E-03	0,3
Sink	8,63E-02	5,00E-02	1,7
Naftalen	2,55E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftilen	2,53E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	4,91E-06	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,16E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	7,32E-05	4,00E-03	0,0
Antracen	9,37E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	2,17E-04	5,00E-03	0,0
Pyren	3,29E-03	5,00E-02	0,1
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,00E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,49E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,49E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,49E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,50E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	4,92E-05	2,50E-04	0,2
PCB7	2,29E-04	1,00E-06	228,8

For human helse er det metallene bly, kadmium, krom og sink som overskrider trygg grense for eksponering. Mens for de aromatiske organiske forbindelsene er det benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7. Den høyeste overskridelsen er for PCB7 som er 228 ganger høyere enn trygg eksponering, nest høyest er for bly som er på 33,1 ganger trygg eksponering.

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det nesten utelukket grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den vanligste eksponeringsveien er via opptak av miljøgifter til fisk og skalldyr og deretter humant konsum av forurenset fisk og skalldyr. For krom utgjør også eksponering gjennom oralt inntak av sediment en liten del av livstidseksponeringen.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

F2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for alle metallene unntatt nikkel, flere PAH-forbindelser, samt TBT. De målte porevannskonsentrasjonene gir vesentlig høyere overskridelse av PNEC sammenlignet med de beregnede porevannskonsentrasjonene. Konsentrasjonene i porevannet i sedimentet ble analyser på ufiltrerte prøver og risikoen forbundet med målte porevannskonsentrasjoner er derfor konservativ. Dette gjelder spesielt for metallene og de større PAH-forbindelsene som er hardt bundet til partikler.

For de beregnede porevannskonsentrasjonene er det arsen, kobber, fem PAH-forbindelser og TBT som overskrider PNEC.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med konsentrasjoner som er antatt å gi ingen økologiske effekter (Predicted No Effect Concentrations; PNEC).

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grense-verdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,73E-03	1,34E-02	6,0E-04	2,9	22,3
Bly	3,95E-04	2,85E-02	1,3E-03	0,3	21,9
Kadmium	1,35E-05	5,83E-04	2,0E-04	0,1	2,9
Kobber	3,78E-03	4,36E-02	2,6E-03	1,5	16,8
Krom totalt (III + VI)	7,88E-04	2,06E-01	3,4E-03	0,2	60,6
Kvikksølv	4,82E-06	3,12E-04	4,7E-05	0,1	6,6
Nikkel	4,97E-03	4,90E-03	8,6E-03	0,6	0,6
Sink	2,55E-03	8,77E-02	3,4E-03	0,7	25,8
Naftalen	4,91E-04	5,00E-06	2,0E-03	0,2	0,0
Acenaftilen	3,18E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,2	0,0
Acenaften	3,99E-05	5,00E-06	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	5,68E-05	5,00E-06	1,5E-03	0,0	0,0
Fenantren	6,35E-05	5,00E-06	5,1E-04	0,1	0,0
Antracen	4,40E-05	5,00E-06	1,0E-04	0,4	0,1
Fluoranten	6,76E-05	4,60E-05	6,3E-06	10,7	7,3
Pyren	1,37E-04	3,80E-05	2,3E-05	5,9	1,7
Benzo(a)antracen	4,69E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,4	0,4
Krysen	1,10E-05	5,00E-06	7,0E-05	0,2	0,1
Benzo(b)fluoranten	7,13E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(k)fluoranten	8,37E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(a)pyren	7,51E-06	5,00E-06	1,7E-07	44,2	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,10E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,8	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	6,71E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,1	8,3
Benzo(ghi)perylene	7,74E-06	5,00E-06	8,2E-07	9,4	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	9,70E-04	8,35E-06	2,0E-07	4847,8	41,8

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksistetester viser ingen overskridelser av grenseverdiene for toksisitet.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra Holtekilen.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	1	1,0	1,0
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	39	TEQ < 50 ng/kg	0,8
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	5	20 %	0,3

F3 Oppsummering

Figurene og tabellene over viser at det er risiko for spredning, effekter på human helse og økologiske effekter fra forurensningen i sedimentet i området Holtekilen. For spredning er det kobber, sink og enkelte større PAHer, PCB7 og TBT som spres over tillatt spredning, eller det som spredningen ville vært om konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentet var tilsvarende grenen mellom TK2 og 3 (Tabell 2). Hvorvidt det er spredning fra skip, biodiffusjon eller transport via organismer som er viktigst er avhengig av forbindelsen (Figur 2).

For human helse utpeker bly og PCB7 seg som de som gir størst risiko og overskridelse av anbefalt inntak av miljøgiften fra forurenset sediment (Tabell 3). I all hovedsak kommer denne eksponeringen fra inntak av sjømat med miljøgifter (Figur 2).

Det er til foreliggende risikovurdering vist frem både beregnede og målte konsentrasjoner av miljøgifter i porevann. Analysene av porevannskonsentrasjoner ble gjort på ufiltrerte prøver og er derfor konservative. Tabell 4 viser også dette. Overskridelsene av målt porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC er størst for metallene, de største PAH-ene og TBT, det vil si de forbindelsene som er sterkest bundet til partikler.

Risikovurderingen viser at for delområde 6 Holtekilen så er det risiko for spredning over tillatt spredning, risiko for human helse og økologisk risiko. De forbindelsene som utgjør størst risiko er de større PAH-ene (spredning og økologisk effekter), og bly og PCB7 (human helse).

Vedlegg G

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 7: HUNDESUNDET

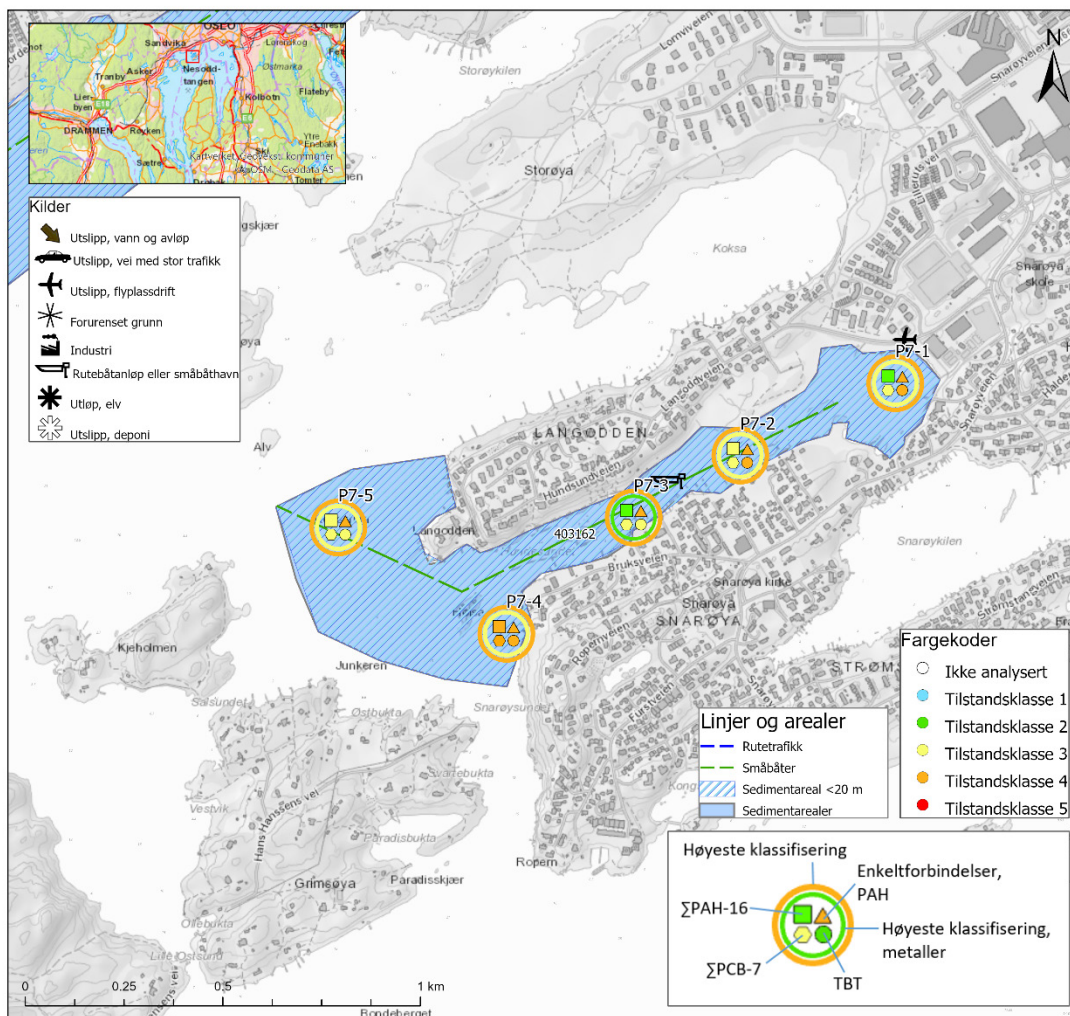
Innhold

G1 Innledning	2
G1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
G1.2 Parametervalg	3
G2 Beregning av risiko for delområde 7 Hundesundet	3
G2.1 Risiko for spredning	3
G2.2 Risiko for human helse	5
G2.3 Risiko for økologiske effekter	7
G3 Oppsummering	9

G1 Innledning

G1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Området ligger i Hundesundet mellom Snarøya og Langodden, vist på kart i figur 1. Området omfatter også deler av arealet mellom Langodden, Grimsøya og Kjeholmen. Det er bebyggelse på begge sider av sundet og det er et utslippsrør innerst i bukta der det tidligere var utslipp fra avisningskjemikaliert fra nå nedlagte Oslo Lufthavn, Fornebu. Det ligger mange småbåter innover i sundet. Det er i undersøkelser i 2020 påvist tilstandsklasse 3 for metaller og tilstandsklasse 4 for PAH-komponenter. I tillegg er et påvist tilstandsklasse 4 for PCB og TBT. Det er også analysert for PFOA, PFOS og DEHP i en prøve denne viser tilstandsklasse 2 for DEHP og tilstandsklasse 3 for PFOS. PFOA er lavere enn rapporteringsgrensa (0,5 µg/kg).



Figur 1 Delområde 7 Hundesundet. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 i delområdet etter grenser gitt i veileder M608/2016.

G1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for Hundesundet. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes kapittel 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 7 Hundesundet. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 7
TOC	%	3,68
Areal delområde	m ²	1 093 615
Gjennomsnittlig dyp	m	15
Vannvolum	m ³	16 404 225
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	1000
Trasélengde for skipsanløp	m	1582
Kornstørrelse > 63 µm	%	31,1
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffikk	%	0 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	150
Areal <20 m vanddyb	m ²	401 591
Areal skipspåvirket areal	m ²	200 795,5
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0064

G2 Beregning av risiko for delområde 7 Hundesundet

G2.1 Risiko for spredning

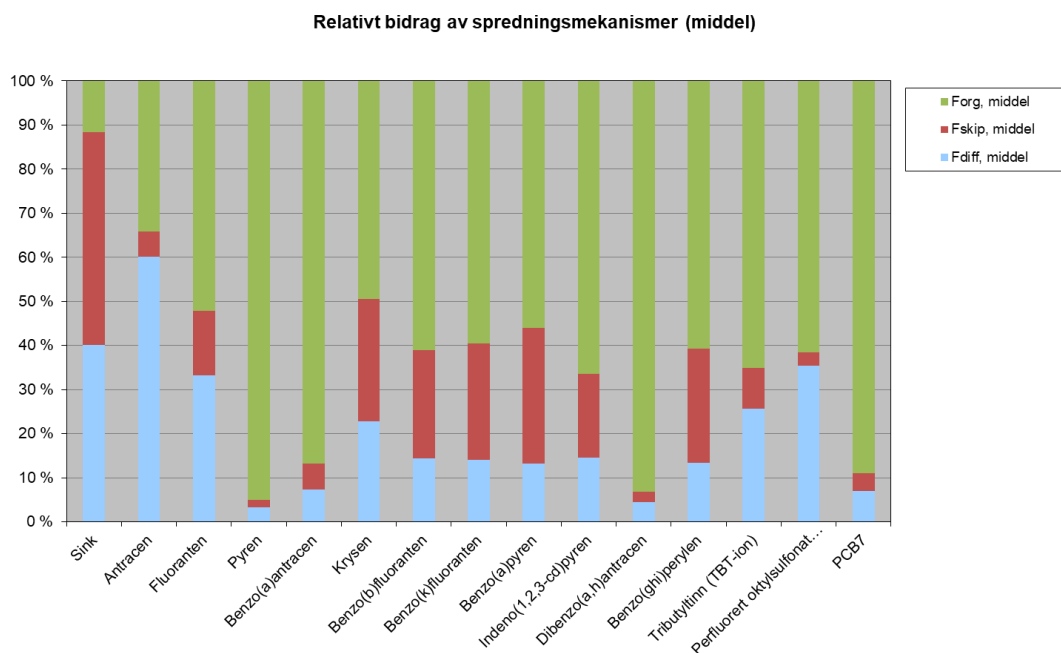
Risikovurdering for spredning fra sedimentet i Hundesundet er vist i tabell 2. Resultatene viser at flere PAH-forbindelser overskrider grenseverdi for tillatt spredning (fra 1,2 til 20 ganger høyere enn tillatt spredning). I tillegg er sink så vidt over grenseverdi (1,4 ganger høyere). PCB er 25,5 ganger høyere enn tillatt spredning.

Det er også beregnet spredning for PFOS, DEHP og PFOA. PFOS er 7,8 ganger høyere enn tillatt spredning, mens DEHP og PFOA er lavere.

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 7 Hundesundet.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ middel [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ middel ($mg/m^2/år$)		
Arsen	2,95E+02	3,05E+02	5,51E+02	0,6
Bly	5,62E+00	1,09E+01	3,88E+01	0,3
Kadmium	1,56E-01	2,10E-01	1,22E+00	0,2
Kobber	1,36E+01	2,19E+01	2,92E+01	0,8
Krom totalt (III + VI)	3,30E+01	3,94E+01	6,64E+02	0,1
Kvikksølv	1,37E-01	1,82E-01	2,85E-01	0,6
Nikkel	9,38E+00	1,44E+01	1,56E+01	0,9
Sink	2,43E+01	4,69E+01	3,41E+01	1,4
Naftalen	2,84E+00	2,93E+00	4,70E+00	0,6
Acenaftylene	3,19E-02	3,51E-02	5,88E-02	0,6
Acenaften	1,13E+00	1,16E+00	1,16E+01	0,1
Fluoren	9,31E-01	9,57E-01	5,13E+00	0,2
Fenantren	3,56E+00	3,60E+00	5,80E+00	0,6
Antracen	2,36E-01	2,50E-01	1,23E-02	20,4
Fluoranten	3,77E-01	4,42E-01	2,20E-01	2,0
Pyren	3,15E+00	3,20E+00	1,64E-01	19,6
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,89E-01	4,12E-02	7,0
Krysen	6,67E-02	9,23E-02	7,98E-02	1,2
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,37E-01	3,79E-02	3,6
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,40E-01	3,46E-02	4,0
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,49E-01	4,22E-02	3,5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,26E-01	2,06E-02	6,1
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	4,03E-01	4,29E-02	9,4
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,37E-01	2,16E-02	6,3
Tributyltinn (TBT-ion)	3,39E-02	3,73E-02	2,72E-02	1,4
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	1,63E-01	1,68E-01	2,16E-02	7,8
PCB7	1,03E-01	1,07E-01	4,21E-03	25,5
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	2,74E+00	3,37E+00	6,73E+00	0,5
Perfluoroktansyre (PFOA)	1,50E-01	1,61E-01	4,57E+01	0,004

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene i Hundesundet er vist i figur 2. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Som figuren viser, er det for sink partikulært materiale (skipsoppvirvling) som dominere, men også diffusjonsstyrt spredning har betydning. For de PAH-komponenter og PCB er det spredning med organismer som har størst betydning. Det samme gjelder for PFOS.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

G2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i Hundesundet er vist i tabell 3. Beregningene gjøres som vist i 2.3.

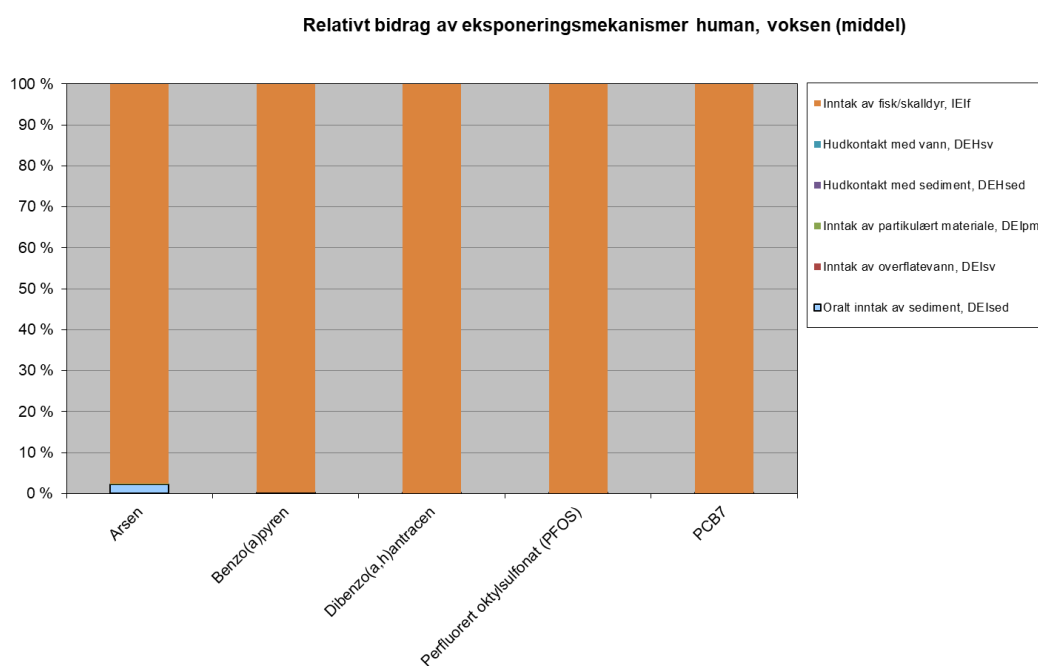
Risikovurderingen for human helse viser at benzo(a)pyren overskrider grense for human risiko 1,1 ganger og dibenzo(a,h)antracsen overskrider 4,9 ganger. PCB overskrider grense for human risiko 62,6 ganger.

Det er analysert for PFOS i en prøve og denne gir 4,5 ganger overskredet verdi for risiko for human helse.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 7 Hundesundet.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	1,82E-04	1,00E-04	1,8
Bly	3,42E-04	3,60E-04	1,0
Kadmium	1,56E-05	5,00E-05	0,3
Kobber	2,99E-04	1,63E-02	0,02
Krom totalt (III + VI)	1,80E-04	5,00E-04	0,4
Kvikksølv	2,30E-06	7,10E-05	0,03
Nikkel	5,03E-04	5,00E-03	0,1
Sink	3,72E-03	5,00E-02	0,1
Naftalen	2,02E-04	4,00E-03	0,05
Acenaftalen	2,51E-06	5,00E-03	0
Acenaften	1,57E-04	5,00E-02	0
Fluoren	1,95E-04	4,00E-03	0,05
Fenantren	1,90E-03	4,00E-03	0,47
Antracen	5,60E-05	4,00E-03	0,01
Fluoranten	1,51E-04	5,00E-03	0,03
Pyren	1,99E-03	5,00E-02	0,04
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,33
Krysen	3,00E-05	5,00E-03	0,01
Benzo(b)fluoranten	5,49E-05	5,00E-04	0,11
Benzo(k)fluoranten	5,49E-05	5,00E-04	0,11
Benzo(a)pyren	5,50E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,49E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	1,59E-05	2,50E-04	0,1
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	6,75E-05	1,50E-05	4,5
PCB7	6,26E-05	1,00E-06	62,6
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	5,49E-04	4,80E-03	0,1
Perfluoroktansyre (PFOA)	2,18E-07	1,50E-04	0,002

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den mest forekommende eksponeringsveien er frigjøring til vann, opptak i fisk og skalldyr og deretter konsum av forurenset fisk og skalldyr. For arsen ser en at eksponering skjer både gjennom konsum av fisk og noe via oralt inntak av sedimenter. Dette viser at fasefordeling for de ulike stoffene er svært avgjørende for spredningsvurderingene.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for arsen og enkelte PAH-forbindelse, PFOS og PCB som overskrider grenseverdien for human helse.

G2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene i tabell 4 at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller og PAH-forbindelser, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet.

Det er for noen av stoffene stor variasjon mellom beregnet porevannskonsentrasjon og målt porevannskonsentrasjon.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,51E-03	4,43E-02	6,0E-04	2,5	73,8
Bly	2,62E-04	7,40E-04	1,3E-03	0,2	0,6
Kadmium	3,03E-06	2,50E-05	2,0E-04	0,0	0,1
Kobber	2,55E-03	2,51E-03	2,6E-03	1,0	1,0
Krom totalt (III + VI)	3,25E-04	7,49E-03	3,4E-03	0,1	2,2
Kvikksølv	3,28E-06	2,06E-05	4,7E-05	0,1	0,4
Nikkel	5,25E-03	1,78E-03	8,6E-03	0,6	0,2
Sink	1,58E-03	3,64E-03	3,4E-03	0,5	1,1
Naftalen	3,22E-04	4,00E-04	2,0E-03	0,2	0,2
Acenaftilen	1,88E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,1	0,0
Acenaften	4,26E-05	1,60E-04	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	5,59E-05	1,20E-04	1,5E-03	0,0	0,1
Fenantren	1,26E-04	1,30E-04	5,1E-04	0,2	0,3
Antracen	6,29E-05	3,00E-05	1,0E-04	0,6	0,3
Fluoranten	1,30E-04	3,20E-05	6,3E-06	20,7	5,1
Pyren	1,82E-04	2,30E-05	2,3E-05	7,9	1,0
Benzo(a)antracen	6,98E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,6	0,4
Krysen	1,34E-05	5,00E-06	7,0E-05	0,2	0,1
Benzo(b)fluoranten	8,43E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(k)fluoranten	9,78E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,6	0,3
Benzo(a)pyren	1,16E-05	5,00E-06	1,7E-07	68,4	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,09E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,8	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	9,00E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,5	8,3
Benzo(ghi)perylene	7,28E-06	5,00E-06	8,2E-07	8,9	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	5,67E-04	2,70E-06	2,0E-07	2837,5	13,5
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	2,46E-05	ia	1,3E-07	189,6	-
Di(2-etylheksyl)ftalat (DEHP)	6,62E-04		1,3E-03	0,5	
Perfluoroktansyre (PFOA)	5,43E-05		9,1E-03	0,0	

ia = ikke analysert

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser ingen overskridelse av grenseverdi for økotoksitet.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra området Hundesundet.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	1	1,0	1
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	15	TEQ < 50 ng/kg	0,3
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	7	20 %	0,35

G3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser tilstandsklasse 3 for metaller og tilstandsklasse 4 for PAH-komponenter. I tillegg er et påvist tilstandsklasse 4 for PCB og TBT. Det er også analysert for PFOA, PFOS og DEHP i en prøve denne viser tilstandsklasse 2 for DEHP og tilstandsklasse 3 for PFOS.

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i Hundesundet viser at flere PAH-forbindelser og PCB overskrider grenseverdi for tillatt spredning. I tillegg er sink så vidt over grenseverdi. Det er også beregnet spredning for PFOS, DEHP og PFOA, hvor PFOS høyere enn tillatt spredning.

Risikovurderingen for human helse viser at PAH-forbindelsene, benzo(a)pyren og dibenzo(a,h)antracen overskrider grense for human helse. Det samme gjelder PCB. Det er analysert for PFOS i en prøve og denne gir 4,5 ganger overskredet verdi for risiko for human helse.

For økologiske effekter viser resultatene i tabell 4 at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller og PAH-forbindelser, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet. Toksisitetstester viser imidlertid ikke overskridelse av grenseverdier for toksisitet.

Vedlegg H

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 8: SANDVIKA

Innhold

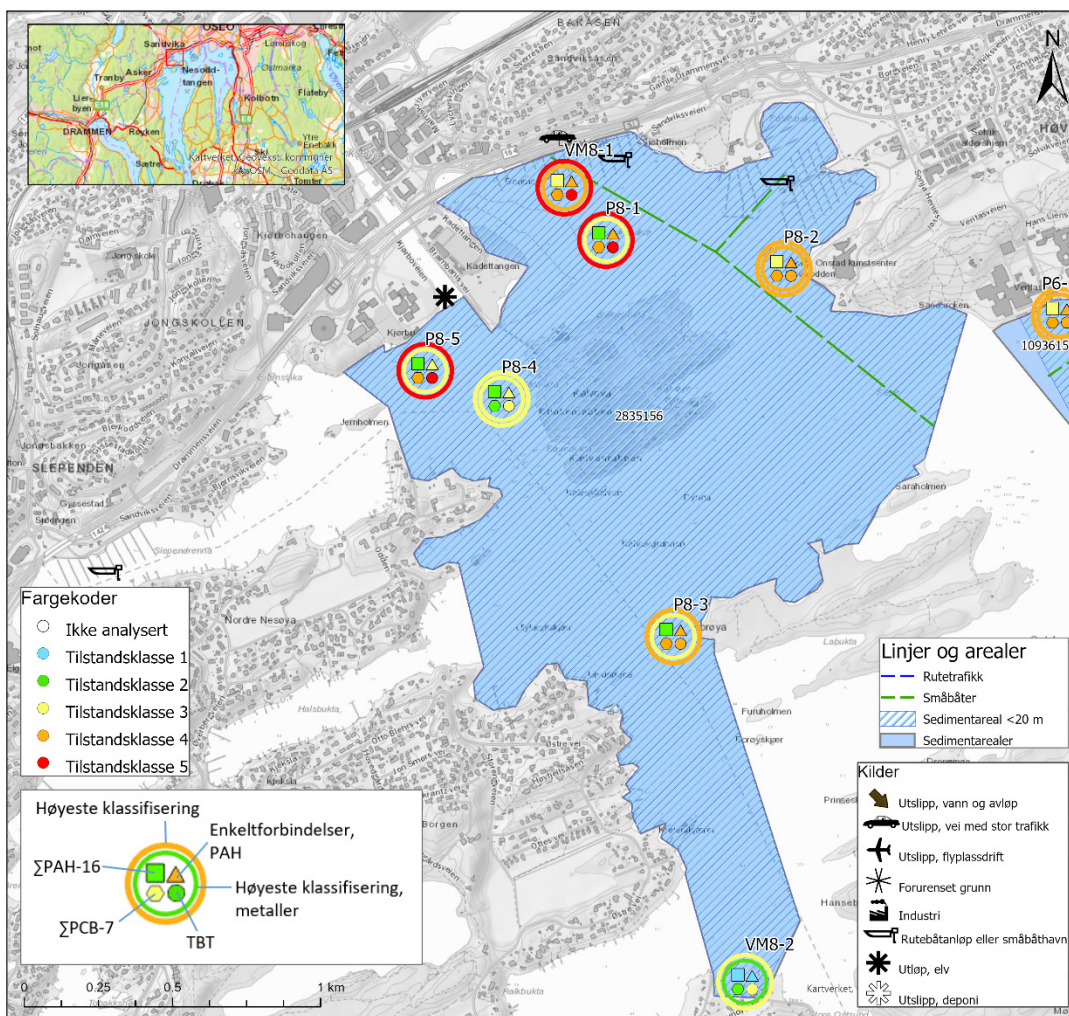
H1 Innledning	2
H1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
H1.2 Parametervalg	3
H2 Beregning av risiko for delområde 8 - Sandvika	3
H2.1 Risiko for spredning	3
H2.2 Risiko for human helse	5
H2.3 Risiko for økologiske effekter	7
H3 Oppsummering	9

H1 Innledning

H1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Innenfor delområde 8 er det mye småbåttrafikk, og det anslås at det er plass til nærmere 2000 båter fordelt på tre båtforeninger. Hele området er grunt (<20 m), og kan derfor påvirkes av oppvirvling fra småbåttrafikk. Området ligger også nært E18 Drammensveien som har mye trafikk. Sandvikselva kan ta med seg forurensning fra områder oppstrøms.

Sedimentundersøkelser viser at det er mest forurenset i de indre deler av delområdet (tilsvarende tilstandsklasse 4 og 5), og at forurensningen trolig stammer fra småbåthavner (påvist høye konsentrasjoner av blant annet kobber og TBT). Forurensningsnivået blir noe lavere lenger ut i delområdet.



Figur 1 Delområde 8 - Sandvika. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

H1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for delområde 8 Sandvika. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 5 Lysaker. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 8
TOC	%	4,44
Areal delområde	m ²	2 456 900
Gjennomsnittlig dyp	m	15
Vannvolum	m ³	36 853 500
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	9 400
Trasélengde for skipsanløp	m	1 934
Kornstørrelse > 63 µm	%	11,64
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffikk	%	0
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	150
Areal <20 m vanddyp	m ²	2 451 916
Areal skipspåvirket areal	m ²	1 225 958
Fraksjon suspendert fsusp = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0128

H2 Beregning av risiko for delområde 8 - Sandvika

H2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i delområde 8 Sandvika er vist i tabell 2. Her er resultatene vist for både total spredning ($F_{\text{tot, skip}}$ beregnet spredning for skipsoppvirvling, biodiffusjon og transport med organismer) og spredning uten skipsoppvirvling ($F_{\text{tot, sed-skip}}$). Resultatene viser at det er en rekke forbindelser som overskrider tillatt spredning fra sedimentene, med de parametere som er benyttet i regnearket. Det er mye trafikk med småbåter i området, og hele delområdet er definert som areal som kan påvirkes av propellersosjon (<20 m). Det er derfor til dels store forskjeller mellom spredning med og uten skipsoppvirvling, men forskjellene varierer for de ulike stoffene grunnet ulik betydning av spredningsmekanismene. Resultatene viser at det er en rekke forbindelser som overskrider tillatt spredning fra sedimentene, med de parametere som er benyttet i regnearket.

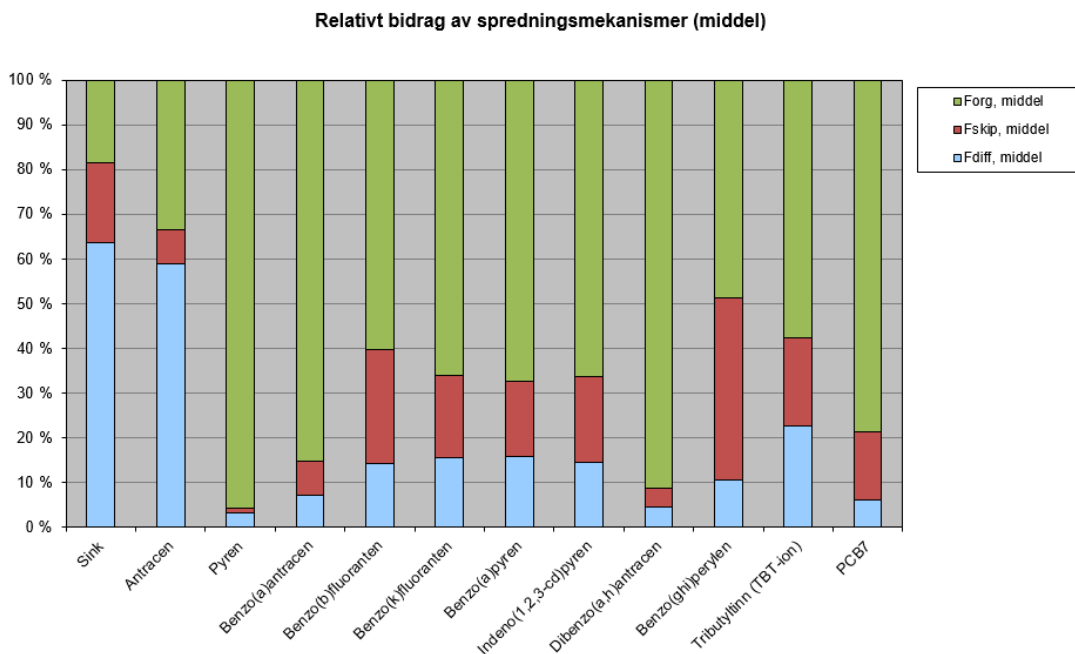
For PAH-forbindelser viser resultatene at det mange forbindelsene overskrider tillatt spredning. Størst overskridelse av tillatt spredning er det for antracen (9,6 ganger) og

pyren (8,2 ganger). Også for sink, TBT og PCB7 er konsentrasjonsnivåene i sedimentene slik at tillatt spredning overskrides (henholdsvis 2,3, 13,4 og 53,3 ganger tillatt nivå).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 8 Sandvika.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverd i for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ maks [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ maks ($mg/m^2/år$)		
Arsen	8,94E+01	9,82E+01	2,16E+02	0,5
Bly	2,31E+02	2,67E+02	7,27E+02	0,4
Kadmium	4,57E+00	5,38E+00	1,06E+01	0,5
Kobber	2,01E+02	2,51E+02	2,75E+02	0,9
Krom totalt (III + VI)	9,18E+01	1,18E+02	1,95E+03	0,1
Kvikksølv	3,12E+00	3,44E+00	5,57E+00	0,6
Nikkel	3,14E+01	4,78E+01	6,44E+01	0,7
Sink	7,95E+02	9,68E+02	4,20E+02	2,3
Naftalen	3,77E+00	3,97E+00	5,73E+00	0,7
Acenaftilen	3,19E-02	4,64E-02	5,35E-02	0,9
Acenaften	1,34E+00	1,42E+00	9,11E+00	0,2
Fluoren	1,16E+00	1,23E+00	7,79E+00	0,2
Fenantren	5,47E+00	5,57E+00	3,31E+01	0,2
Antracen	4,48E-01	4,85E-01	5,07E-02	9,6
Fluoranten	6,60E-01	7,37E-01	1,39E+00	0,5
Pyren	1,16E+01	1,17E+01	1,43E+00	8,2
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,94E-01	1,29E-01	2,3
Krysen	6,67E-02	1,07E-01	2,45E-01	0,4
Benzo(b)fluoranten	2,27E-01	3,05E-01	1,42E-01	2,1
Benzo(k)fluoranten	2,47E-01	3,03E-01	1,78E-01	1,7
Benzo(a)pyren	2,68E-01	3,22E-01	2,62E-01	1,2
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,24E-01	2,77E-01	7,97E-02	3,5
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	4,12E-01	9,07E-02	4,5
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,72E-01	6,15E-02	2,8
Tributyltinn (TBT-ion)	5,62E-01	6,99E-01	5,21E-02	13,4
PCB7	2,29E-01	2,69E-01	5,05E-03	53,3

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene ved Sandvika er vist i figur 2. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Som figuren viser, har stoffegenskapene til miljøgiftene mye å si for spredningsmekanismene. Ved Sandvika er biodiffusjon viktigste spredningsmekanisme for sink og antracen. For begge disse miljøgiftene, er stedsspesifikk K_d -verdi lavere enn sjablongverdien for K_d , noe som gir at spredningen ut til porevannet er høyere enn forventet. Porevannskonsentrasjonen er viktig for biodiffusjonen, og dermed vil den være en viktig spredningsvei. For øvrige parametere med overskridelse av tillatt spredning, er det spredning via organismer som er dominerende.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved middel påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

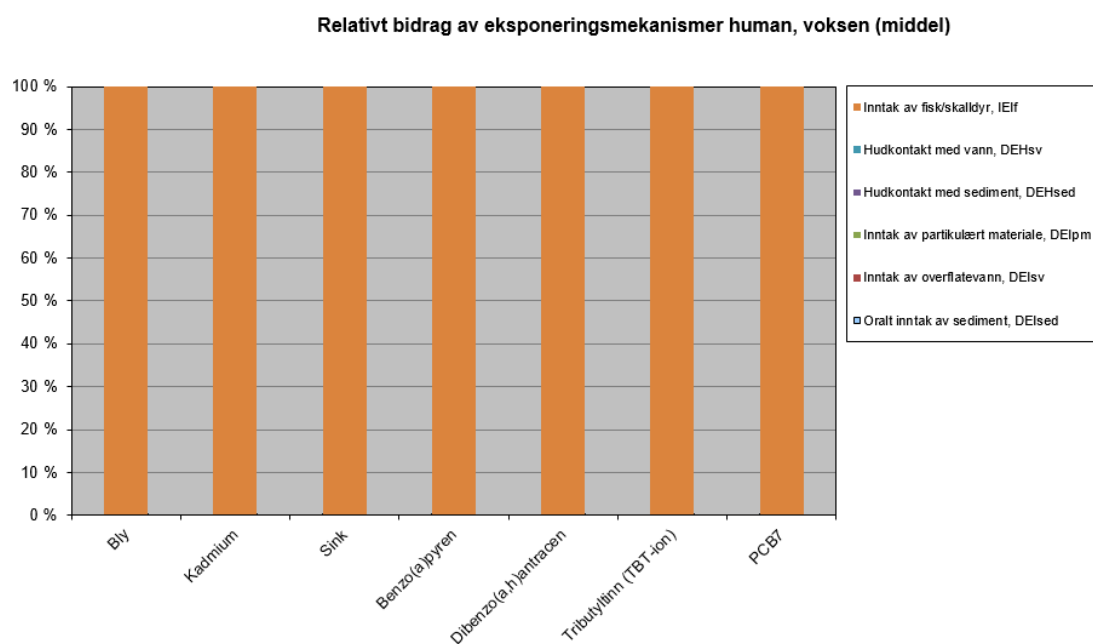
H2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene ved Sandvika er vist i tabell 3. Vurderingene viser at arsen, bly, kadmium, krom, sink, indeno(1,2,3,cd)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grense for total livstidseksponering.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 8 Sandvika

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	5,95E-05	1,00E-04	0,6
Bly	1,27E-02	3,60E-04	35,3
Kadmium	4,49E-04	5,00E-05	9,0
Kobber	3,71E-03	1,63E-02	0,2
Krom totalt (III + VI)	4,42E-04	5,00E-04	0,9
Kvikksølv	4,64E-05	7,10E-05	0,7
Nikkel	1,60E-03	5,00E-03	0,3
Sink	1,17E-01	5,00E-02	2,3
Naftalen	2,68E-04	4,00E-03	0,1
Acenaftalen	2,52E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	1,86E-04	5,00E-02	0,0
Fluoren	2,44E-04	4,00E-03	0,1
Fenantren	2,92E-03	4,00E-03	0,7
Antracen	1,06E-04	4,00E-03	0,0
Fluoranten	2,64E-04	5,00E-03	0,1
Pyren	7,35E-03	5,00E-02	0,1
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	2,99E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	1,20E-04	5,00E-04	0,2
Benzo(k)fluoranten	1,31E-04	5,00E-04	0,3
Benzo(a)pyren	1,42E-04	5,00E-05	2,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,20E-04	5,00E-04	0,2
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	2,64E-04	2,50E-04	1,1
PCB7	1,39E-04	1,00E-06	138,8

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det utelukkende grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Fra human eksponering i Sandvika, er altså opptak gjennom fisk og skalldyr fra området primær eksponeringsvei.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

H2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller (alle utenom nikkel) og PAH-forbindelser (seks forbindelser av 16 analyserte), samt TBT. For en rekke metaller er økologisk risiko høyere grunnet høye porevannskonsentrasjoner av metaller. Til sammenligning vil det ved å benytte sjablongverdier for fordeling mellom sedimenter og porevann kun være arsen og kobber som innenfor dette området vil ha porevannskonsentrasjon som overskrider PNEC (henholdsvis 2,1 og 1,2 ganger høyere enn PNEC, som vist i kolonnen med sammenligning med beregnede konsentrasjoner).

Tabell 4 Sammenligning av målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,24E-03	1,34E-02	6,0E-04	2,1	22,3
Bly	3,35E-04	3,04E-02	1,3E-03	0,3	23,4
Kadmium	8,73E-06	7,33E-04	2,0E-04	0,0	3,7
Kobber	3,08E-03	3,72E-02	2,6E-03	1,2	14,3
Krom totalt (III + VI)	3,32E-04	2,08E-02	3,4E-03	0,1	6,1
Kvikksølv	3,16E-06	4,70E-04	4,7E-05	0,1	10,0
Nikkel	4,23E-03	5,96E-03	8,6E-03	0,5	0,7
Sink	2,49E-03	1,19E-01	3,4E-03	0,7	35,0
Naftalen	2,98E-04	5,30E-04	2,0E-03	0,1	0,3
Acenaftilen	2,32E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,2	0,0
Acenaften	5,54E-05	1,90E-04	3,8E-03	0,0	0,1
Fluoren	3,95E-05	1,50E-04	1,5E-03	0,0	0,1
Fenantren	2,84E-05	2,00E-04	5,1E-04	0,1	0,4
Antracen	2,46E-05	5,70E-05	1,0E-04	0,2	0,6
Fluoranten	2,74E-05	5,60E-05	6,3E-06	4,3	8,9
Pyren	6,18E-05	8,50E-05	2,3E-05	2,7	3,7
Benzo(a)antracen	1,96E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,2	0,4
Krysen	4,53E-06	5,00E-06	7,0E-05	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranten	4,20E-06	1,10E-05	1,7E-05	0,2	0,6
Benzo(k)fluoranten	3,07E-06	1,20E-05	1,7E-05	0,2	0,7
Benzo(a)pyren	2,81E-06	1,30E-05	1,7E-07	16,5	76,5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	9,88E-07	1,10E-05	2,7E-06	0,4	4,1
Dibenzo(a,h)antracen	3,82E-07	5,00E-06	6,0E-07	0,6	8,3
Benzo(ghi)perylene	3,15E-06	5,00E-06	8,2E-07	3,8	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	5,18E-03	4,48E-05	2,0E-07	25884,1	224,0

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser overskridelser av toksisitet for test med porevann på *Skeletonema*. Helse sedimenttest, som skal gjøres i en trinn 2 risikovurdering, har dødelighet som er innenfor grenseverdien.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter ved Sandvika.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	2	1,0	2,0
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	34	TEQ < 50 ng/kg	0,7
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	0	20 %	0,3

H3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er mest forurensset i de indre deler av delområde 8 (tilsvarende tilstandsklasse 4 og 5), og at forurensningen trolig stammer fra småbåthavner (påvist høye konsentrasjoner av blant annet kobber og TBT). Forurensningsnivået blir noe lavere lenger ut i delområdet.

For risiko for spredning er det en forbindelse som overskrider tillatt spredning fra sedimentene. For PAH-forbindelser viser resultatene at mange av forbindelsene overskrider tillatt spredning. Størst overskridelse av tillatt spredning er det for antracen (9,6 ganger) og pyren (8,2 ganger). Også for sink, TBT og PCB-7 er konsentrasjonsnivåene i sedimentene slik at tillatt spredning overskrides (henholdsvis 2,3, 13,4 og 53,3 ganger tillatt nivå).

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene viser at arsen, bly, kadmium, krom, sink, indeno(1,2,3,cd)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB-7 overskrider grense for total livstidseksposering.

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller (alle utenom nikkel) og PAH-forbindelser (seks forbindelser av 16 analyserte), samt TBT. For toksisitetstestene viser resultatene at test med *Skeletonema* overskrider grenseverdi for økotoksitet.

Vedlegg I

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 9: LEANGBUKTA

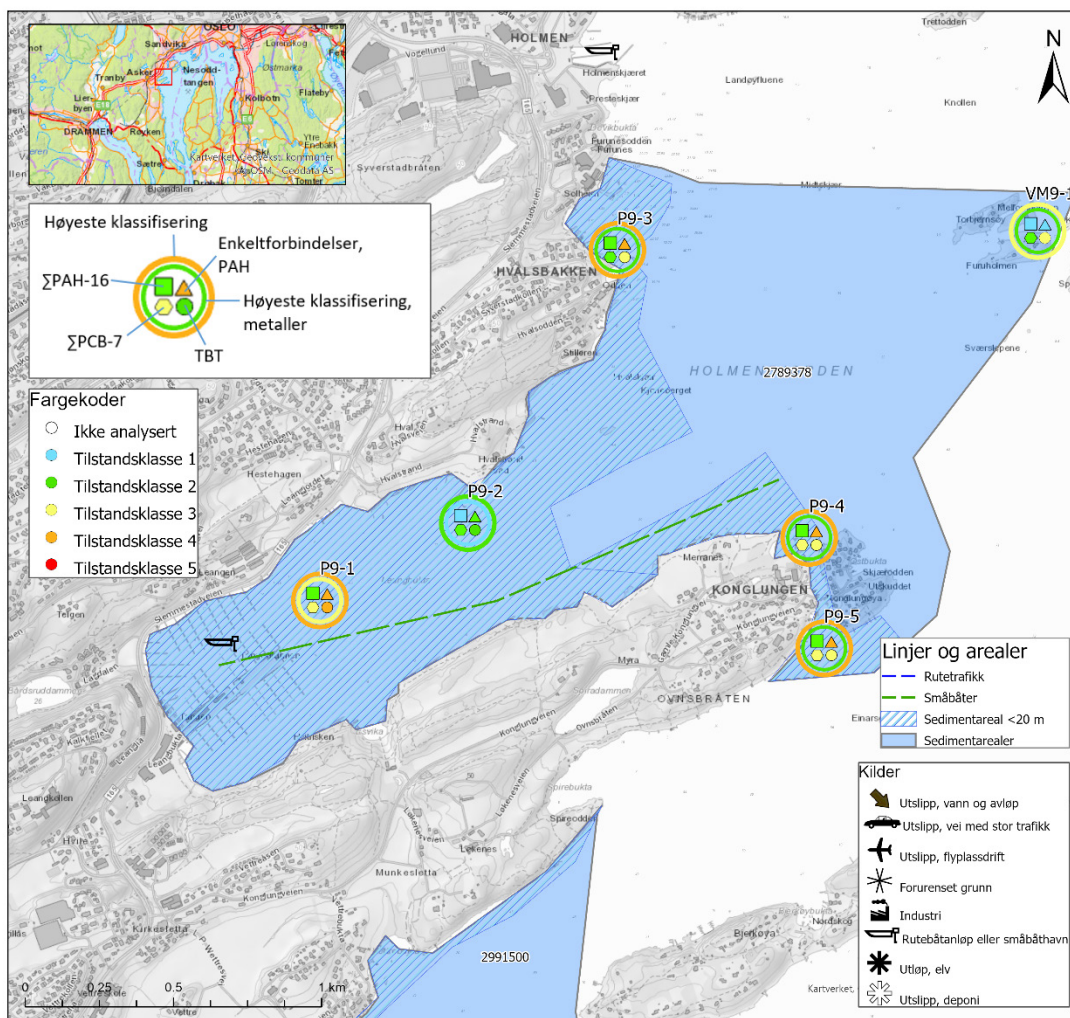
Innhold

I1	Innledning	2
I1.1	Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
I1.2	Parametervalg for delområdet	3
I2	Beregning av risiko for delområde 9 - Leangbukta	3
I2.1	Risiko for spredning	3
I2.2	Risiko for human helse	6
I2.3	Risiko for økologiske effekter	7
I3	Oppsummering	9

I1 Innledning

I1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Delområde 9 omfatter Leangbukta og et lite område utenfor bukta (se Figur 1). Området er avgrenset av bebygde områder i nord, i vest og delvis i sør, og mot sjø i øst. Området er ikke påvirket av noen direkte utslipp, men det ligger en småbåthavn innerst i bukta. Sedimentundersøkelser viser at sedimentet er forurenset tilsvarende tilstandsklasse 4 (TK4) innerst i bukta og ved land ytterst ved Konglungen og ved Hvalsbakken. Midt i bukta og ytterst i området tilsvarer tilstanden i sedimentet, henholdsvis, TK2 og TK3. Der sedimentet er forurenset tilsvarende TK4 skyldes dette for de fleste punktene aromatiske organiske forbindelser (PAH).



Figur 1 Delområde 9 Leangbukta. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

I1.2 Parametervalg for delområdet

Parametere som er benyttet i risikovurderingen for Leangbukta er vist i tabell 1. Forklaring og betydning av den enkelte parameter er gitt i kap. 2.4. i rapporten.

Tabell 1 Verdier brukt for parametere i risikovurderingsverktøyet for delområde 9 Leangbukta. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 9
TOC	%	1,76
Areal delområde	m ²	2 789 378
Gjennomsnittlig dyp	m	20
Vannvolum	m ³	55 787 560
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	3 750
Trasélengde for skipsanløp	m	1 999
Kornstørrelse > 63 µm	%	49
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffikk	%	0 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	150
Areal <20 m vanddyb	m ²	1 344 667
Areal skipspåvirket areal	m ²	672 333
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,011

Trinn 1 risikovurdering er beskrevet i datarapporten (NGI, 2020). Foreliggende vedlegg beskriver beregnet spredning, risiko for human helse og risiko for økologiske effekter (trinn 2, men med steds spesifikke verdier for fordelingskoeffisienten mellom vann og sediment (K_d) fordi konsentrasjonen av miljøgifter er målt i porevann).

I2 Beregning av risiko for delområde 9 - Leangbukta

I2.1 Risiko for spredning

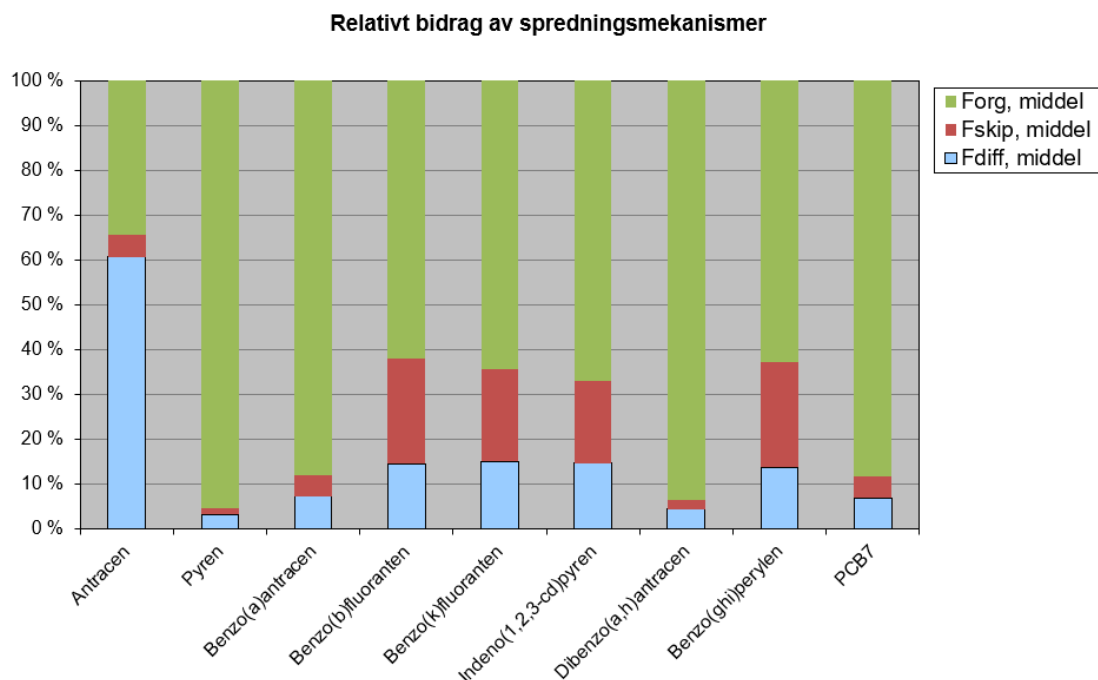
Risikovurdering for spredning fra sedimentet i Leangbukta er vist i tabell 2. Tabellen viser beregnet spredning fra biodiffusjon (F_{diff}), som følge av transport via organismer (F_{org}), og som følge av oppvirvling fra skip (F_{skip}). Den totale spredningen er summert (F_{tot}) og sammenlignet med spredning som ville vært dersom konsentrasjonen i sedimentet tilfredsstilte trinn 1 i risikovurderingen, det vil si at konsentrasjonene var lavere enn grensen mellom TK2 og 3. Spredning som ville vært med denne konsentrasjonen betegnes som "tillatt spredning". Resultatene viser at det er flere forbindelser som

overskrider tillatt spredningen. I hovedsak er det de større PAHene og PCB7 som overskrider tillatt spredning. Ingen av metallene eller TBT overskrider tillatt spredning (tabell 2). Overskridelsen er størst for PCB7 (9,5), deretter følger pyren (5,3).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 9 Leangbukta.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F _{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	F _{tot, sed-skip} [mg/m ²]	F _{tot, skip} (mg/m ² /år)		
Arsen	2,43E+02	2,56E+02	5,46E+02	0,5
Bly	1,41E+02	1,55E+02	7,80E+02	0,2
Kadmium	6,35E-01	6,95E-01	1,52E+01	0,0
Kobber	9,68E+01	1,14E+02	2,35E+02	0,5
Krom totalt (III + VI)	5,16E+01	6,43E+01	1,38E+03	0,0
Kvikksølv	7,62E-01	8,33E-01	3,36E+00	0,2
Nikkel	1,80E+01	2,75E+01	3,98E+01	0,7
Sink	1,84E+02	2,22E+02	2,65E+02	0,8
Naftalen	2,70E+00	2,81E+00	1,39E+01	0,2
Acenaftilen	3,19E-02	3,64E-02	1,08E-01	0,3
Acenaften	1,41E+00	1,47E+00	2,36E+01	0,1
Fluoren	1,01E+00	1,05E+00	1,97E+01	0,1
Fenantren	4,38E+00	4,43E+00	2,86E+01	0,2
Antracen	3,22E-01	3,39E-01	6,98E-02	4,9
Fluoranten	3,89E-01	4,37E-01	7,67E-01	0,6
Pyren	3,01E+00	3,05E+00	5,78E-01	5,3
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,86E-01	1,28E-01	2,2
Krysen	6,67E-02	8,50E-02	2,46E-01	0,3
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,35E-01	9,67E-02	1,4
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,30E-01	1,03E-01	1,3
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,31E-01	1,35E-01	1,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,25E-01	5,19E-02	2,4
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	4,03E-01	1,20E-01	3,4
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,33E-01	5,71E-02	2,3
Tributyltinn (TBT-ion)	6,66E-02	7,27E-02	8,12E-02	0,9
PCB7	8,14E-02	8,55E-02	9,03E-03	9,5

Av de forskjellige spredningsmekanismene dominerer spredning som følge av transport med organismer (F_{org}), unntatt for antracenen der spredning via biodiffusjon (F_{diff}) dominerer som mekanisme. Det er forholdsvis liten andel av spredningen som skyldes oppvirvling som følge av skipstransport (F_{skip}).



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

I2.2 Risiko for human helse

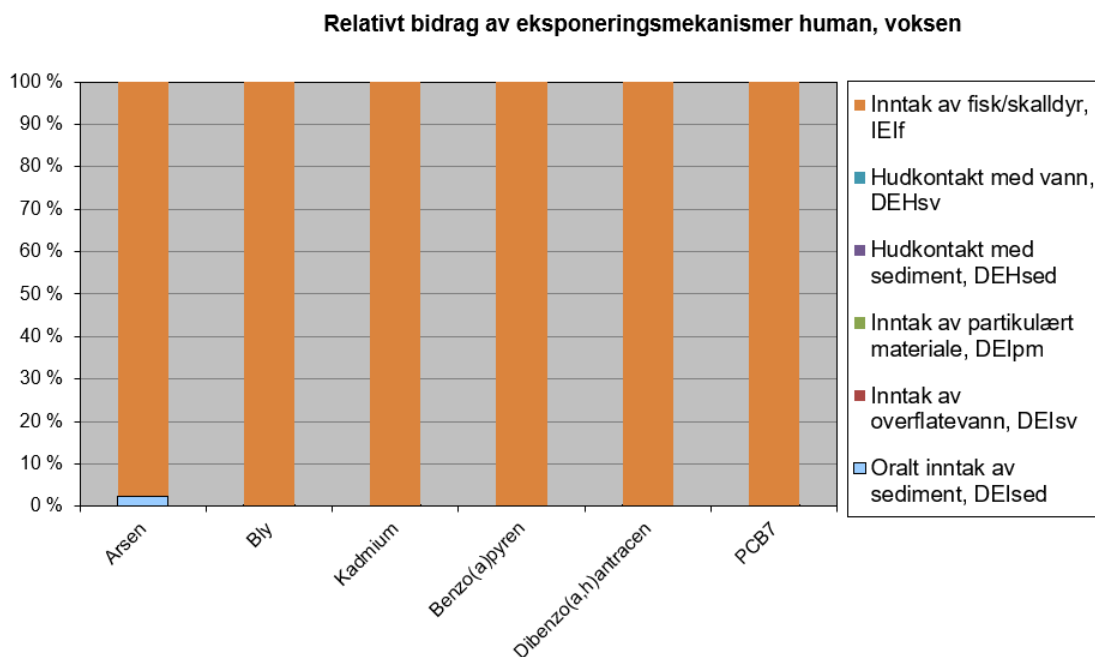
Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i delområde 9 Leangbukta er vist i tabell 3. Risikoen er her vist for eksponering av barn. Beregningene gjøres som vist i kap. 4.2 i rapporten.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 9 Leangbukta.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	1,50E-04	1,00E-04	1,5
Bly	7,76E-03	3,60E-04	21,6
Kadmium	6,24E-05	5,00E-05	1,2
Kobber	1,79E-03	1,63E-02	0,1
Krom totalt (III + VI)	2,56E-04	5,00E-04	0,5
Kvikksølv	1,14E-05	7,10E-05	0,2
Nikkel	9,27E-04	5,00E-03	0,2
Sink	2,71E-02	5,00E-02	0,5
Naftalen	1,92E-04	4,00E-03	0,0
Acenaftilen	2,51E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	1,96E-04	5,00E-02	0,0
Fluoren	2,11E-04	4,00E-03	0,1
Fenantren	2,34E-03	4,00E-03	0,6
Antracen	7,65E-05	4,00E-03	0,0
Fluoranten	1,56E-04	5,00E-03	0,0
Pyren	1,90E-03	5,00E-02	0,0
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	2,99E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,47E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,47E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	3,13E-05	2,50E-04	0,1
PCB7	4,94E-05	1,00E-06	49,4

For human helse er det metallene arsen, bly og kadmium som overskrider trygg grense for eksponering, 10% MTR, mens for de polyaromatiske hydrokarbon forbindelsene er det benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7. Den høyeste overskridelsen er for PCB7 som er 49,4 ganger høyere enn trygg eksponering, nest høyest er for bly som er på 21,6 ganger trygg eksponering.

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det nesten utelukket grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den mest forekommende eksponeringsveien er via opptak av miljøgifter til fisk og skalldyr og deretter humant konsum av forurenset fisk og skalldyr. For arsen utgjør også eksponering gjennom oralt inntak av sediment en liten del av livstidseksponeringen.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

12.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for alle metallene unntatt sink, PAH-forbindelser, samt TBT. De målte porevannskonsentrasjonene gir vesentlig høyere overskridelse av PNEC sammenlignet med de beregnede porevannskonsentrasjonene. Konsentrasjonene i porevannet i sedimentet ble analysert på ufiltrerte prøver og risikoen forbundet med målte porevannskonsentrasjoner er derfor konservativ. Dette gjelder spesielt for metallene og de større PAH-forbindelsene som er hardt bundet til partikler.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med konsentrasjoner som er antatt å gi ingen økologiske effekter (Predicted No Effect Concentrations; PNEC).

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grense-verdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,28E-03	3,65E-02	6,0E-04	2,1	60,8
Bly	1,81E-04	1,86E-02	1,3E-03	0,1	14,3
Kadmium	7,82E-07	1,02E-04	2,0E-04	0,0	0,5
Kobber	1,64E-03	1,79E-02	2,6E-03	0,6	6,9
Krom totalt (III + VI)	2,56E-04	1,17E-02	3,4E-03	0,1	3,4
Kvikksølv	1,27E-06	1,15E-04	4,7E-05	0,0	2,4
Nikkel	3,93E-03	3,41E-03	8,6E-03	0,5	0,4
Sink	9,01E-04	2,75E-02	3,4E-03	0,3	8,1
Naftalen	2,19E-04	3,80E-04	2,0E-03	0,1	0,2
Acenaftilen	2,22E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,2	0,0
Acenaften	5,57E-05	2,00E-04	3,8E-03	0,0	0,1
Fluoren	3,34E-05	1,30E-04	1,5E-03	0,0	0,1
Fenantren	6,57E-05	1,60E-04	5,1E-04	0,1	0,3
Antracen	3,11E-05	4,10E-05	1,0E-04	0,3	0,4
Fluoranten	7,50E-05	3,30E-05	6,3E-06	11,9	5,2
Pyren	1,01E-04	2,20E-05	2,3E-05	4,4	1,0
Benzo(a)antracen	4,50E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,4	0,4
Krysen	7,87E-06	5,00E-06	7,0E-05	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranten	6,70E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(k)fluoranten	5,88E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,3	0,3
Benzo(a)pyren	5,99E-06	5,00E-06	1,7E-07	35,2	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,71E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,6	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	6,70E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,1	8,3
Benzo(ghi)perylene	5,42E-06	5,00E-06	8,2E-07	6,6	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	7,66E-04	2,0E-07	2,0E-07	3830,9	26,6

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksistetester viser ingen overskridelser av grenseverdiene for toksisitet.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra Leangbukta.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	0,5	1,0	0,5
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	27	TEQ < 50 ng/kg	0,5
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	3	20 %	0,2

I3 Oppsummering

Som figurene og tabellene over viser så viser risikovurderingen av spredning at enkelte større PAHer vil spres over tillatt spredning, eller det som spredningen ville vært om konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentet var tilsvarende grenen mellom TK2 og 3 (Tabell 2). For spredningen så er det i hovedsak spredning via organismer som er viktigst mekanisme, unntatt for arsen der spredning via biodiffusjon dominerer (Figur 2).

For human helse utpeker bly og PCB7 seg som de som gir størst risiko og overskridelse av anbefalt inntak av miljøgiften fra forurenset sediment (Tabell 3). I all hovedsak kommer denne eksponeringen fra inntak av sjømat med miljøgifter (Figur 2).

Det er til foreliggende risikovurdering vist frem både beregnede og målte konsentrasjoner av miljøgifter i porevann. Analysene av porevannskonsentrasjoner ble gjort på ufiltrerte prøver og er derfor konservative. Tabell 5 viser også dette. Overskridelsene av målt porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC er størst for metallene og de største PAHene, det vil si de forbindelsene som er sterkest bundet til partikler.

Risikovurderingen viser at for delområde 9 Leangbukta så er det risiko for spredning over tillatt spredning, risiko for human helse og økologisk risiko. De forbindelsene som utgjør størst risiko er de større PAHene (spredning og økologisk effekter), og bly og PCB7 (human helse).

Vedlegg J

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 10: MIDT I OSLOFJORDEN

Innhold

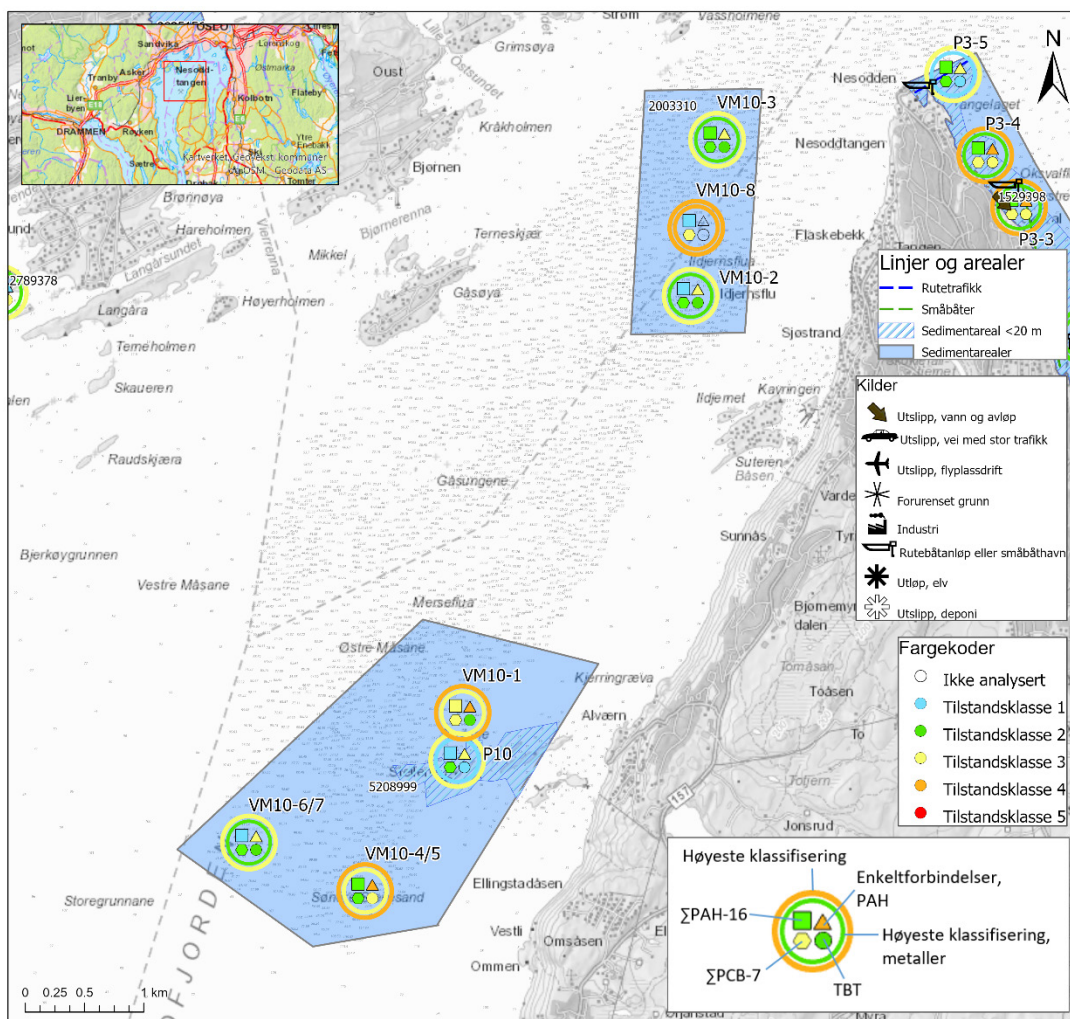
J1	Innledning	2
	J1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
	J1.2 Parametervalg	3
J2	Beregning av risiko i delområde 10 – Midt i Oslofjorden	3
	J2.1 Risiko for spredning	3
	J2.2 Risiko for human helse	6
	J2.3 Risiko for økologiske effekter	8
J3	Oppsummering	10

J1 Innledning

J1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Midt i Oslofjorden er det ikke kartfestet noen spesifikke kildeområder. I grunnforurensningsdatabasen ligger det inne informasjon om krigsetterlatenskaper på Steilene, men lokaliteten er betegnet som lite forurenset. I følge Fagrådet har det også vært et verft på Steilene.

Stasjonene for prøvetaking kommer stort sett fra uttrekk fra vannmiljø, men en av stasjonene er prøvetatt i 2020 (P10). Forurensningssituasjonen er moderat (tilsvarende tilstandsklasse 2-3), men med noen stasjoner med høyere konsentrasjonsnivåer av metaller og PAH-forbindelser (tilstandsklasse 4).



Figur 1 Delområde 10 – Midt i Oslofjorden. Tilstandsklassifisering for prøver i området er etter grenser gitt i Veileder M-608|2016.

J1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for delområde 10 Midt i Oslofjorden. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 10 Midt i Oslofjorden. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 10
TOC	%	0,54
Areal delområde	m ²	7 212 309
Gjennomsnittlig dyp	m	50
Vannvolum	m ³	360 615 450
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	84
Trasélengde for skipsanløp	m	237
Kornstørrelse > 63 µm	%	94,7
Type sediment	-	Sand
Andel rutetraffic	%	100
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	200
Areal <20 m vanddyb	m ²	425 806
Areal skipspåvirket areal	m ²	212 903
Fraksjon suspendert fsusp = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,001

J2 Beregning av risiko i delområde 10 – Midt i Oslofjorden

J2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i delområde 10 Midt i Oslofjorden er vist i tabell 2. Som tabellen viser, er det flere parametere som er omfattet i dette området enn i øvrige delområder. Det kommer av at dataene i stor grad er hentet ut fra Vannmiljø, og at resultatene i Vannmiljø også stammer fra undersøkelser som også har analysert parametere som faller utenfor "standard sedimentpakke", som er det undersøkelsen oppsummert av NGI (2021) har analysert.

Resultatene for spredning er vist for både total spredning ($F_{tot, skip}$ beregnet spredning for skipsoppvirvling, biodiffusjon og transport med organismer) og spredning uten skipsoppvirvling ($F_{tot, sed-skip}$). Forskjellen i dette området er ikke så stor, siden det er et lite areal som er definert som skipspåvirket, samtidig som om det er estimert et lavt antall anløp per år.

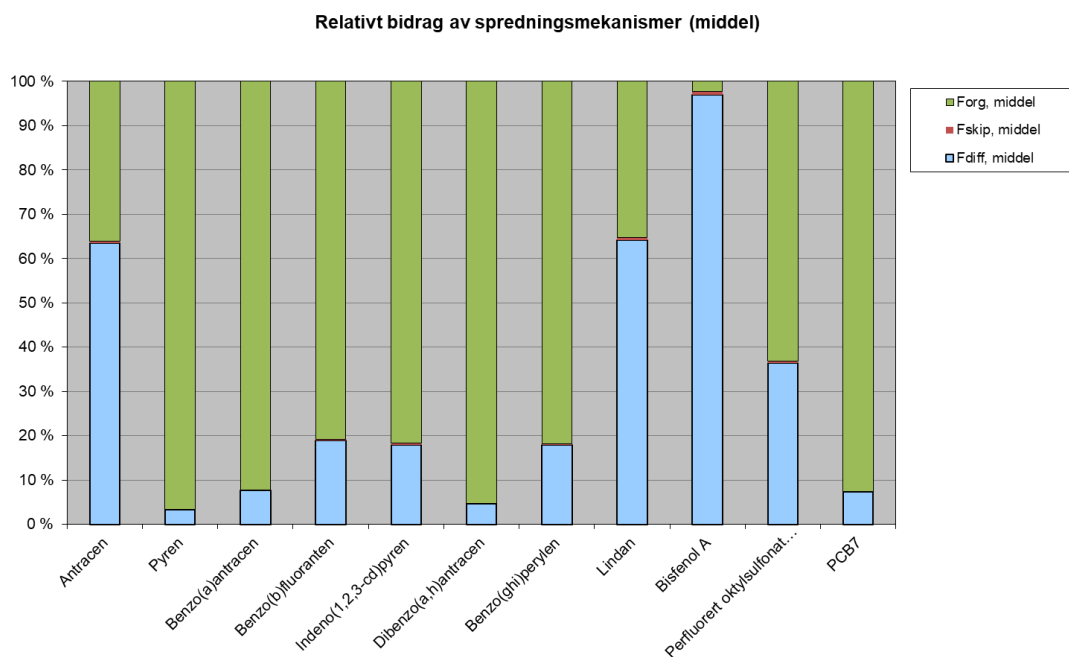
Resultatene viser at det er en rekke forbindelser som overskrider tillatt spredning fra sedimentene, med de parametre som er benyttet i regnearket. Ingen metaller overskrider tillatt spredning i dette området. Dette kan ha å gjøre med at porevannsprøven i området er filtrert før analyse, da det var synlig partikulært materiale i vannet.

For PAH-forbindelser viser resultatene at det mange forbindelsene (7 av 16 analyserte forbindelser) overskrider tillatt spredning. Overskridelsene er dog ikke så høye som i andre områder (maks 5,8 ganger for pyren). Tillatt spredning overskrides også for TBT, PCB7, lindan, bisfenol A og PFOS. Det er ikke gjort analyse av organiske miljøgifter i porevannet, fordi det ikke var mulig å ekstrahere tilstrekkelig mengde porevann for å gjennomføre analyse.

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 10 Midt i Oslofjorden.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ ($mg/m^2/år$)		
Arsen	8,27E+01	8,31E+01	1,11E+02	0,7
Bly	1,14E+00	1,24E+00	5,87E+00	0,2
Kadmium	5,77E-01	5,80E-01	1,32E+01	0,0
Kobber	7,89E+01	7,95E+01	2,20E+02	0,4
Krom totalt (III + VI)	5,38E+01	5,43E+01	8,81E+02	0,1
Kvikksølv	6,63E-03	7,55E-03	1,36E-02	0,6
Nikkel	2,51E+01	2,54E+01	2,91E+01	0,9
Sink	3,77E+01	3,82E+01	3,95E+01	1,0
Naftalen	6,33E+00	6,36E+00	2,51E+01	0,3
Acenaftylene	2,27E+00	2,28E+00	1,36E+01	0,2
Acenaften	2,78E+00	2,79E+00	2,05E+01	0,1
Fluoren	1,18E+00	1,18E+00	1,58E+01	0,1
Fenantren	7,78E+00	7,79E+00	3,69E+01	0,2
Antracen	7,76E-01	7,79E-01	1,62E-01	4,8
Fluoranten	2,24E+00	2,24E+00	4,59E+00	0,5
Pyren	4,73E+01	4,73E+01	8,20E+00	5,8
Benzo(a)antracen	9,29E-01	9,30E-01	3,17E-01	2,9
Krysen	3,51E-01	3,52E-01	7,90E-01	0,4
Benzo(b)fluoranten	3,49E-01	3,50E-01	2,28E-01	1,5
Benzo(k)fluoranten	2,01E-01	2,01E-01	2,30E-01	0,9
Benzo(a)pyren	2,43E-01	2,44E-01	2,98E-01	0,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	8,75E-02	8,79E-02	3,53E-02	2,5
Dibenzo(a,h)antracen	8,24E-02	8,24E-02	4,81E-02	1,7
Benzo(ghi)perylene	2,58E-01	2,58E-01	1,07E-01	2,4
Tributyltinn (TBT-ion)	8,73E+00	8,75E+00	3,17E+01	0,3
PCB7	8,15E-02	8,16E-02	2,48E-02	3,3
Lindan	1,37E-01	1,38E-01	1,47E-02	9,4
Heksaklorbenzen	2,20E-02	2,20E-02	3,93E-01	0,1
Pentaklorbenzen	2,03E-02	2,04E-02	1,03E+01	0,0
Pentaklorfenol	6,89E-02	6,93E-02	3,08E+00	0,0
Bisfenol A	1,45E+01	1,46E+01	1,21E+00	12,0
Tetrabrombisfenol A	1,54E-02	1,55E-02	1,08E+00	0,0
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	6,47E-01	6,50E-01	1,40E-01	4,7
Klorparafiner (mellomkjedete)	1,53E-04	1,60E-04	3,13E-01	0,0
Tris(2-kloretyl)fosfat (TCEP, fosfororganisk flammehemmer)	3,72E+00	3,75E+00	4,38E+02	0,0

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene midt i Oslofjorden er vist i figur 2. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. I dette området er transport med organismer den viktigste spredningsmekanisme for de fleste parametere, mens biodiffusjon dominerer for antracen, lindan og bisfenol A. Spredning av løste stoffer dominerer over partikulært bundne miljøgifter.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved middel påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

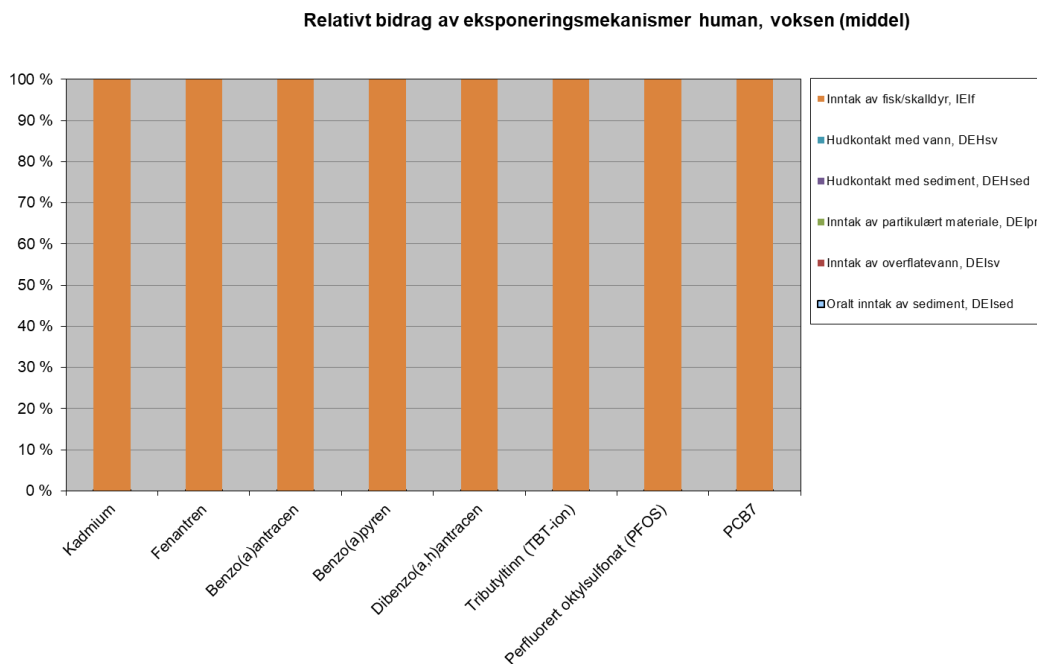
J2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene midt i Oslofjorden er vist i tabell 3. Vurderingene viser at kadmium, fenantren, benzo(a)antracen, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen, TBT, PCB7 og PFOS overskrider grense for tillatt livstidsdose.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 10 Midt i Oslofjorden.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	6,01E-05	1,00E-04	0,6
Bly	8,76E-05	3,60E-04	0,2
Kadmium	5,67E-05	5,00E-05	1,1
Kobber	1,46E-03	1,63E-02	0,1
Krom totalt (III + VI)	2,74E-04	5,00E-04	0,5
Kvikksølv	3,40E-07	7,10E-05	0,0
Nikkel	1,29E-03	5,00E-03	0,3
Sink	5,63E-03	5,00E-02	0,1
Naftalen	4,50E-04	4,00E-03	0,1
Acenaftilen	1,78E-04	5,00E-03	0,0
Acenaften	3,86E-04	5,00E-02	0,0
Fluoren	2,47E-04	4,00E-03	0,1
Fenantren	4,16E-03	4,00E-03	1,0
Antracen	1,84E-04	4,00E-03	0,0
Fluoranten	8,94E-04	5,00E-03	0,2
Pyren	2,99E-02	5,00E-02	0,6
Benzo(a)antracen	5,61E-04	5,00E-04	1,1
Krysen	1,57E-04	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	1,85E-04	5,00E-04	0,4
Benzo(k)fluoranten	1,06E-04	5,00E-04	0,2
Benzo(a)pyren	1,29E-04	5,00E-05	2,6
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4,70E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	5,14E-05	5,00E-05	1,0
Benzo(ghi)perylen	1,38E-04	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	4,10E-03	2,50E-04	16,4
PCB7	4,94E-05	1,00E-06	49,4
Lindan	3,19E-05	1,00E-04	0,3
Heksaklorbenzen	1,36E-05	1,60E-05	0,9
Pentaklorbenzen	8,89E-06	6,50E-05	0,1
Pentaklorfenol	1,06E-05	3,00E-04	0,0
Bisfenol A	2,21E-04	1,00E-01	0,0
Tetrabrombisfenol A	4,51E-06	1,00E-01	0,0
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	2,69E-04	1,50E-05	17,9
Klorparafiner (mellomkjedete)	4,30E-08	4,00E-04	0,0
Tris(2-kloretyl)fosfat (TCEP, fosfororganisk flammehemmer)	5,17E-06	1,20E-02	0,0

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det utelukkende grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3).



Figur 3. Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

J2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller (alle utenom nikkel) og PAH-forbindelser (seks forbindelser av 16 analyserte), samt TBT. For en rekke metaller er økologisk risiko høyere grunnet høye porevannskonsentrasjoner av metaller. Til sammenligning vil det ved å benytte sjablongverdier for fordeling mellom sedimenter og porevann kun være arsen og kobber som innenfor dette området vil ha porevannskonsentrasjon som overskrider PNEC (henholdsvis 2,1 og 1,2 ganger høyere enn PNEC, som vist i kolonnen med sammenligning med beregnede konsentrasjoner). Dette er til tross for at porevannet er filtrert før porevannsanalyse.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.
 Det foreligger kun målte porevannskonsentrasjoner for metaller.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	2,03E-03	1,24E-02	6,0E-04	3,4	20,7
Bly	1,92E-04	1,50E-04	1,3E-03	0,1	0,1
Kadmium	7,43E-07	9,26E-05	2,0E-04	0,0	0,5
Kobber	1,22E-03	1,46E-02	2,6E-03	0,5	5,6
Krom totalt (III + VI)	3,37E-04	1,22E-02	3,4E-03	0,1	3,6
Kvikksølv	2,85E-06	1,00E-06	4,7E-05	0,1	0,0
Nikkel	4,86E-03	4,76E-03	8,6E-03	0,6	0,6
Sink	1,00E-03	5,64E-03	3,4E-03	0,3	1,7
Naftalen	8,90E-04	ia	2,0E-03	0,4	-
Acenaftalen	3,56E-04		1,3E-03	0,3	
Acenaften	3,93E-04		3,8E-03	0,1	
Fluoren	1,52E-04		1,5E-03	0,1	
Fenantren	2,84E-04		5,1E-04	0,6	
Antracen	9,87E-05		1,0E-04	1,0	
Fluoranten	1,90E-04		6,3E-06	30,1	
Pyren	3,45E-04		2,3E-05	15,0	
Benzo(a)antracen	1,71E-05		1,2E-05	1,4	
Krysen	2,63E-05		7,0E-05	0,4	
Benzo(b)fluoranten	1,69E-05		1,7E-05	1,0	
Benzo(k)fluoranten	9,73E-06		1,7E-05	0,6	
Benzo(a)pyren	1,18E-05		1,7E-07	69,4	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4,30E-06		2,7E-06	1,6	
Dibenzo(a,h)antracen	1,04E-06		6,0E-07	1,7	
Benzo(ghi)perylene	1,26E-05		8,2E-07	15,4	
Tributyltinn (TBT-ion)	6,96E-04		2,0E-07	3479,6	
Lindan	2,50E-05		2,0E-06	12,5	
Heksaklorbenzen	3,30E-07		1,3E-05	0,0	
Pentaklorbenzen	1,71E-06		7,0E-07	2,4	
Pentaklorfenol	1,40E-05		4,0E-04	0,0	
Bisfenol A	3,36E-03		1,5E-04	22,4	
Tetrabrombisfenol A	3,73E-06		2,5E-04	0,0	
Perfluorert oktylsulfonat (PFOS)	9,81E-05		1,3E-07	755,0	
Klorparafiner (mellomkjedete)	3,89E-08		5,0E-05	0,0	
Tris(2-kloretyl)fosfat (TCEP, fosfororganisk flammehemmer)	1,03E-03		6,5E-03	0,2	

ia = ikke analysert

Det foreligger ikke ytterligere toksisitetstester for dette delområdet.

J3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er moderate forurensningsnivåer påvist i området (tilstandsklasse 2-3), men at noen punkter har påvist høyere konsentrasjonsnivåer (tilsvarende tilstandsklasse 4) for metaller og PAH-forbindelser. I dette området er porevannet kun analysert for metaller, og på filtrert prøve.

Resultater fra risikovurderinger det er overskridelser av akseptabel spredning for sju PAH-forbindelser, TBT, PCB7, lindan, bisfenol A og PFOS. Overskridelsene er ikke så høye som det som sees i andre delområder.

For vurdering av risiko for human helse overskrider kadmium, fenantren, benzo(a)antracen, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen, TBT, PCB7 og PFOS grense for tillatt livstidsdose. For TBT og PCB7 er overskridelsene høye (henholdsvis 16 og 49 ganger tillatt nivå), mens for de andre forbindelsene er overskridelsene <5 ganger tillatt nivå.

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller (alle utenom nikkel). Resultatene viser også en beregnet overskridelse av PAH-forbindelser (seks forbindelser av 16 analyserte) og TBT. Det er ikke toksisitetstester på sedimentet fra dette området.

Vedlegg K

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 12: BLAKSTAD

Innhold

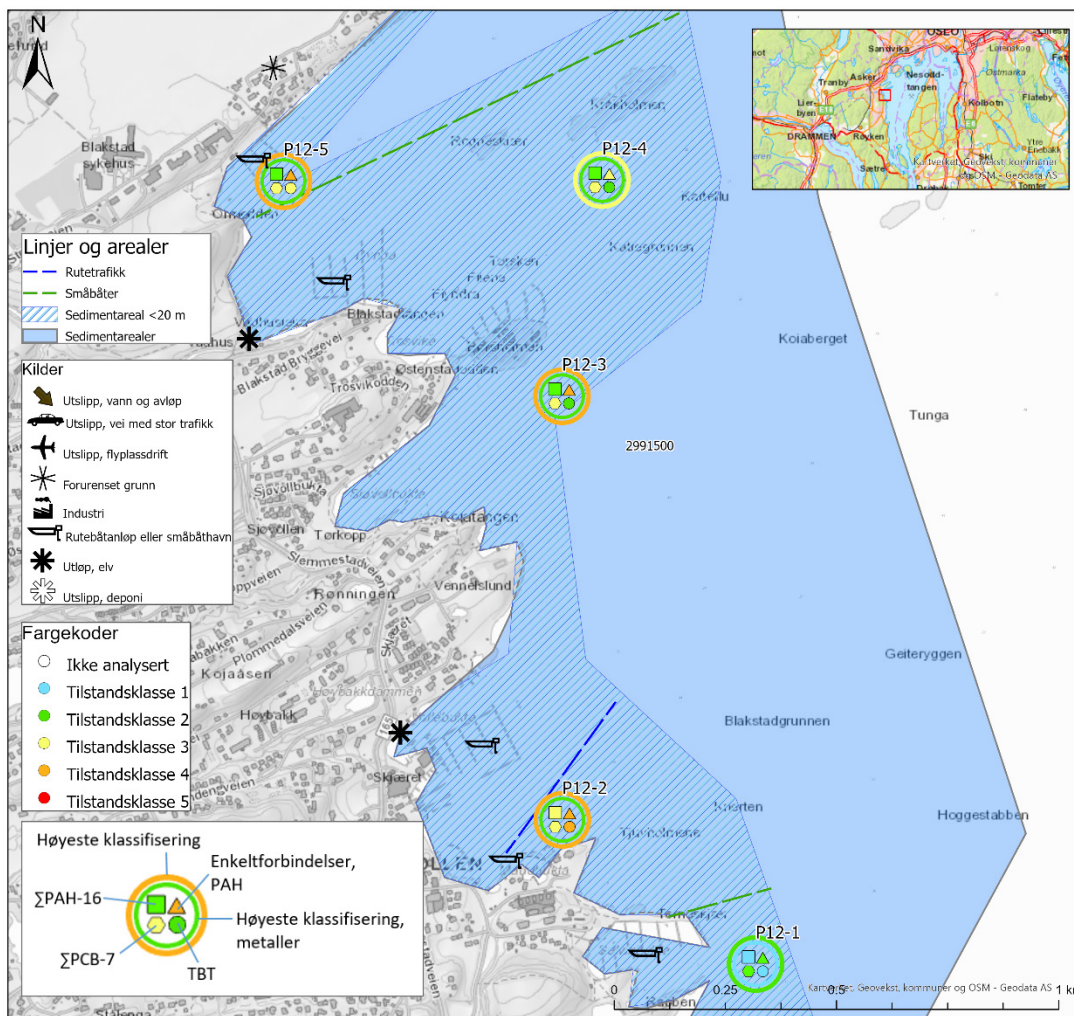
K1 Innledning	2
K1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
K1.2 Parametervalg	3
K2 Beregning av risiko for delområde 12 - Blakstad	3
K2.1 Risiko for spredning	3
K2.2 Risiko for human helse	5
K2.3 Risiko for økologiske effekter	7
K3 Oppsummering	9

K1 Innledning

K1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

I delområde 12 Blakstad er det en rekke småbåthavner, og det estimeres at det er omtrentlig 450 båt plasser fordelt på fire båtforeninger. Det er også mye rutebåttrafikk til og fra Vollen, med jevnlig avganger med hurtigbåt til Aker Brygge. Innenfor området munner Askerelva ut i fjorden. Elva kan ta med seg forurensning fra oppstrømsområder til sedimentene i fjorden.

Sedimentundersøkelser viser at det er påvist tilstandsklasse 4 for PAH-forbindelser i tre punkter, og TBT i et punkt. For øvrig er det påvist moderat miljøtilstand (tilstandsklasse 2-3) i de prøvetatte punkter i delområdet.



Figur 1 Delområde 12 - Blakstad. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 er etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

K1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for delområde 12 Blakstad. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 10 Midt i Oslofjorden. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 12
TOC	%	1,32
Areal delområde	m ²	2 991 500
Gjennomsnittlig dyp	m	25
Vannvolum	m ³	74 787 500
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	4 942
Trasélengde for skipsanløp	m	1 718
Kornstørrelse > 63 µm	%	46,3
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffic	%	55 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	1 161
Areal <20 m vanddyb	m ²	1 415 830
Areal skipspåvirket areal	m ²	707 915
Fraksjon suspendert fsusp = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0098

K2 Beregning av risiko for delområde 12 - Blakstad

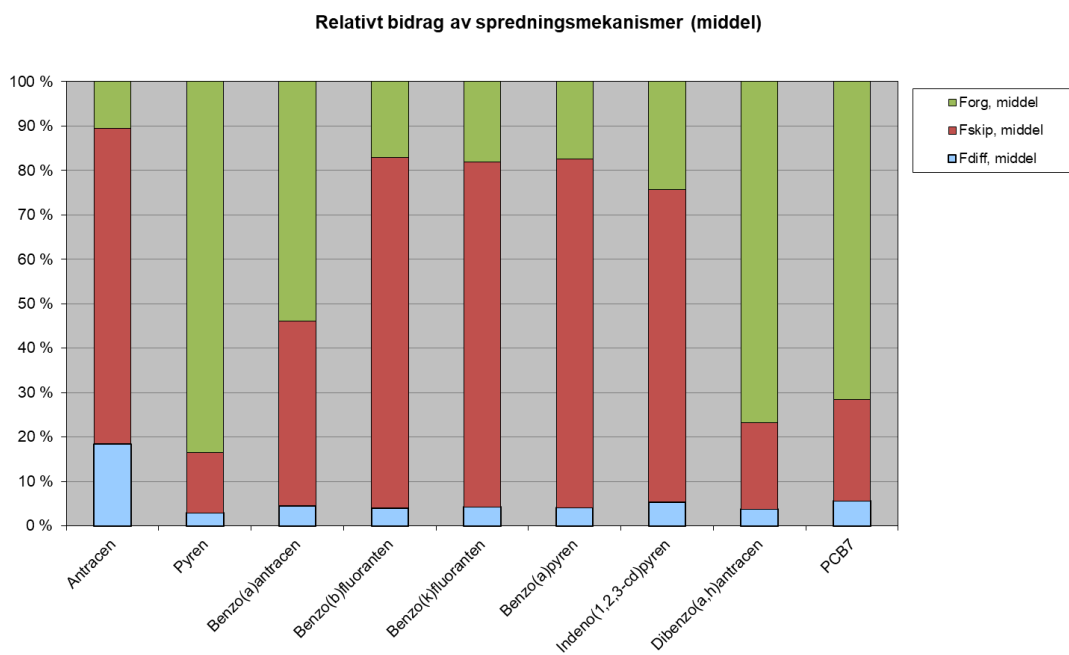
K2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i delområde 12 Blakstad er vist i tabell 2. Her er resultatene vist for både total spredning ($F_{\text{tot, skip}}$ beregnet spredning for skipsoppvirvling, biodiffusjon og transport med organismer) og spredning uten skipsoppvirvling ($F_{\text{tot, sed-skip}}$). Det er også litt forskjeller mellom spredning med og uten skipsoppvirvling, men dette vil variere for de ulike stoffene grunnet ulik betydning av spredningsmekanismene. For PAH-forbindelser viser resultatene at mange av forbindelsene (9 av 16 analyserte forbindelser) overskrider tillatt spredning. Overskridelsene er dog ikke så høye som i andre områder (maks 8,9 ganger for antracen). Tillatt spredning overskrides også for PCB7 (5,1 ganger).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 12 - Blakstad.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ ($mg/m^2/år$)		
Arsen	1,29E+02	1,90E+02	5,06E+02	0,4
Bly	5,92E+00	5,69E+01	3,92E+02	0,1
Kadmium	8,28E-01	1,30E+00	4,27E+01	0,0
Kobber	2,22E+01	7,75E+01	3,22E+02	0,2
Krom totalt (III + VI)	2,65E+01	1,01E+02	2,49E+03	0,0
Kvikksølv	2,47E-02	2,81E-01	1,34E+00	0,2
Nikkel	7,06E+00	6,93E+01	1,11E+02	0,6
Sink	5,23E+01	2,33E+02	4,35E+02	0,5
Naftalen	3,56E-02	6,81E-02	1,91E-01	0,4
Acenaftylene	3,19E-02	7,30E-02	1,78E-01	0,4
Acenaften	3,53E-02	6,28E-02	7,79E-01	0,1
Fluoren	3,88E-02	7,54E-02	8,93E-01	0,1
Fenantren	1,37E-01	3,44E-01	2,31E+00	0,1
Antracen	3,93E-02	1,36E-01	1,53E-02	8,9
Fluoranten	1,77E-01	7,24E-01	1,13E+00	0,6
Pyren	3,15E+00	3,64E+00	5,22E-01	7,0
Benzo(a)antracen	2,72E-01	4,65E-01	1,99E-01	2,3
Krysen	6,67E-02	3,28E-01	7,43E-01	0,4
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	4,90E-01	3,59E-01	1,4
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	4,60E-01	3,50E-01	1,3
Benzo(a)pyren	1,03E-01	4,80E-01	4,71E-01	1,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	3,45E-01	1,72E-01	2,0
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	4,89E-01	1,38E-01	3,5
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	4,31E-01	2,19E-01	2,0
Tributyltinn (TBT-ion)	6,27E-03	3,51E-02	9,06E-02	0,3
PCB7	8,57E-02	1,11E-01	2,17E-02	5,1

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene ved Blakstad er vist i figur 1. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. I dette området er partikulær oppvirvling grunnet anløp av båter den primære spredningsmekanisme. For antracenen, dibenzo(a,h)antracenen og PCB7 dominerer transport med organismer.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved middel påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

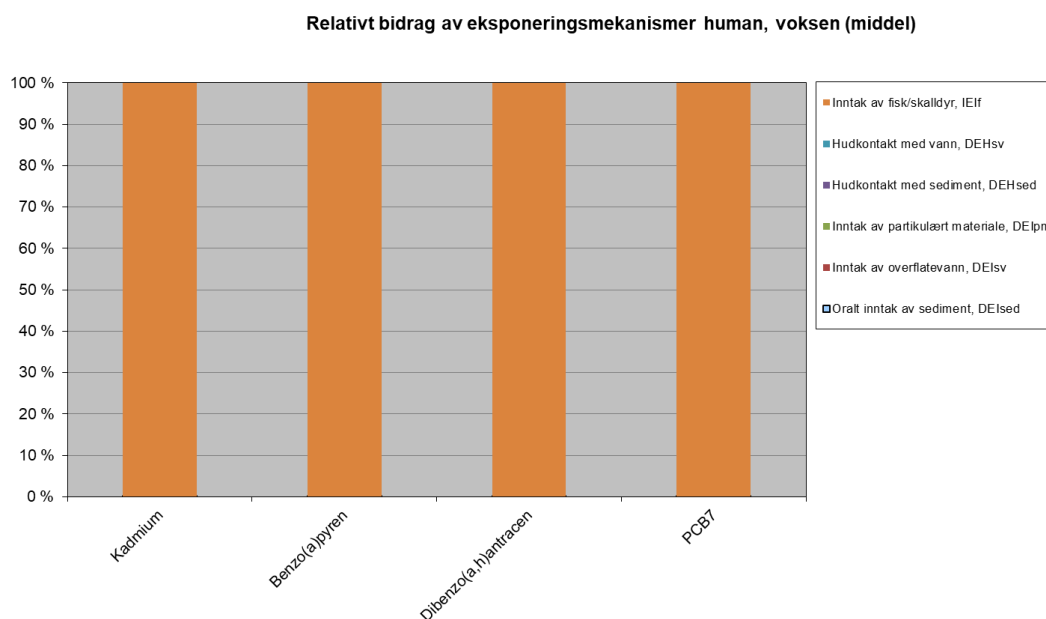
K2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene ved Blakstad er vist i tabell 3. Vurderingene viser at kadmium, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracenen og PCB7 overskrider grense for tillatt livstidsdose. Foruten for PCB7 er overskridelsene lave.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 12 Blakstad.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	8,19E-05	1,00E-04	0,8
Bly	3,43E-04	3,60E-04	1,0
Kadmium	8,14E-05	5,00E-05	1,6
Kobber	4,20E-04	1,63E-02	0,0
Krom totalt (III + VI)	1,41E-04	5,00E-04	0,3
Kvikksølv	4,59E-07	7,10E-05	0,0
Nikkel	3,77E-04	5,00E-03	0,1
Sink	7,75E-03	5,00E-02	0,2
Naftalen	2,54E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftalen	2,51E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	4,91E-06	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,14E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	7,31E-05	4,00E-03	0,0
Antracen	9,36E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	7,09E-05	5,00E-03	0,0
Pyren	1,99E-03	5,00E-02	0,0
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,00E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,48E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	2,95E-06	2,50E-04	0,0
PCB7	5,20E-05	1,00E-06	52,0

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det utelukkende grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 1).



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

K2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller (As, Cu, Cr og Zn) når en sammenligner PNEC med målte porevannskonsentrasjoner. Som for andre områder kan porevannskonsentrasjonene være noe forhøyede grunnet innhold av små partikler. For beregnede porevannskonsentrasjoner er det kun arsen som overskrider PNEC. Det er også overskridelser av PNEC for noen PAH-forbindelser (fem forbindelser av 16 analyserte), samt TBT.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.
 Det foreligger kun målte porevannskonsentrasjoner for metaller.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,02E-03	1,94E-02	6,0E-04	1,7	32,3
Bly	1,39E-04	7,80E-04	1,3E-03	0,1	0,6
Kadmium	5,38E-07	1,33E-04	2,0E-04	0,0	0,7
Kobber	8,24E-04	4,11E-03	2,6E-03	0,3	1,6
Krom totalt (III + VI)	2,23E-04	6,00E-03	3,4E-03	0,1	1,8
Kvikksølv	1,09E-06	3,73E-06	4,7E-05	0,0	0,1
Nikkel	3,67E-03	1,34E-03	8,6E-03	0,4	0,2
Sink	6,51E-04	7,84E-03	3,4E-03	0,2	2,3
Naftalen	5,36E-04	5,00E-06	2,0E-03	0,3	0,0
Acenaftylen	3,79E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,3	0,0
Acenaften	1,04E-04	5,00E-06	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	8,17E-05	5,00E-06	1,5E-03	0,1	0,0
Fenantren	1,75E-04	5,00E-06	5,1E-04	0,3	0,0
Antracen	9,60E-05	5,00E-06	1,0E-04	1,0	0,1
Fluoranten	1,75E-04	1,50E-05	6,3E-06	27,7	2,4
Pyren	2,51E-04	2,30E-05	2,3E-05	10,9	1,0
Benzo(a)antracen	1,21E-05	5,00E-06	1,2E-05	1,0	0,4
Krysen	2,09E-05	5,00E-06	7,0E-05	0,3	0,1
Benzo(b)fluoranten	1,50E-05	5,00E-06	1,7E-05	0,9	0,3
Benzo(k)fluoranten	1,45E-05	5,00E-06	1,7E-05	0,9	0,3
Benzo(a)pyren	1,46E-05	5,00E-06	1,7E-07	85,9	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3,28E-06	5,00E-06	2,7E-06	1,2	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	1,43E-06	5,00E-06	6,0E-07	2,4	8,3
Benzo(ghi)perylene	1,03E-05	5,00E-06	8,2E-07	12,6	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	8,38E-04	5,00E-07	2,0E-07	4189,4	2,5

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser ingen overskridelser av etablerte grenseverdier.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter ved Blakstad.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	0,5	1,0	0,5
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	12	TEQ < 50 ng/kg	0,2
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	1	20 %	0,1

K3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er påvist tilstandsklasse 4 for PAH-forbindelser i tre punkter, og TBT i et punkt. For øvrig er det påvist moderat miljøtilstand (tilstandsklasse 2-3) i de prøvetatte punkter i delområdet.

For PAH-forbindelser viser resultatene at mange av forbindelsene (ni av 16 analyserte forbindelser) overskrider tillatt spredning. Overskridelsene er dog ikke så høye som i andre områder (maks 8,9 ganger for antracen). Tillatt spredning overskrides også for PCB7 (5,1 ganger).

For human helse viser beregningene at kadmium, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grense for tillatt livstidsdose. Foruten for PCB7 er overskridelsene lave (<5).

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller (As, Cu, Cr og Zn) når en sammenligner PNEC med målte porevannskonsentrasjoner. Det er også overskridelser av PNEC for noen PAH-forbindelser (fem forbindelser av 16 analyserte), samt TBT. Toksisitetstester på sedimentene viser ingen overskridelse av grenseverdier for toksisitet.

Vedlegg L

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 13: SLEMMESTAD

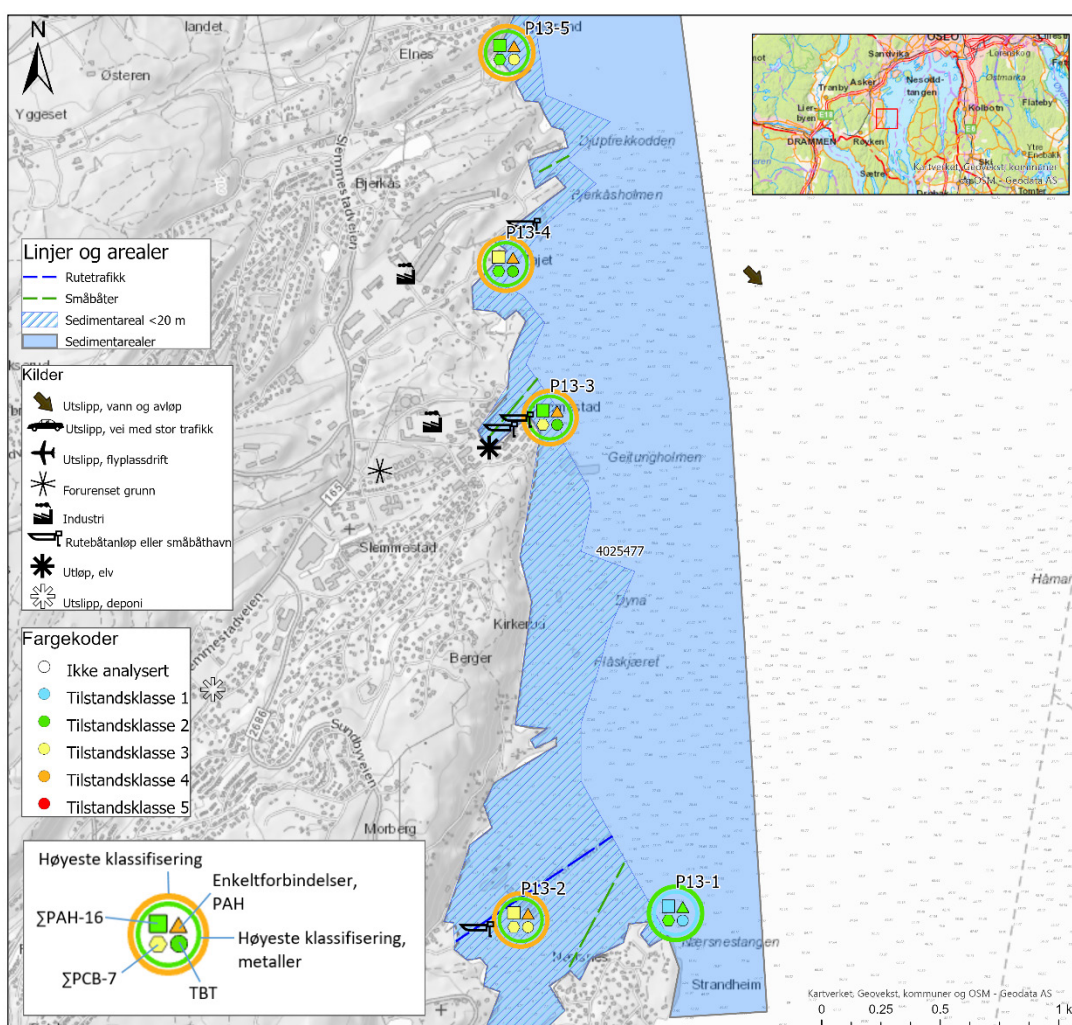
Innhold

L1	Innledning	2
	L1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
	L1.2 Parametervalg for delområdet	3
L2	Beregning av risiko for delområde 13 – Slemmestad	3
	L2.1 Risiko for spredning	3
	L2.2 Risiko for human helse	6
	L2.3 Risiko for økologiske effekter	7
L3	Oppsummering	9

L1 Innledning

L1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Delområde 13 omfatter området øst for Slemmestad (se Figur 1). Området er avgrenset av bebygde områder i vest og sør, og mot sjø i øst. Området er påvirket av utløp fra en elv og to industriutslipp. I tillegg er det fire småbåthavner i området. Sedimentundersøkelser viser at sedimentet er forurenset tilsvarende tilstandsklasse 4 (TK4) langs land. Sør i området er det et punkt som viser konsentrasjoner tilsvarende TK2. Der sedimentet er forurenset tilsvarende TK4 skyldes dette for de fleste punktene aromatiske organiske forbindelser (PAH).



Figur 1 Delområde 13 Slemmestad. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 er etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

L1.2 Parametervalg for delområdet

Parametere som er benyttet i risikovurderingen for Slemmestad er vist i tabell 1. Forklaring og betydning av den enkelte parameter er gitt i kap. 2.4. i rapporten.

Tabell 1 Verdier brukt for parametere i risikovurderingsverktøyet for delområde 13 Slemmestad. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 13
TOC	%	1,638
Areal delområde	m ²	4 025 477
Gjennomsnittlig dyp	m	30
Vannvolum	m ³	120 764 310
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	3 402
Trasélengde for skipsanløp	m	1 773
Kornstørrelse > 63 µm	%	66,22
Type sediment	-	Sand
Andel rutetraffikk	%	46 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	100
Areal <20 m vanddyb	m ²	1 288 826
Areal skipspåvirket areal	m ²	644 413
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0093

Trinn 1 risikovurdering er beskrevet i datarapporten (NGI, 2020). Foreliggende vedlegg beskriver beregnet spredning, risiko for human helse og risiko for økologiske effekter (trinn 2, men med steds spesifikke verdier for fordelingskoeffisienten mellom vann og sediment (k_d) fordi konsentrasjonen av miljøgifter er målt i porevann).

L2 Beregning av risiko for delområde 13 – Slemmestad

L2.1 Risiko for spredning

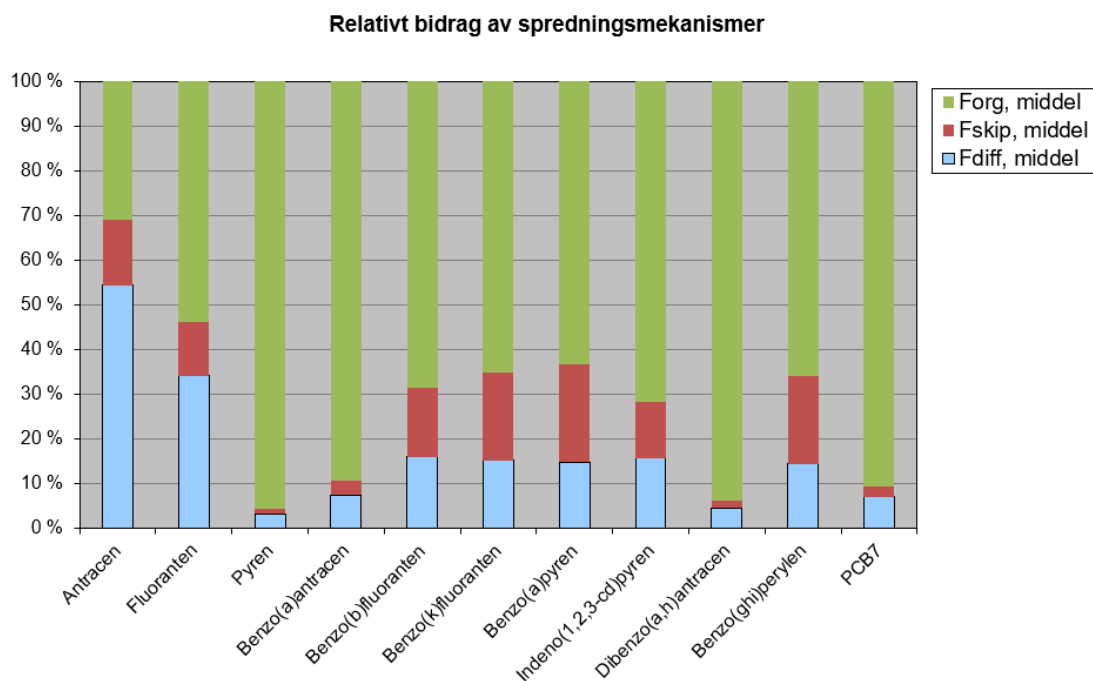
Risikovurdering for spredning fra sedimentet ved Slemmestad er vist i tabell 2. Tabellen viser beregnet spredning fra biodiffusjon (F_{diff}), som følge av transport via organismer (F_{org}), og som følge av oppvirvling fra skip (F_{skip}). Den totale spredningen er summert (F_{tot}) og sammenlignet med spredning som ville vært dersom konsentrasjonen i sedimentet tilfredsstilte trinn 1 i risikovurderingen, det vil si at konsentrasjonene var lavere enn grensen mellom TK2 og 3. Spredning som ville vært med denne konsentrasjonen betegnes som "tillatt spredning". Resultatene viser at det er flere forbindelser som overskrider tillatt spredningen. Ved Slemmestad er det de større PAHene og PCB7 som

overskrider tillatt spredning. Ingen av metallene oversider tillatt spredning (tabell 2). Overskridelsen er størst for antracen og pyren (11,8 og 10,5).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 13 Slemmestad.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ ($mg/m^2/år$)		
Arsen	9,20E+01	9,53E+01	2,26E+02	0,4
Bly	1,56E+01	1,92E+01	1,20E+02	0,2
Kadmium	3,41E-01	3,68E-01	6,29E+00	0,1
Kobber	1,46E+01	1,83E+01	6,69E+01	0,3
Krom totalt (III + VI)	5,03E+00	8,37E+00	2,53E+02	0,0
Kvikksølv	3,18E-02	4,25E-02	3,16E-01	0,1
Nikkel	1,15E+01	1,51E+01	2,68E+01	0,6
Sink	2,72E+01	4,04E+01	5,71E+01	0,7
Naftalen	3,56E-02	3,81E-02	8,00E-02	0,5
Acenaftylen	3,19E-02	3,36E-02	1,57E-01	0,2
Acenaften	3,53E-02	3,81E-02	2,26E-01	0,2
Fluoren	3,88E-02	4,17E-02	3,30E-01	0,1
Fenantren	3,01E-01	3,18E-01	8,90E-01	0,4
Antracen	3,93E-02	4,61E-02	3,89E-03	11,8
Fluoranten	2,71E-01	3,08E-01	3,04E-01	1,0
Pyren	3,28E+00	3,32E+00	3,16E-01	10,5
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,81E-01	8,09E-02	3,5
Krysen	6,67E-02	8,23E-02	1,25E-01	0,7
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,22E-01	6,23E-02	2,0
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,28E-01	4,96E-02	2,6
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,32E-01	6,17E-02	2,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,17E-01	3,28E-02	3,6
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	4,00E-01	7,12E-02	5,6
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,27E-01	3,04E-02	4,2
Tributyltinn (TBT-ion)	6,27E-03	7,21E-03	2,13E-02	0,3
PCB7	6,91E-02	7,07E-02	8,85E-03	8,0

Av de forskjellige spredningsmekanismene dominerer spredning som følge av transport med organismer (F_{org}), unntatt for antracen der spredning via biodiffusjon (F_{diff}) dominerer som mekanisme. Det er forholdsvis liten andel av spredningen som skyldes oppvirling som følge av skipstransport (F_{skip}).



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

L2.2 Risiko for human helse

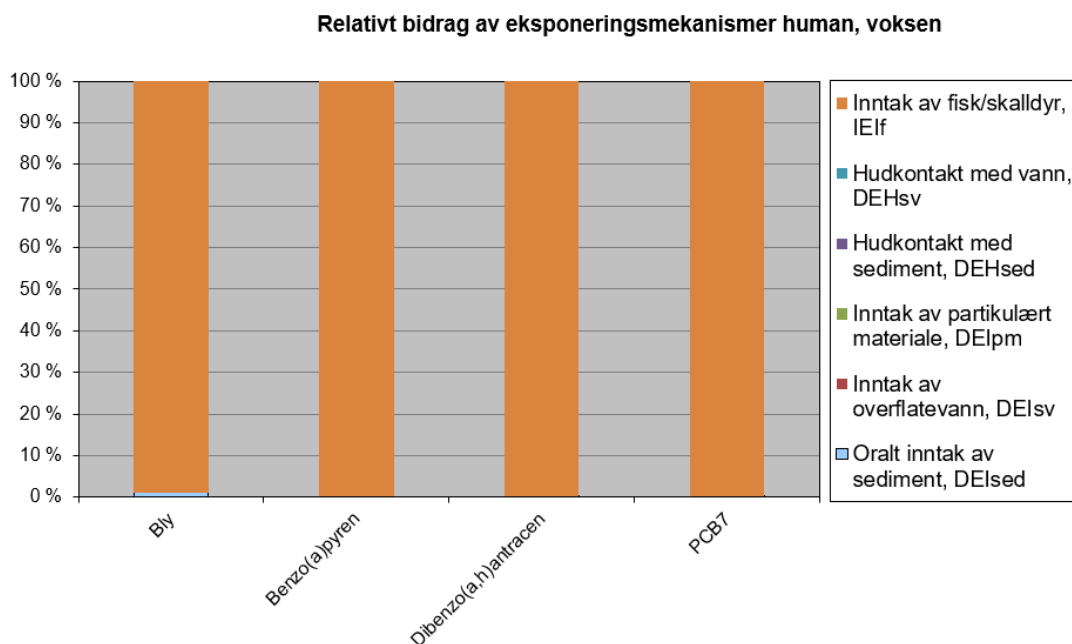
Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i delområde 13 Slemmestad er vist i tabell 3. Risikoen er her vist for eksponering av barn. Beregningene gjøres som vist i kap. 4.2 i rapporten.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 13 Slemmestad.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	6,06E-05	1,00E-04	0,6
Bly	8,72E-04	3,60E-04	2,4
Kadmium	3,35E-05	5,00E-05	0,7
Kobber	2,84E-04	1,63E-02	0,0
Krom totalt (III + VI)	4,09E-05	5,00E-04	0,1
Kvikksølv	5,29E-07	7,10E-05	0,0
Nikkel	5,97E-04	5,00E-03	0,1
Sink	4,08E-03	5,00E-02	0,1
Naftalen	2,54E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftilen	2,50E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	4,92E-06	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,15E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	1,61E-04	4,00E-03	0,0
Antracen	9,36E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	1,09E-04	5,00E-03	0,0
Pyren	2,08E-03	5,00E-02	0,0
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,00E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,48E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0,0
Tributyltinn (TBT-ion)	2,95E-06	2,50E-04	0,0
PCB7	4,19E-05	1,00E-06	41,9

For human helse er det bly av metallene som overskrider trygg grense for eksponering. Mens for de aromatiske organiske forbindelsene er det benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7. Den høyeste overskridelsen er for PCB7 som er 41,9 ganger høyere enn trygg eksponering, nest høyest er for dibenzo(a,h)antracen som er på 4,9 ganger trygg eksponering.

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det nesten utelukket grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den mest forekommende eksponeringsveien er via opptak av miljøgifter til fisk og skalldyr og deretter humant konsum av forurenset fisk og skalldyr.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

L2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for arsen, bly og kobber, PAH-forbindelser, samt TBT. De målte porevannskonsentrasjonene gir vesentlig høyere overskridelse av PNEC sammenlignet med de beregnede porevannskonsentrasjonene. Konsentrasjonene i porevannet i sedimentet ble analysert på ufiltrerte prøver og risikoen forbundet med målte porevannskonsentrasjoner er derfor konservativ. Dette gjelder spesielt for metallene og de større PAH-forbindelsene som er hardt bundet til partikler.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med konsentrasjoner som er antatt å gi ingen økologiske effekter (Predicted No Effect Concentrations; PNEC).

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grense-verdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,15E-03	1,38E-02	6,0E-04	1,9	23,0
Bly	1,46E-04	2,05E-03	1,3E-03	0,1	1,6
Kadmium	1,00E-06	5,47E-05	2,0E-04	0,0	0,3
Kobber	9,25E-04	2,70E-03	2,6E-03	0,4	1,0
Krom totalt (III + VI)	1,82E-04	1,14E-03	3,4E-03	0,1	0,3
Kvikksølv	6,90E-07	4,79E-06	4,7E-05	0,0	0,1
Nikkel	3,19E-03	2,18E-03	8,6E-03	0,4	0,3
Sink	7,87E-04	4,08E-03	3,4E-03	0,2	1,2
Naftalen	5,54E-04	5,00E-06	2,0E-03	0,3	0,0
Acenaftilen	1,50E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,1	0,0
Acenaften	1,63E-04	5,00E-06	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	8,62E-05	5,00E-06	1,5E-03	0,1	0,0
Fenantren	1,75E-04	1,10E-05	5,1E-04	0,3	0,0
Antracen	8,48E-05	5,00E-06	1,0E-04	0,8	0,1
Fluoranten	1,44E-04	2,30E-05	6,3E-06	22,9	3,7
Pyren	2,14E-04	2,40E-05	2,3E-05	9,3	1,0
Benzo(a)antracen	7,28E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,6	0,4
Krysen	1,57E-05	5,00E-06	7,0E-05	0,2	0,1
Benzo(b)fluoranten	9,07E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(k)fluoranten	1,28E-05	5,00E-06	1,7E-05	0,8	0,3
Benzo(a)pyren	1,42E-05	5,00E-06	1,7E-07	83,3	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,48E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,9	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	1,18E-06	5,00E-06	6,0E-07	2,0	8,3
Benzo(ghi)perylene	9,84E-06	5,00E-06	8,2E-07	12,0	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	3,29E-04	5,00E-07	2,0E-07	1645,0	2,5

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. For porevannet er det en overskridelse av målt økotoksikologisk effekt på *Skeletonema costatum*. Denne testen viser at porevannet gir en økt dødelighet for algen.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra indre Bunnefjord.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	2	1,0	2,0
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	6,4	TEQ < 50 ng/kg	0,1
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	5	20 %	0,3

L3 Oppsummering

Figurene og tabellene over viser at det er risiko for spredning, effekter på human helse og økologiske effekter fra forurensningen i sedimentet i området ved Slemmestad. Det er de større PAHer og PCB7 vil spres over tillatt spredning, eller det som spredningen ville vært om konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentet var tilsvarende grenen mellom TK2 og 3 (Tabell 2). For spredningen så er det i hovedsak spredning som følge av transport via organismer som er viktigst mekanisme (Figur 2).

For human helse utpeker dibenzo(a,h)antracen og PCB7 seg som de som gir størst risiko og overskridelse av anbefalt inntak av miljøgiften fra forurenset sediment (Tabell 3). I all hovedsak kommer denne eksponeringen fra inntak av sjømat med miljøgifter (Figur 2).

Det er til foreliggende risikovurdering vist frem både beregnede og målte konsentrasjoner av miljøgifter i porevann. Analysene av porevannskonsentrasjoner ble gjort på ufiltrerte prøver og er derfor konservative. Tabell 4 viser også dette. Overskridelsene av målt porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC er størst for metallene og de største PAHene, det vil si de forbindelsene som er sterkest bundet til partikler.

Risikovurderingen viser at for delområde 13 Slemmestad så er det risiko for spredning over tillatt spredning, risiko for human helse og økologisk risiko. De forbindelsene som utgjør størst risiko er de større PAHene (spredning og økologisk effekter), og PAH og PCB7 (human helse).

Vedlegg M

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 14: VEST FOR GRÅØYA

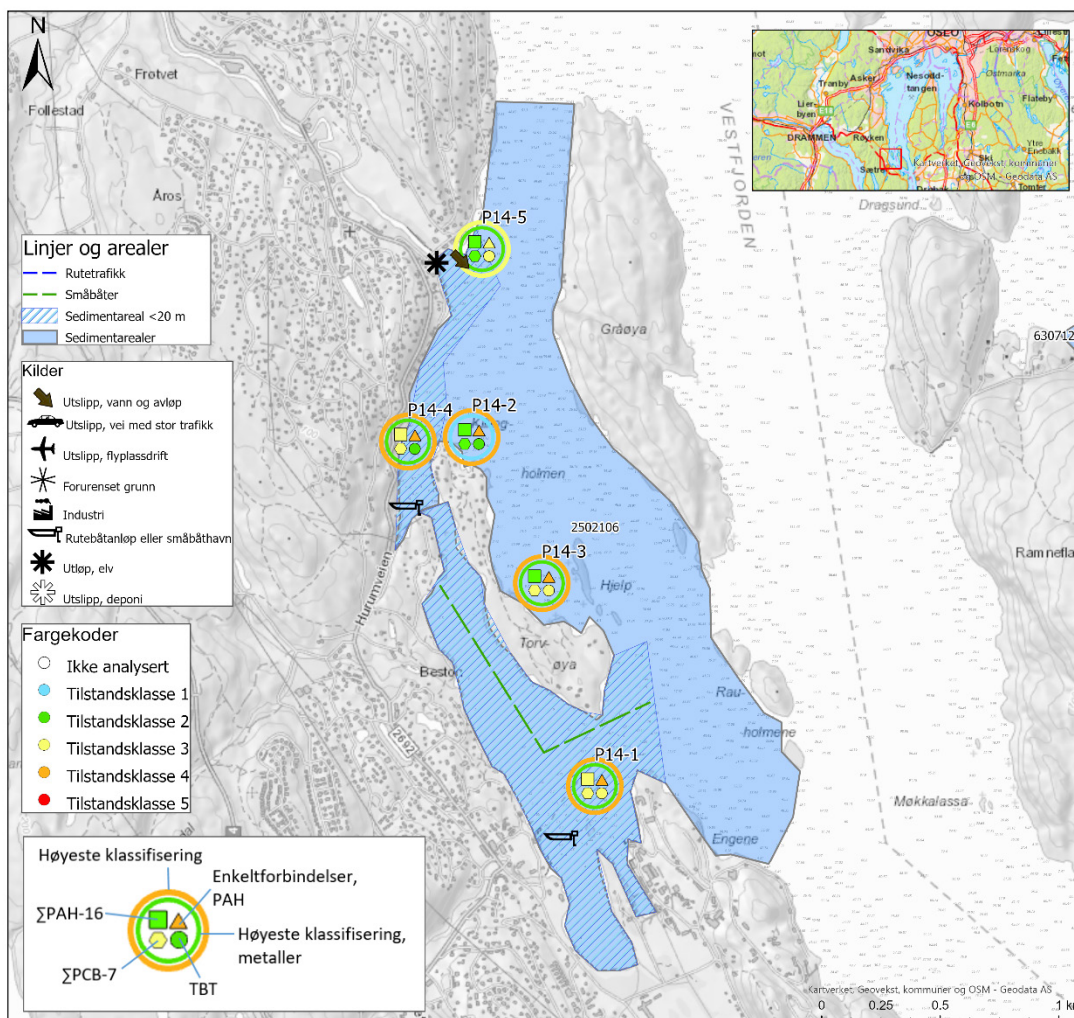
Innhold

M1 Innledning	2
M1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
M1.2 Parametervalg	3
M2 Beregning av risiko for delområde 14 vest for Gråøya	3
M2.1 Risiko for spredning	3
M2.2 Risiko for human helse	5
M2.3 Risiko for økologiske effekter	7
M3 Oppsummering	9

M1 Innledning

M1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Området ligger i vest i Oslofjorden ved Sætre. Området ligger langs fastlandet på inn-siden av Gråøya og Rauholmene. Det er småbåthavner i delområdet. Det er utslipp fra Åros renseanlegg innenfor delområdet. Sedimentundersøkelser viser at det er funnet PAH-komponenter t.o.m. tilstandsklasse 4. PCB og TBT er funnet i tilstandsklasse 3. Metallkonsentrasjoner ligger i tilstandsklasse 1 og 2.



Figur 1 Delområde 14 Vest for Gråøya. Tilstandsklassifisering for prøvene tatt i 2020 etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

M1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for vest for Gråøya. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kapittel 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 14 vest for Gråøya. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 14
TOC	%	1,96
Areal delområde	m ²	2 502 106
Gjennomsnittlig dyp	m	25
Vannvolum	m ³	62 552 650
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	1 250
Trasélengde for skipsanløp	m	1 328
Kornstørrelse > 63 µm	%	28,8
Type sediment	-	Silt og leire
Andel rutetraffic	%	0 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	150
Areal <20 m vanddyp	m ²	897 579
Areal skipspåvirket areal	m ²	448 789,5
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0084

M2 Beregning av risiko for delområde 14 vest for Gråøya

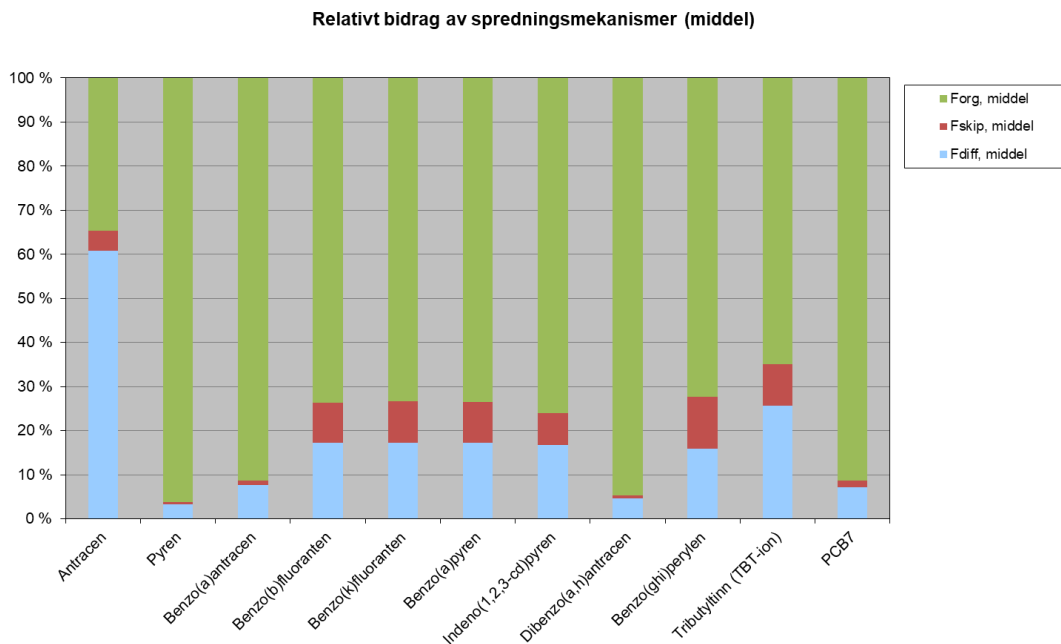
M2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i vest for Gråøya er vist i tabell 2. Resultatene viser at flere PAH-forbindelser overskrider tillatt spredning (1,7 til 9,1 ganger høyere). I tillegg overskrider PCB akseptabel spredning (9,1 ganger høyere).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 14 Vest for Gråøya.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvrling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvrling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F _{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	F _{tot, sed-skip} middel [mg/m^2]	F _{tot, skip} middel ($mg/m^2/år$)		Maks
Arsen	1,29E+02	1,31E+02	3,20E+02	0,4
Bly	9,42E+00	1,15E+01	6,51E+01	0,2
Kadmium	4,83E-01	5,03E-01	6,79E+00	0,1
Kobber	1,64E+01	1,84E+01	7,07E+01	0,3
Krom totalt (III + VI)	2,32E+01	2,50E+01	9,14E+02	0,03
Kvikksølv	2,42E-02	2,88E-02	2,68E-01	0,1
Nikkel	4,61E+00	5,87E+00	1,54E+01	0,4
Sink	2,78E+01	3,47E+01	4,95E+01	0,7
Naftalen	1,07E+00	1,08E+00	3,26E+00	0,3
Acenaftylene	3,19E-02	3,30E-02	1,10E-01	0,3
Acenaften	3,95E-01	4,01E-01	6,41E+00	0,1
Fluoren	3,10E-01	3,14E-01	7,05E+00	0,0
Fenantren	1,42E+00	1,43E+00	1,06E+01	0,1
Antracen	3,93E-02	4,12E-02	7,58E-03	5,4
Fluoranten	1,65E-01	1,77E-01	2,76E-01	0,6
Pyren	2,87E+00	2,89E+00	3,17E-01	9,1
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,75E-01	1,38E-01	2,0
Krysen	6,67E-02	7,24E-02	1,48E-01	0,5
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,13E-01	5,15E-02	2,2
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,14E-01	4,80E-02	2,4
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,14E-01	6,63E-02	1,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,10E-01	2,79E-02	3,9
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	3,97E-01	8,78E-02	4,5
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,15E-01	2,43E-02	4,8
Tributyltinn (TBT-ion)	6,27E-03	6,92E-03	1,50E-02	0,5
PCB7	6,44E-02	6,53E-02	7,18E-03	9,1

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene i området vest for Gråøya er vist i figur 1. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Som figuren viser, er det spredning med organismer som gir høyest bidrag.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

M2.2 Risiko for human helse

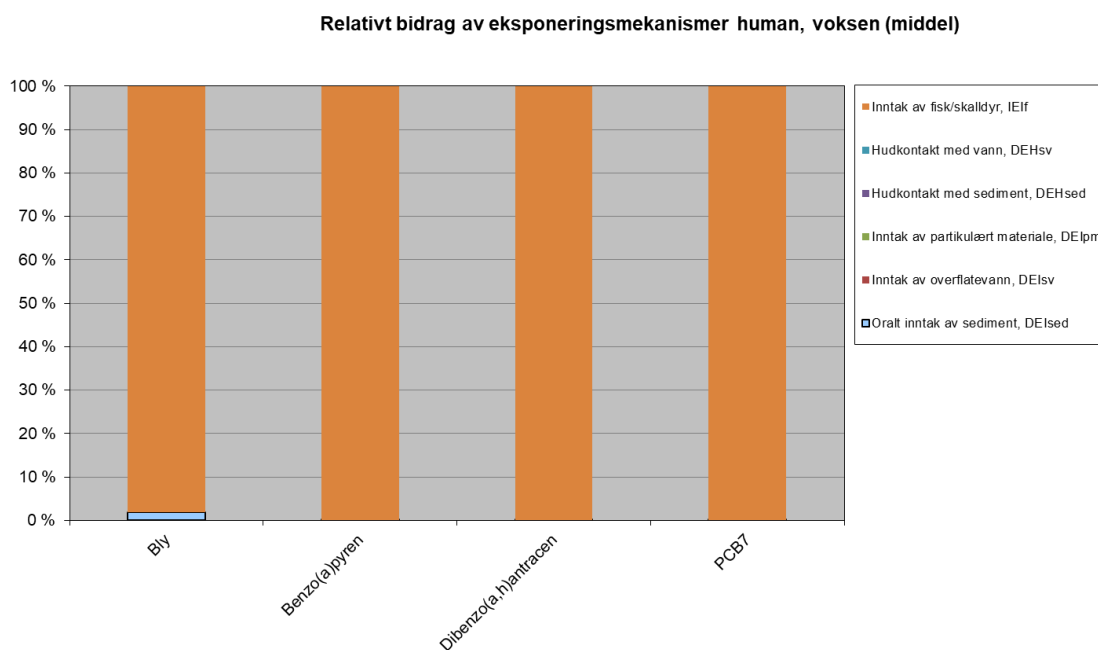
Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i delområdet vest for Gråøya er vist i tabell 3. Beregningene gjøres som vist i 2.3.

Risikovurdering for human helse viser at bly overskrider grense for human risiko 1,5 ganger. I tillegg overskrider PAH-komponentene benzo(a)pyren overskrider grenseverdien 1,5 ganger og dibenzo(a,h)antracen 4,9 ganger. PCB7 overskrider 39,1 ganger.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 14 vest for Gråøya.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livs-tidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks
Arsen	8,20E-05	1,00E-04	0,8
Bly	5,37E-04	3,60E-04	1,5
Kadmium	4,76E-05	5,00E-05	0,95
Kobber	3,16E-04	1,63E-02	0,02
Krom totalt (III + VI)	1,18E-04	5,00E-04	0,24
Kvikksølv	4,05E-07	7,10E-05	0,01
Nikkel	2,45E-04	5,00E-03	0,05
Sink	4,16E-03	5,00E-02	0,08
Naftalen	7,58E-05	4,00E-03	0,02
Acenaftalen	2,51E-06	5,00E-03	0
Acenaften	5,50E-05	5,00E-02	0
Fluoren	6,51E-05	4,00E-03	0,02
Fenantren	7,60E-04	4,00E-03	0,19
Antracen	9,34E-06	4,00E-03	0,00
Fluoranten	6,61E-05	5,00E-03	0,01
Pyren	1,82E-03	5,00E-02	0,04
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,33
Krysen	2,99E-05	5,00E-03	0,01
Benzo(b)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,11
Benzo(k)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,11
Benzo(a)pyren	5,48E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0
Tributyltinn (TBT-ion)	2,95E-06	2,50E-04	0
PCB7	3,91E-05	1,00E-06	39,1

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Dette viser at den mest forekommende eksponeringsveien er frigjøring til vann, opptak i fisk og skalldyr og deretter konsum av forurenset fisk og skalldyr. For bly ser en at eksponering skjer både gjennom konsum av fisk og noe via oralt inntak av sedimenter.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for metaller og de organiske miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

M2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene i tabell 4 at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller og PAH-forbindelser, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet.

Det er for noen av stoffene stor variasjon mellom beregnet porevannskonsentrasjon og målt porevannskonsentrasjon. Metallene arsen, kobber, krom og sink gir en høyere målt porevannskonsentrasjon enn beregnet porevannskonsentrasjon. For PAH-komponenter viser målte konsentrasjoner lavere verdi enn beregnede bortsett fra for indeno(1,2,3-cd)pyren og dibenzo(a,h)antracen som er høyere og som også overskrider grense for økologisk risiko. TBT vise betydelig lavere målte konsentrasjoner enn beregnede.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,11E-03	1,93E-02	6,0E-04	1,9	32,2
Bly	1,61E-04	1,24E-03	1,3E-03	0,1	1,0
Kadmium	1,26E-06	7,76E-05	2,0E-04	0,0	0,4
Kobber	8,77E-04	3,04E-03	2,6E-03	0,3	1,2
Krom totalt (III + VI)	1,50E-04	5,25E-03	3,4E-03	0,0	1,5
Kvikksølv	5,50E-07	3,65E-06	4,7E-05	0,0	0,1
Nikkel	2,15E-03	8,75E-04	8,6E-03	0,2	0,1
Sink	7,58E-04	4,17E-03	3,4E-03	0,2	1,2
Naftalen	3,22E-04	1,50E-04	2,0E-03	0,2	0,1
Acenaftilen	1,77E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,1	0,0
Acenaften	5,00E-05	5,60E-05	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	2,50E-05	4,00E-05	1,5E-03	0,0	0,0
Fenantren	5,05E-05	5,20E-05	5,1E-04	0,1	0,1
Antracen	3,13E-05	5,00E-06	1,0E-04	0,3	0,1
Fluoranten	7,29E-05	1,40E-05	6,3E-06	11,6	2,2
Pyren	1,53E-04	2,10E-05	2,3E-05	6,7	0,9
Benzo(a)antracen	3,28E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,3	0,4
Krysen	8,71E-06	5,00E-06	7,0E-05	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranten	7,78E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(k)fluoranten	8,50E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(a)pyren	7,92E-06	5,00E-06	1,7E-07	46,6	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,12E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,8	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	7,75E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,3	8,3
Benzo(ghi)perylene	8,39E-06	5,00E-06	8,2E-07	10,2	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	3,60E-04	5,00E-07	2,0E-07	1802,4	2,5

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser ingen overskridelse av grenseverdi for økotoksitet.

Tabell 5 Resultater og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra området vest for Gråøya.

Parameter	Målt økotox	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	0,5	1,0	0,5
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	17	TEQ < 50 ng/kg	0,3
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	3	20 %	0,2

M3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er funnet PAH-komponenter t.o.m. tilstandsklasse 4. PCB og TBT er funnet i tilstandsklasse 3. Metallkonsentrasjoner ligger i tilstandsklasse 1 og 2.

Resultatene viser at flere PAH-forbindelser overskrider tillatt spredning, samt at PCB overskrider akseptabel spredning.

Risikovurdering for human helse viser at bly, PAH-komponentene benzo(a)pyren og dibenzo(a,h)antracen samt PCB7 overskrider akseptabel risiko for human helse.

For økologiske effekter viser vurderingen at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller og PAH-forbindelser, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet. Toksisitetstester viser imidlertid ikke overskridelse av toksisitet.

Vedlegg N

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 15: FAGERSTRAND

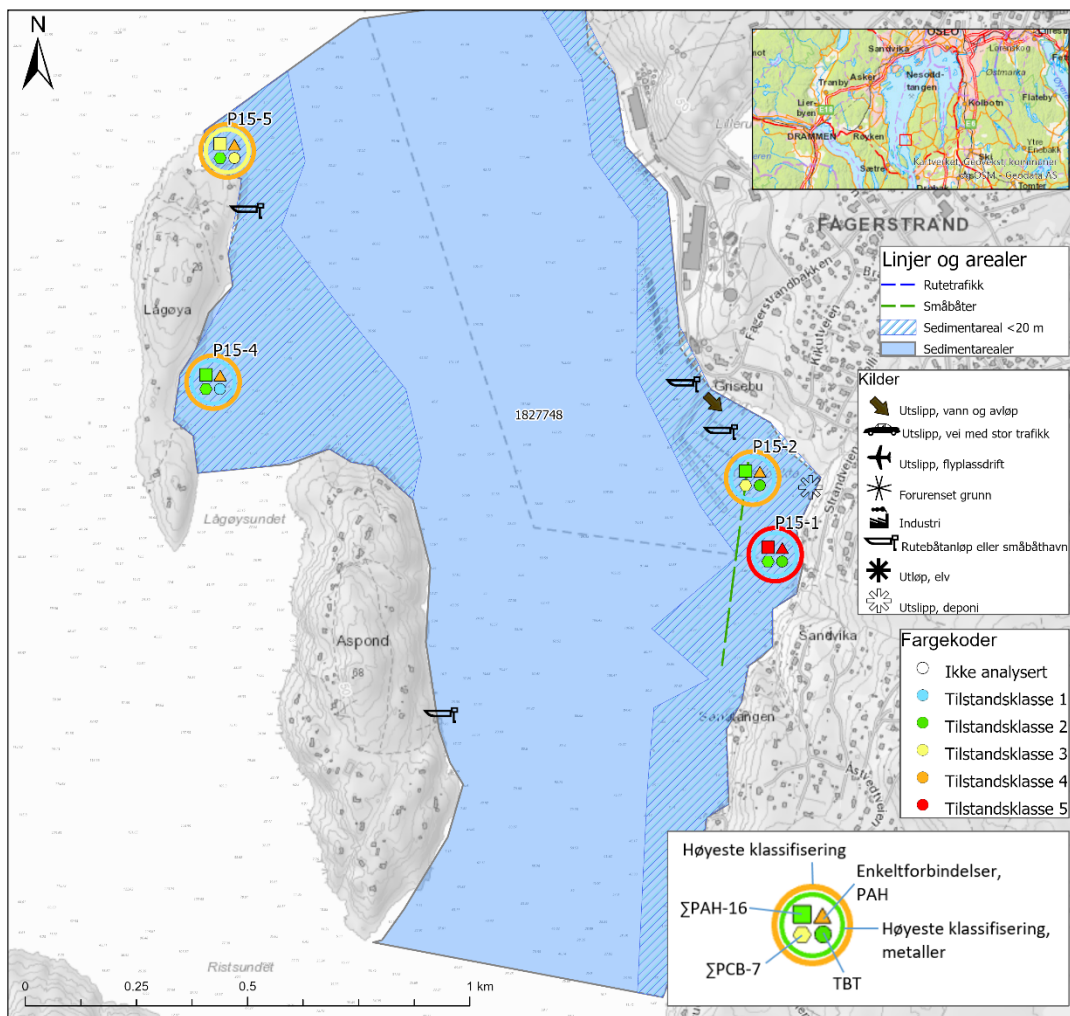
Innhold

N1 Innledning	2
N1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
N1.2 Parametervalg	3
N2 Beregning av risiko i område 15 - Fagerstrand	3
N2.1 Risiko for spredning	3
N2.2 Risiko for human helse	5
N2.3 Risiko for økologiske effekter	7
N3 Oppsummering	9

N1 Innledning

N1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

I området utenfor Fagerstrand er det en del småbåttrafikk, og det estimeres at det er båt plasser til omtrent 300 båter i Fagerstrand båtforening. På sommeren er det jevnlig anløp til Fagerstrand, Aspond og Lågøya. Det er utslipp av sigevann fra et deponi som ligger noe lenger øst, som slippes til fjorden ved Fagerstrand. Det har ikke blitt funnet informasjon om mulig sammensetning av dette sigevannet. Det er også utslipp fra Fagerstrand renseanlegg innenfor delområdet. Resultater fra prøvetaking og analyse av sedimenter viser at det er en hot-spot med veldig høye PAH-konsentrasjoner i punkt P15-1. For øvrig i området er det påvist enkeltkongener av PAH i tilstandsklasse 4, men ellers er det moderat miljøtilstand for de øvrige parametre (tilstandsklasse 2-3).



Figur 1 Delområde 15 - Fagerstrand. Tilstandsklassifisering for prøver tatt i 2020 er etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

N1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for delområde 15 Fagerstrand. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kap. 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 15 Fagerstrand. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 15
TOC	%	1,35
Areal delområde	m ²	1 827 748
Gjennomsnittlig dyp	m	70
Vannvolum	m ³	127 942 360
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	1 584
Trasélengde for skipsanløp	m	463
Kornstørrelse > 63 µm	%	77,3
Type sediment	-	Sand
Andel rutetraffic	%	5 %
Mengde oppvirvlet sediment per anløp	kg	25
Areal <20 m vanddyb	m ²	561 956
Areal skipspåvirket areal	m ²	280 978
Fraksjon suspendert fsusp = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0033

N2 Beregning av risiko i område 15 - Fagerstrand

N2.1 Risiko for spredning

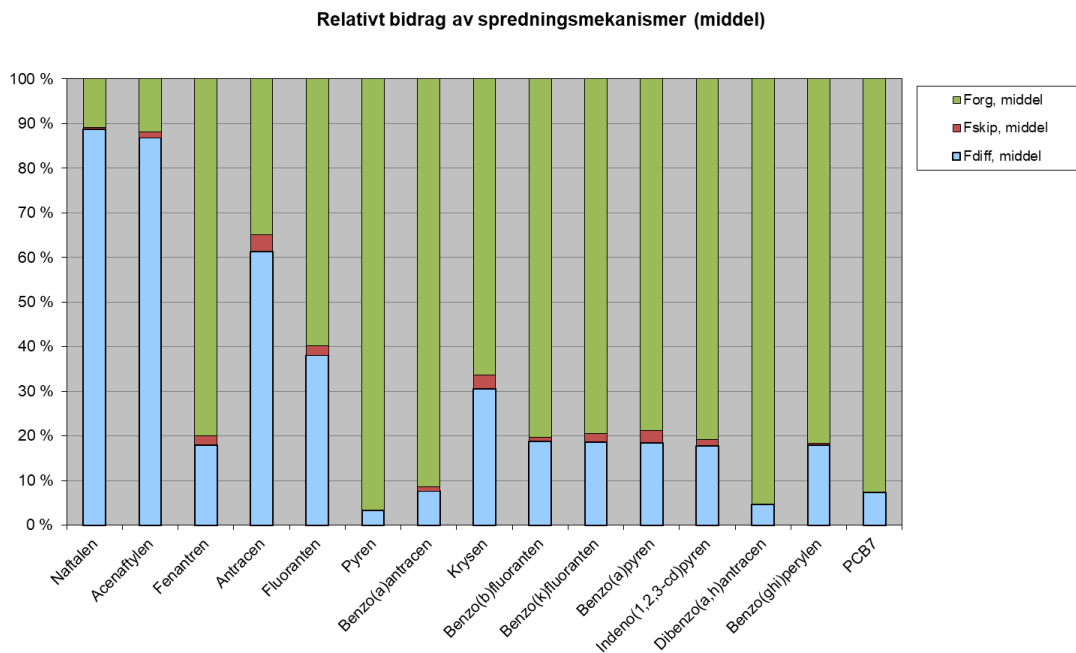
Risikovurdering for spredning fra sedimentet i delområde 15 Fagerstrand er vist i tabell 2. Her er resultatene vist for både total spredning ($F_{tot, skip}$ beregnet spredning for skipsoppvirvling, biodiffusjon og transport med organismer) og spredning uten skipsoppvirvling ($F_{tot, sed-skip}$). I dette delområdet er det små forskjeller mellom spredning med og uten skipsoppvirvling, fordi det er lite skipstrafikk over et relativt lite areal.

For PAH-forbindelser viser resultatene at det mange forbindelsene (14 av 16 analyserte forbindelser) overskrider tillatt spredning, og den høyeste overskridelsen er for antracen (135,6 ganger). Dette er knyttet til svært høye påviste konsentrasjonsnivåer i punkt P15-1 (hot-spot). Tillatt spredning overskrides også for PCB7 (2,6 ganger).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 15 - Fagerstrand.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ [mg/m ²]	$F_{tot, skip}$ (mg/m ² /år)		
Arsen	2,77E+02	2,77E+02	6,44E+02	0,4
Bly	3,41E+01	3,42E+01	2,25E+02	0,2
Kadmium	4,32E-01	4,33E-01	1,00E+01	0,0
Kobber	2,07E+01	2,08E+01	1,03E+02	0,2
Krom totalt (III + VI)	3,34E+01	3,35E+01	1,14E+03	0,0
Kvikksølv	1,35E-01	1,36E-01	8,28E-01	0,2
Nikkel	1,44E+01	1,45E+01	3,10E+01	0,5
Sink	4,27E+01	4,30E+01	7,92E+01	0,5
Naftalen	3,56E-02	3,57E-02	3,36E-02	1,1
Acenaftylen	3,19E-02	3,23E-02	8,76E-03	3,7
Acenaften	1,13E-01	1,13E-01	2,56E-01	0,4
Fluoren	3,88E-02	3,92E-02	4,47E-02	0,9
Fenantren	1,37E-01	1,40E-01	5,07E-02	2,8
Antracen	3,93E-02	4,09E-02	3,25E-04	125,6
Fluoranten	2,71E-01	2,77E-01	3,57E-02	7,8
Pyren	7,66E+00	7,67E+00	1,16E-01	66,1
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,74E-01	6,66E-03	41,2
Krysen	6,67E-02	6,89E-02	1,52E-02	4,5
Benzo(b)fluoranten	3,30E-01	3,33E-01	2,38E-02	14,0
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,05E-01	9,46E-03	11,1
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,06E-01	8,85E-03	12,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,03E-01	6,23E-03	16,6
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	3,95E-01	1,76E-02	22,4
Benzo(ghi)perylene	5,71E-01	5,73E-01	3,10E-02	18,5
Tributyltinn (TBT-ion)	6,27E-03	6,29E-03	3,22E-02	0,3
PCB7	2,56E-02	2,56E-02	9,90E-03	2,6

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene ved Fagerstrand er vist i figur 1. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. I dette området er transport med organismer som er den primære transportmekanismen, men for noen PAH-forbindelser (naftalen, acenaftylen og antracen) dominerer biodiffusjon.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved middel påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgifter. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

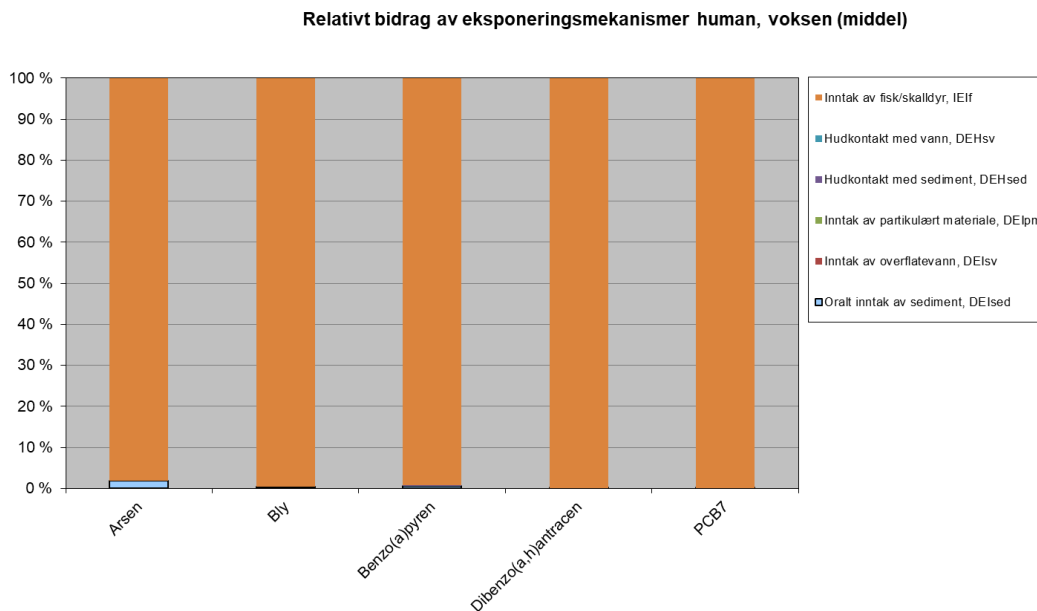
N2.2 Risiko for human helse

Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene ved Fagerstrand er vist i tabell 3. Vurderingene viser at arsen, bly, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grense for tillatt livstidsdose. Foruten for PCB7 er overskridelsene lave.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 15 Fagerstrand.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE (mg/kg/d)		
Arsen	1,69E-04	1,00E-04	1,7
Bly	1,89E-03	3,60E-04	5,2
Kadmium	4,25E-05	5,00E-05	0,9
Kobber	3,89E-04	1,63E-02	0,0
Krom totalt (III + VI)	1,65E-04	5,00E-04	0,3
Kvikksølv	2,07E-06	7,10E-05	0,0
Nikkel	7,42E-04	5,00E-03	0,1
Sink	6,33E-03	5,00E-02	0,1
Naftalen	2,55E-06	4,00E-03	0,0
Acenaftalen	2,60E-06	5,00E-03	0,0
Acenaften	1,57E-05	5,00E-02	0,0
Fluoren	8,22E-06	4,00E-03	0,0
Fenantren	7,38E-05	4,00E-03	0,0
Antracen	9,71E-06	4,00E-03	0,0
Fluoranten	1,10E-04	5,00E-03	0,0
Pyren	4,85E-03	5,00E-02	0,1
Benzo(a)antracen	1,65E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,04E-05	5,00E-03	0,0
Benzo(b)fluoranten	1,76E-04	5,00E-04	0,4
Benzo(k)fluoranten	5,51E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,54E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,50E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	3,07E-04	3,00E-03	0,1
Tributyltinn (TBT-ion)	2,95E-06	2,50E-04	0,0
PCB7	1,55E-05	1,00E-06	15,5

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de parametere som overskrider grenseverdier gjør det nesten utelukkende grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 1). For arsen, bly og benzo(a)pyren er også oralt inntak av sediment en liten del av risikobildet.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for de miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

N2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene at det er overskridelser av PNEC i porevannet for en rekke metaller (As, Pb, Cu, Cr og Zn) når en sammenligner PNEC med målte porevannskonsentrasjoner. Som for andre områder kan porevannskonsentrasjonene være noe forhøyede grunnet innhold av små partikler. For beregnede porevannskonsentrasjoner er det kun arsen som overskrider PNEC. Det er også overskridelser av PNEC for noen PAH-forbindelser (seks forbindelser av 16 analyserte), men lavere overskridelse og for færre parametere enn det som blir teoretisk beregnet gjennom fordeling fra sedimentene. Dette er knyttet til at gjennomsnittssedimentet som det blir gjort porevannsekstraksjon fra har lavere konsentrasjoner enn gjennomsnittskonsentrasjonen fra fire sedimentstasjoner innenfor delområdet. Porevannet har også overskridelse av PNEC for TBT.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.
 Det foreligger kun målte porevannskonsentrasjoner for metaller.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,17E-03	4,15E-02	6,0E-04	2,0	69,2
Bly	1,37E-04	4,49E-03	1,3E-03	0,1	3,5
Kadmium	7,31E-07	6,94E-05	2,0E-04	0,0	0,3
Kobber	6,79E-04	3,82E-03	2,6E-03	0,3	1,5
Krom totalt (III + VI)	1,60E-04	7,57E-03	3,4E-03	0,0	2,2
Kvikksølv	8,38E-07	2,04E-05	4,7E-05	0,0	0,4
Nikkel	2,61E-03	2,74E-03	8,6E-03	0,3	0,3
Sink	5,64E-04	6,40E-03	3,4E-03	0,2	1,9
Naftalen	1,50E-03	5,00E-06	2,0E-03	0,7	0,0
Acenaftylene	3,14E-03	5,00E-06	1,3E-03	2,4	0,0
Acenaften	5,12E-04	1,60E-05	3,8E-03	0,1	0,0
Fluoren	7,14E-04	5,00E-06	1,5E-03	0,5	0,0
Fenantren	1,54E-03	5,00E-06	5,1E-04	3,0	0,0
Antracen	1,05E-03	5,00E-06	1,0E-04	10,5	0,1
Fluoranten	1,23E-03	2,30E-05	6,3E-06	195,0	3,7
Pyren	1,59E-03	5,60E-05	2,3E-05	69,0	2,4
Benzo(a)antracen	9,81E-05	5,00E-06	1,2E-05	8,2	0,4
Krysen	1,11E-04	5,00E-06	7,0E-05	1,6	0,1
Benzo(b)fluoranten	6,22E-05	1,60E-05	1,7E-05	3,7	0,9
Benzo(k)fluoranten	5,10E-05	5,00E-06	1,7E-05	3,0	0,3
Benzo(a)pyren	7,22E-05	5,00E-06	1,7E-07	425,0	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,16E-05	5,00E-06	2,7E-06	4,3	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	5,47E-06	5,00E-06	6,0E-07	9,1	8,3
Benzo(ghi)perylene	3,89E-05	2,80E-05	8,2E-07	47,5	34,1
Tributyltinn (TBT-ion)	1,97E-04	5,00E-07	2,0E-07	985,7	2,5

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Testene viser overskridelse av grenseverdi for økotoksitet for test med porevann på *Skeletonema*. Helsedimenttesten viser ikke forhøyet dødelighet som overskrider grenseverdien.

Tabell 5 Resultat og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter utenfor Fagerstrand.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, <i>Skeletonema</i> (TU)	2	1,0	2,0
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	12	TEQ < 50 ng/kg	0,3
Helsedimenttest, <i>Corophium volutator</i> (% dødelighet)	1	20 %	0,3

N3 Oppsummering

Resultater fra prøvetaking og analyse av sedimenter viser at det er en hot-spot med veldig høye PAH-konsentrasjoner i punkt P15-1. For øvrig i området er det påvist enkeltkongener av PAH i tilstandsklasse 4, men ellers er det moderat miljøtilstand for de øvrige parametere (tilstandsklasse 2-3).

For PAH-forbindelser viser resultatene at det mange forbindelsene (14 av 16 analyserte forbindelser) overskrider tillatt spredning, og den høyeste overskridelsen er for antracen (135,6 ganger). Dette er knyttet til svært høye påviste konsentrasjonsnivåer i punkt P15-1 (hot-spot). Tillatt spredning overskrides også for PCB7 (2,6 ganger).

Vurdering av risiko for human helse viser at arsen, bly, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og PCB7 overskrider grense for tillatt livstidsdose. Foruten for PCB7 er overskridelsene lave.

Risikovurdering for økologiske effekter viser at porevannet overskrider PNEC for fire metaller (arsen, bly, kobber og krom), for seks av 16 PAH-forbindelsene og TBT. Det målte porevannet har stort sett lavere overskridelser enn det som blir beregnet fra sedimentkonsentrasjoner, f.eks. viser 13 av 16 PAH-forbindelsene overskridelser av PNEC for beregnede porevannskonsentrasjoner. For målt økotoksitet overskrider grenseverdien for økotoksitet for test med *Skeletonema*, men ikke for de andre testene.

Vedlegg O

RISIKOVURDERING - DELOMRÅDE 14: ØST FOR HÅØYA

Innhold

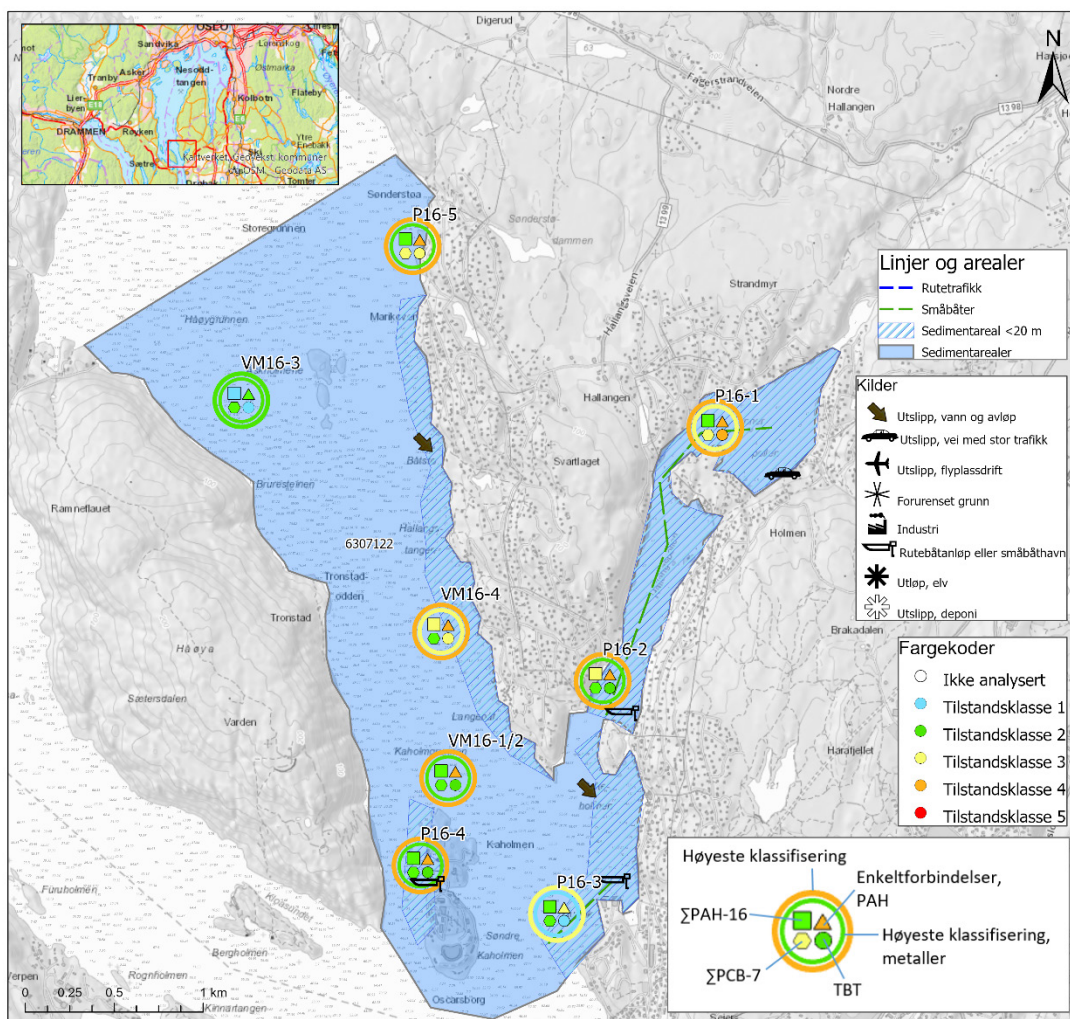
O1 Innledning	2
O1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå	2
O1.2 Parametervalg	3
O2 Beregning av risiko for delområde 16 øst for Håøya	3
O2.1 Risiko for spredning	3
O2.2 Risiko for human helse	5
O2.3 Risiko for økologiske effekter	7
O3 Oppsummering	9

O1 Innledning

O1.1 Områdebeskrivelse og forurensningsnivå

Området ligger sør i Oslofjorden mellom Håøya og Nesodden. Området strekker seg forbi Kaholmen (Oscarsborg). Området omfatter også Hallangspollen og Innerpollen. Det er mye bebyggelse vest for delområdet, samt i Hallangspollen og Innerpollen hvor det også er småbåthavner. Det er også kai/havn ved Kaholmen.

Sedimentundersøkelser viser at det er funnet PAH-komponenter og TBT i tilstandsklasse 4 i området. PCB og sink er påvist i tilstandsklasse 3. Øvrige metaller er påvist i tilstandsklasse 1-2.



Figur 1 Delområde 16 øst for Håøya. Tilstandsklassifisering for prøvene tatt i 2020 er etter grenser gitt i Veileder M-608/2016.

O1.2 Parametervalg

Tabell 1 viser de parametere som er benyttet i risikovurderingen for øst for Håøya. Forklaring og betydning av den enkelte parameter utdypes i kapittel 2.4.

Tabell 1 Oppsummering av input-parametere til risikovurderingsverktøyet for delområde 16 øst for Håøya. Parametere som er **uthevet** er de som benyttes i verktøyet, øvrige parametere er benyttet til mellomregning.

Parameter	Enhet	Delområde 16
TOC	%	1,782
Areal delområde	m ²	6 307 122
Gjennomsnittlig dyp	m	50
Vannvolum	m ³	315 356 100
Oppholdstid	år	0,02
Antall skipsanløp per år	-	3 386
Trasélengde for skipsanløp	m	2 640
Kornstørrelse > 63 µm	%	75,76
Type sediment	-	Sand
Andel rutetrafikk	%	10 %
Mengde oppvirket sediment per anløp	kg	33
Areal <20 m vanddyb	m ²	1 589 325
Areal skipspåvirket areal	m ²	794 662,5
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2mm	-	0,0048

O2 Beregning av risiko for delområde 16 øst for Håøya

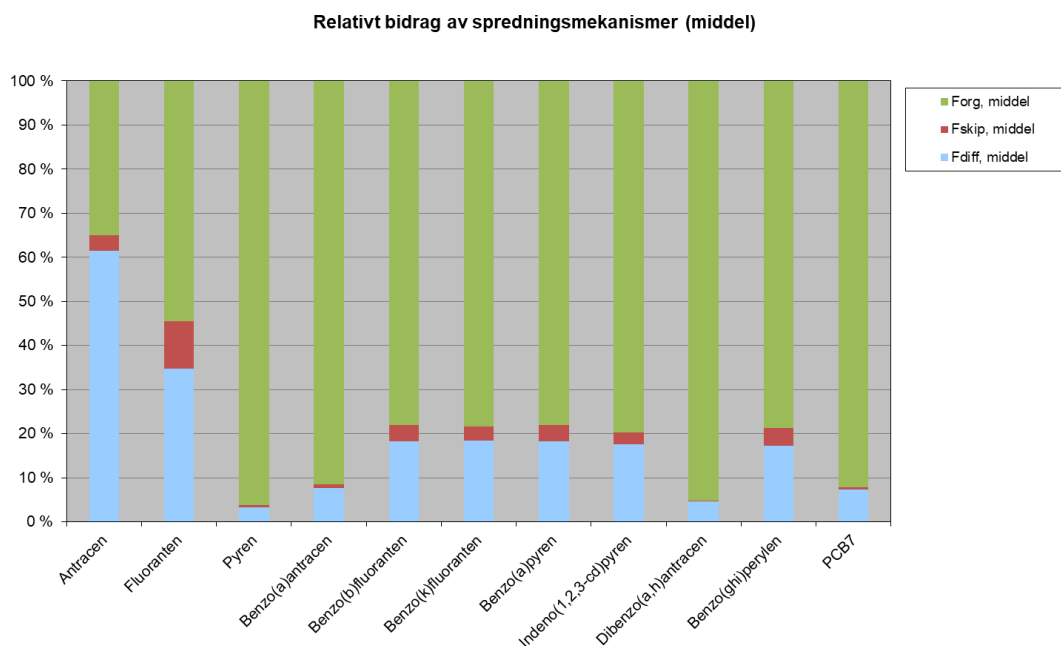
O2.1 Risiko for spredning

Risikovurdering for spredning fra sedimentet i øst for Håøya er vist i tabell 2. Resultatene viser at flere PAH-forbindelser overskrider tillatt spredning (1,8 til 11,3 ganger høyere). I tillegg overskrider PCB akseptabel spredning (9,2 ganger høyere).

Tabell 2 Spredningsberegninger for delområde 16 øst for Håøya.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org}$)	Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ($F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$)	Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):
	$F_{tot, sed-skip}$ middel [mg/m^2]	$F_{tot, skip}$ middel ($mg/m^2/år$)		
Arsen	8,34E+01	8,44E+01	1,92E+02	0,4
Bly	8,81E+00	9,93E+00	3,97E+01	0,2
Kadmium	1,56E-01	1,60E-01	3,50E+00	0,0
Kobber	1,12E+01	1,22E+01	3,65E+01	0,3
Krom totalt (III + VI)	3,26E+01	3,36E+01	1,21E+03	0,0
Kvikksølv	2,86E-02	3,45E-02	9,32E-02	0,4
Nikkel	6,96E+00	7,51E+00	1,88E+01	0,4
Sink	6,68E+00	9,32E+00	1,30E+01	0,7
Naftalen	1,07E+00	1,08E+00	2,63E+00	0,4
Acenaftilen	3,19E-02	3,26E-02	7,55E-02	0,4
Acenaften	3,46E-01	3,49E-01	3,35E+00	0,1
Fluoren	2,17E-01	2,19E-01	1,54E+00	0,1
Fenantren	8,75E-01	8,82E-01	1,54E+00	0,6
Antracen	3,93E-02	4,07E-02	3,62E-03	11,3
Fluoranten	5,89E-02	6,60E-02	6,54E-02	1,0
Pyren	1,37E+00	1,37E+00	1,36E-01	10,1
Benzo(a)antracen	2,72E-01	2,74E-01	7,11E-02	3,9
Krysen	6,67E-02	7,00E-02	9,17E-02	0,8
Benzo(b)fluoranten	1,03E-01	1,07E-01	4,74E-02	2,3
Benzo(k)fluoranten	1,03E-01	1,06E-01	5,21E-02	2,0
Benzo(a)pyren	1,03E-01	1,07E-01	5,96E-02	1,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,02E-01	1,05E-01	2,81E-02	3,7
Dibenzo(a,h)antracen	3,94E-01	3,95E-01	1,15E-01	3,4
Benzo(ghi)perylene	1,02E-01	1,06E-01	2,48E-02	4,3
Tributyltinn (TBT-ion)	3,31E-02	3,34E-02	1,05E-01	0,3
PCB7	7,01E-02	7,05E-02	7,65E-03	9,2

Relativt bidrag fra de beregnede spredningsmekanismene fra sedimentene i delområdet øst for Håøya er vist i figur 1. I figuren er kun de parametere som viser overskridelse av tillatt spredning tatt med. Som figuren viser, er det spredning med organismer som har høyest relativt bidrag for de organiske stoffene PAH-komponenter og PCB. For antracenen er imidlertid diffusjonsstyrt spredning størst. Skipsoppvirvling har meget lite bidrag i området.



Figur 2 Relativt bidrag fra de ulike spredningsmekanismene ved maks påviste konsentrasjoner for de ulike miljøgiftene. I figuren er F_{org} spredning som følge av transport med organismer, F_{skip} er spredning som følge av oppvirvling av skip og F_{diff} er spredning som følge av biodiffusjon.

O2.2 Risiko for human helse

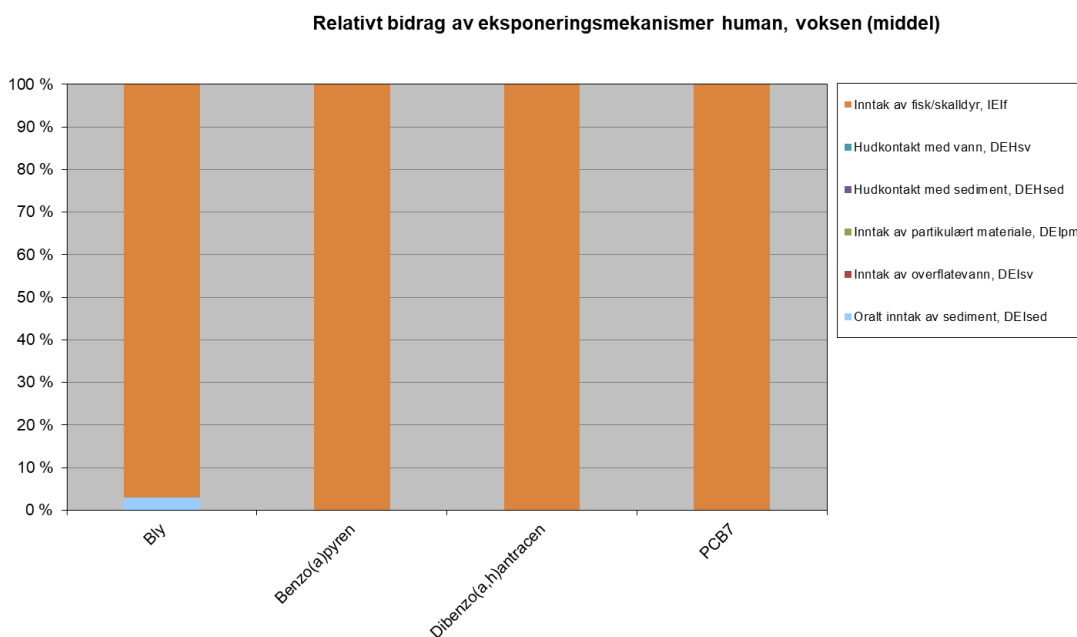
Risikovurdering for human helse forbundet med sedimentene i delområdet øst for Håøya er vist i tabell 3. Beregningene gjøres som vist i 2,3.

Risikovurdering for human helse viser at bly og PAH-komponenter overskrider grenseverdier for human helse. Bly overskrider 1,4 ganger grenseverdi mens benzo(a)pyren og dibenzo(a,h)antracenen overskrider hhv. 1,1 og 4,9 ganger grenseverdi. PCB viser høyest overskridelse med 42,5 ganger grenseverdi.

Tabell 3 Beregninger av risiko for human helse for delområde 16 øst for Håøya.

Stoff	Beregnet total livstidsdose	Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):
	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		
Arsen	5,58E-05	1,00E-04	0,6
Bly	5,13E-04	3,60E-04	1,4
Kadmium	1,54E-05	5,00E-05	0,3
Kobber	2,27E-04	1,63E-02	0
Krom totalt (III + VI)	1,60E-04	5,00E-04	0,3
Kvikksølv	5,84E-07	7,10E-05	0
Nikkel	3,63E-04	5,00E-03	0,1
Sink	1,06E-03	5,00E-02	0
Naftalen	7,58E-05	4,00E-03	0
Acenaftalen	2,51E-06	5,00E-03	0
Acenaften	4,81E-05	5,00E-02	0
Fluoren	4,56E-05	4,00E-03	0
Fenantren	4,68E-04	4,00E-03	0,1
Antracen	9,36E-06	4,00E-03	0
Fluoranten	2,38E-05	5,00E-03	0
Pyren	8,65E-04	5,00E-02	0
Benzo(a)antracen	1,64E-04	5,00E-04	0,3
Krysen	3,00E-05	5,00E-03	0
Benzo(b)fluoranten	5,48E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(k)fluoranten	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Benzo(a)pyren	5,48E-05	5,00E-05	1,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,47E-05	5,00E-04	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	2,46E-04	5,00E-05	4,9
Benzo(ghi)perylene	5,48E-05	3,00E-03	0
Tributyltinn (TBT-ion)	1,55E-05	2,50E-04	0,1
PCB7	4,25E-05	1,00E-06	42,5

En analyse av eksponeringsmekanismer for miljøgiftene, viser at de fire parametere som overskrider grenseverdier for human helse gjør det grunnet konsum av stedlig påvirket fisk og skalldyr (se figur 3). Noe som viser at den mest forekommende eksponeringsveien er frigjøring til vann, opptak i fisk og skalldyr og deretter konsum av forurenset fisk og skalldyr. For bly skjer også eksponering gjennom oralt inntak av sedimenter.



Figur 3 Eksponeringsmekanismer for metaller og de organiske miljøgifter som overskrider grenseverdien for human helse.

O2.3 Risiko for økologiske effekter

For økologiske effekter viser resultatene i at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller (arsen og krom) og flere enkeltforbindelser av PAH, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet.

Det er for noen av stoffene stor variasjon mellom beregnet porevannskonsentrasjon og målt porevannskonsentrasjon. Flere metaller viser høyere målte konsentrasjoner enn beregnede konsentrasjoner. For organiske stoffer viser flere målte verdier lavere konsentrasjoner. TBT vise betydelig lavere målte konsentrasjoner enn beregnede.

Tabell 4 Sammenligning av beregnede og målte porevannskonsentrasjoner med PNEC.

Stoff	Porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	C _{pv} , beregnet (mg/l)	C _{pv} , målt (mg/l)		Beregnet	Målt
Arsen	1,20E-03	1,25E-02	6,0E-04	2,0	20,8
Bly	2,28E-04	1,16E-03	1,3E-03	0,2	0,9
Kadmium	7,78E-07	2,50E-05	2,0E-04	0,0	0,1
Kobber	1,13E-03	2,08E-03	2,6E-03	0,4	0,8
Krom totalt (III + VI)	1,51E-04	7,38E-03	3,4E-03	0,0	2,2
Kvikksølv	1,89E-06	4,31E-06	4,7E-05	0,0	0,1
Nikkel	2,24E-03	1,32E-03	8,6E-03	0,3	0,2
Sink	7,92E-04	1,00E-03	3,4E-03	0,2	0,3
Naftalen	4,36E-04	1,50E-04	2,0E-03	0,2	0,1
Acenaftilen	2,78E-04	5,00E-06	1,3E-03	0,2	0,0
Acenaften	9,17E-05	4,90E-05	3,8E-03	0,0	0,0
Fluoren	8,80E-05	2,80E-05	1,5E-03	0,1	0,0
Fenantren	2,37E-04	3,20E-05	5,1E-04	0,5	0,1
Antracen	7,10E-05	5,00E-06	1,0E-04	0,7	0,1
Fluoranten	1,31E-04	5,00E-06	6,3E-06	20,7	0,8
Pyren	1,86E-04	1,00E-05	2,3E-05	8,1	0,4
Benzo(a)antracen	6,93E-06	5,00E-06	1,2E-05	0,6	0,4
Krysen	1,44E-05	5,00E-06	7,0E-05	0,2	0,1
Benzo(b)fluoranten	8,00E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,5	0,3
Benzo(k)fluoranten	7,25E-06	5,00E-06	1,7E-05	0,4	0,3
Benzo(a)pyren	8,34E-06	5,00E-06	1,7E-07	49,1	29,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,04E-06	5,00E-06	2,7E-06	0,8	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	6,40E-07	5,00E-06	6,0E-07	1,1	8,3
Benzo(ghi)perylene	7,31E-06	5,00E-06	8,2E-07	8,9	6,1
Tributyltinn (TBT-ion)	2,46E-04	2,64E-06	2,0E-07	1228,6	13,2

Tabell 5 viser oppsummering av toksisitetstestene som er gjennomført på sediment fra delområdet. Toksisitetstester viser ingen overskridelse av grenseverdi for økotoksisitet.

Tabell 5 Resultater og vurdering av toksisitetstester utført på sedimenter fra området vest for Gråøya.

Parameter	Målt økotoks	Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet i forhold til grenseverdi (antall ganger):
Porevann, Skeletonema (TU)	0,5	1,0	0,5
Porevann, Tisbe battagliai (TU)	0,5	1,0	0,5
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	22	TEQ < 50 ng/kg	0,4
Helsedimenttest, Corophium volutator (% dødelighet)	3	20 %	0,2

O3 Oppsummering

Sedimentundersøkelser viser at det er funnet PAH-komponenter og TBT i tilstandsklasse 4 i området. PCB og sink er påvist i tilstandsklasse 3. Øvrige metaller er påvist i tilstandsklasse 1-2.

Risikovurdering for spredning viser at flere PAH-forbindelser overskrider tillatt spredning, samt at PCB akseptabel spredning.

Risikovurdering for human helse viser at bly, PAH-komponenter og PCB overskrider grenseverdier for human helse.

For økologiske effekter viser resultatene i at det er en overskridelse av PNEC i porevannet for metaller (arsen og krom) og flere enkeltforbindelser av PAH, samt TBT ved bruk av målte konsentrasjoner i porevannet. Toksisitetstester viser imidlertid ikke overskridelse av toksisitet.

Vedlegg P

BEREGNINGSGRUNNLAG FOR STEDSSPESIFIKKE FORDELINGSKOEFFISIENTER (K_d - VERDIER)

Innhold

P1	Beregning av stedsspesifikke fordelingskoeffisienter (K_d-verdier)	2
P1.1	Beregningsgrunnlag for metaller	3
P1.2	Beregningsgrunnlag for PAH-forbindelser og TBT	5

P1 Beregning av stedsspesifikke fordelingskoeffisienter (K_d-verdier)

Beregning av stedsspesifikke fordelingskoeffisienter gjøres som beskrevet i hovedrapporten. Formel for utregning er:

$$K_d = \frac{C_{sed}}{C_{pv}}$$

Hvor

C_{sed} er påviste konsentrasjoner i sedimenter (mg/kg)

C_{pv} er påviste konsentrasjoner i porevann (mg/L)

K_d har enheten L/kg og beregnes for alle parametere som er analysert både i porevann og sedimenter.

I det følgende oppgis konsentrasjonsnivåer som benyttes for beregning av K_d-verdier for metaller, PAH-forbindelse og PCB. PCB-kongener er ikke påvist i porevann, og det beregnes derfor ikke K_d-verdier for disse, da de ikke vil redusere usikkerheten i spredningsvurderinger.

Det er gjennomsnittskonsentrasjoner påvist innenfor områdene som benyttes i beregningen av K_d-verdiene. Dette fører til noe usikkerhet, som diskuteres i vedlegg Q.

Konsekvensen for risikovurderingene ved å benytte K_d-verdier beregnet fra porevann og porevannssedimenter er testet for områder 1 (indre Bunnefjord), 3 (øst for Nesodd-tangen) og 8 (Sandvika). Dette har blitt gjort ved å overstyre hvilke K_d-verdier som verktøyet benytter i beregningene. Fra dette forsøket konkluderes det:

- Risiko for spredning: Det er svært små endringer i beregnet spredning (ned på desimaler når en ser på antall ganger tillatt spredning), og endringen vil ikke ha noe å si for vurdering av overordna risiko for spredning
- Risiko for human helse: Ved å benytte "ekte" K_d-verdier vil en få noe endringer i risiko for human helse. Det kommer av at K_d-verdien inngår i beregningene for eksponeringsveier for human helse. Om det vil føre til høyere eller lavere risiko for det enkelte området vil være avhengig av om porevannssedimentet er høyere eller lavere enn gjennomsnittskonsentrasjoner av de fem sedimentprøver innenfor området. Siden metodikken for de ulike områdene er lik, og de samme parameterne påvirkes omtrent i samme retning, vil den relative forskjellen mellom områdene ikke påvirkes
- Risiko for økologiske effekter: Vil være den samme, fordi risikoen vurderes fra målte porevannskonsentrasjoner. Disse vil ikke endres

P1.1 Beregningsgrunnlag for metaller

P1.1.1 Sedimentkonsentrasjoner (C_{sed})

Sedimentkonsentrasjoner (gjennomsnitt av sedimentkonsentrasjoner innenfor hvert delområde som vist i NGI, 2021) for metaller er gitt i tabell 1 (delområder 1 til 8) og tabell 2 (delområder 9 til 16).

Tabell 1 Gjennomsnittlige sedimentkonsentrasjoner for metaller (i mg/kg) i delområder 1 til 8

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
As	10	8,6	7,3	32	12	11	10	8,2
Pb	36	31	26	97	80	61	41	52
Cd	0,69	0,30	0,11	0,22	15	1,8	0,39	1,1
Cu	46	38	24	48	101	92	62	75
Cr	34	29	25	50	39	95	39	40
Hg	0,24	0,33	0,12	0,32	0,65	0,48	0,33	0,32
Ni	27	24	21	24	36	35	37	30
Zn	166	131	84	132	219	280	173	274

Tabell 2 Gjennomsnittlige sedimentkonsentrasjoner for metaller (i mg/kg) i delområder 9 til 16.

Parameter	P9	P10	P12	P13	P14	P15	P16
As	8,4	14	6,7	7,6	7,36	7,8	7,9
Pb	28	33	22	23	25	21	35
Cd	0,10	0,11	0,07	0,13	0,16	0,095	0,1
Cu	40	34	20	23	21	17	27
Cr	31	45	27	22	18	19	18
Hg	0,13	0,32	0,11	0,069	0,055	0,084	0,2
Ni	28	36	26	23	15	18	16
Zn	99	123	72	87	83,4	62	87

P1.1.2 Porevannskonsentrasjoner (C_{pv})

Målte porevannskonsentrasjoner for metaller er gitt i tabell 3 (delområder 1 til 8) og tabell 4 (delområder 9 til 16). Merk at porevannet i delområde 10 (Midt i Oslofjorden) er filtrert før analyse grunnet synlige partikler i prøven.

Tabell 3 Målte porevannskonsentrasjoner for metaller (i mg/L) i delområder 1 til 8. Grønne verdier er parametere som ikke er påvist over rapporteringsgrensa. Her benyttes halve rapporteringsgrensa til utregning (tallet som står i cella).

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
As	0,023	0,038	0,017	0,13	0,10	0,013	0,044	0,013
Pb	0,0030	0,13	0,00072	0,11	0,062	0,029	0,00074	0,030
Cd	0,00017	0,00086	0,000080	0,00040	0,00014	0,00058	0,000025	0,00073
Cu	0,0074	0,10	0,0016	0,082	0,049	0,044	0,0025	0,037
Cr	0,014	0,022	0,0023	0,049	0,028	0,21	0,0075	0,021
Hg	0,000023	0,0012	0,0000037	0,00097	0,00045	0,00031	0,000021	0,00047
Ni	0,0023	0,010	0,0023	0,0087	0,0055	0,0049	0,0018	0,0060
Zn	0,0086	0,18	0,0040	0,11	0,072	0,088	0,0036	0,12

Tabell 4 Målte porevannskonsentrasjoner for metaller (i mg/L) i delområder 9 til 16. Grønne verdier er parametere som ikke er påvist over rapporteringsgrensa. Her benyttes halve rapporteringsgrensa til utregning (tallet som står i cella).

Parameter	P9	P10	P12	P13	P14	P15	P16
As	0,037	0,012	0,019	0,014	0,019	0,042	0,013
Pb	0,019	0,00015	0,00078	0,0021	0,0012	0,0045	0,0012
Cd	0,00010	0,000093	0,00013	0,000055	0,000078	0,000069	0,000025
Cu	0,018	0,015	0,0041	0,0027	0,0030	0,0038	0,0021
Cr	0,012	0,012	0,0060	0,0011	0,0053	0,0076	0,0074
Hg	0,00012	0,0000010	0,0000037	0,0000048	0,0000037	0,000020	0,0000043
Ni	0,0034	0,0048	0,0013	0,0022	0,00088	0,0027	0,0013
Zn	0,028	0,0056	0,0078	0,0041	0,0042	0,0064	0,001

P1.2 Beregningsgrunnlag for PAH-forbindelser og TBT

P1.2.1 Sedimentkonsentrasjoner (C_{sed})

Sedimentkonsentrasjoner (gjennomsnitt av sedimentkonsentrasjoner innenfor hvert delområde som vist i NGI, 2021) for PAH-forbindelser og TBT er gitt i tabell 5 (delområder 1 til 7) og tabell 6 (delområder 8 til 16).

Tabell 5 Gjennomsnittlige sedimentkonsentrasjoner for PAH-forbindelser og TBT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) i delområder 1 til 7. Grønne verdier er parametere som ikke er påvist over rapporteringsgrensa. Her benyttes halve rapporteringsgrensa til utregning (tallet som står i cella).

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Naftalen	10	18	10	64	16	14	9,2
Acenaftylene	16	33	11	26	28	19	13
Acenaften	5	8,2	5	44	6,4	6,6	7
Fluoren	11	15	6,2	41	13	11	15
Fenantren	54	130	28	303	55	54	127
Antracen	35	61	20	78	33	30	51
Fluoranten	147	294	78	188	137	152	338
Pyren	155	299	77	443	154	184	283
Benzo(a)antracen	29	90	15	200	46	53	94
Krysen	74	156	36	200	95	100	139
Benzo(b)fluoranten	115	141	46	ia	89	138	182
Benzo(k)fluoranten	97	146	51	113	112	153	199
Benzo(a)pyren	115	200	59	77	124	142	252
Indeno(123cd)pyren	70	134	41	90	92	115	124
Dibenzo(ah)antracen	19	38	13	ia	27	30	44
Benzo(ghi)perylene	121	208	72	113	162	186	191
TBT	7,8	3,6	3,0	21	70	47	23

Tabell 6 Gjennomsnittlige sedimentkonsentrasjoner for PAH-forbindelser og TBT (i $\mu\text{g}/\text{kg}$) i delområder 8 til 16. Grønne verdier er parametere som ikke er påvist over rapporteringsgrensa. Her benyttes halve rapporteringsgrensa til utregning (tallet som står i cella).

Parameter	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P16
Naftalen	5	5	6,4	8,2	6	23	9
Acenaftylene	6,4	9,4	11	5	7,4	107	11
Acenaften	5	5	6	11	5	34	8
Fluoren	5	5	9,2	12	5	95	15
Fenantren	12	44	63	79	24	761	141
Antracen	7	16	28	31	12	408	30
Fluoranten	45	133	166	173	93	1593	195
Pyren	57	107	148	156	116	1187	166
Benzo(a)antracen	17	41	60	45	22	655	54
Krysen	29	57	82	76	45	575	88
Benzo(b)fluoranten	53	102	125	92	83	647	97
Benzo(k)fluoranten	43	86	113	123	87	503	79
Benzo(a)pyren	38	90	119	143	87	764	99
Indeno(123cd)pyren	36	72	77	72	62	318	68
Dibenzo(ah)antracen	12	23	27	28	20	125	17
Benzo(ghi)perylene	53	102	109	123	109	418	106
TBT	253	15	12	5,9	7,8	2,9	4,8

P1.2.2 Porevannskonsentrasjoner (C_{pv})

Målte porevannskonsentrasjoner for PAH-forbindelser og TBT er gitt i tabell 7 (delområder 1 til 8) og tabell 8 (delområder 9 til 16).

Tabell 7 Målte porevannskonsentrasjoner for PAH-forbindelser og TBT (i $\mu\text{g/L}$) i delområder 1 til 7. Grønne verdier er parametere som ikke er påvist over rapporteringsgrensa. Her benyttes halve rapporteringsgrensa til utregning (tallet som står i cella).

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Naftalen	5,1	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,4
Acenaftylen	0,018	0,005	0,012	0,005	0,005	0,005	0,005
Acenaften	1,1	0,005	0,13	0,005	0,005	0,005	0,16
Fluoren	0,75	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,12
Fenantren	0,78	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,13
Antracen	0,18	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,03
Fluoranten	0,16	0,071	0,031	0,041	0,012	0,046	0,032
Pyren	0,095	0,075	0,013	0,035	0,02	0,038	0,023
Benzo(a)antracen	0,005	0,031	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Krysen	0,005	0,026	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Benzo(b)fluoranten	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Benzo(k)fluoranten	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Benzo(a)pyren	0,005	0,022	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Indeno(123cd)pyren	0,005	0,016	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Dibenzo(ah)antracen	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Benzo(ghi)perylene	0,005	0,014	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
TBT	0,0012	0,0038	0,0014	0,0055	0,0024	0,0084	0,0027

Tabell 8 Målte porevannskonsentrasjoner for PAH-forbindelser og TBT (i µg/L) i delområder 8 til 16. Grønne verdier er parametere som ikke er påvist over rapporteringsgrensa. Her benyttes halve rapporteringsgrensa til utregning (tallet som står i cella).

Parameter	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P16
Naftalen	0,53	0,38	0,005	0,005	0,15	0,005	0,15
Acenaftylene	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Acenaften	0,19	0,2	0,005	0,005	0,056	0,016	0,049
Fluoren	0,15	0,13	0,005	0,005	0,04	0,005	0,028
Fenantren	0,2	0,16	0,005	0,011	0,052	0,005	0,032
Antracen	0,057	0,041	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Fluoranten	0,056	0,033	0,015	0,023	0,014	0,023	0,005
Pyren	0,085	0,022	0,023	0,024	0,021	0,056	0,01
Benzo(a)antracen	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Krysen	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Benzo(b)fluoranten	0,011	0,005	0,005	0,005	0,005	0,016	0,005
Benzo(k)fluoranten	0,012	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Benzo(a)pyren	0,013	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Indeno(123cd)pyren	0,011	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Dibenzo(ah)antracen	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Benzo(ghi)perylene	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,028	0,005
TBT	0,0448	0,0053	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0026

Vedlegg Q

SAMMENSTILLING AV
KONSENTRASJONSNIVÅER I
POREVANSSSEDIMENTER
SAMMENLIGNET MED GJENNOMSNITT
AV SEDIMENTKONSENTRASJONER

Innhold

Q1 Tilstandsklasser i sedimentprøvene	2
Q1.1 Porevannssedimenter	2
Q1.2 Gjennomsnitt av sedimentkonsentrasjoner	4
Q1.3 Sammenligning	6

Q1 Tilstandsklasser i sedimentprøvene

Q1.1 Porevannssedimenter

Resultater fra analyse av porevannssedimenter er vist i tabell 1, og er klassifisert i henhold til tilstandsklasser i M-608. Analyseoriginaler er gitt i NGI (2021).

Tabell 1 Påviste konsentrasjoner i porevannssedimenter, klassifisert i henhold til M-608. Hvite celler er under rapporteringsgrensen, og vist som halve rapporteringsgrensen.

Parameter	Enhet	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P12	P13	P14	P15	P16
As (Arsen)	mg/kg TS	17	13	21	23	23	17	13	15	8,4	5,3	5,3	6,3	6,2	5,5	7,5
Pb (Bly)	mg/kg TS	66	49	33	110	140	76	70	93	34	6	23	20	32	20	24
Cu (Kobber)	mg/kg TS	95	51	33	170	190	130	90	120	33	6,5	21	23	200	19	16
Cr (Krom)	mg/kg TS	59	33	25	93	80	280	49	62	31	25	26	22	18	16	16
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	1,6	0,88	0,46	1,3	1,5	1,6	0,56	2,8	0,13	0,01	0,04	0,08	0,25	0,16	0,27
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,22	0,09	0,005	0,02	0,22	0,25	0,27	0,56	0,06	0,005	0,005	0,005	0,005	0,03	0,03
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	50	21	24	44	60	40	41	39	31	28	25	24	19	15	15
Zn (Sink)	mg/kg TS	300	150	89	310	370	330	210	490	110	34	77	72	160	57	68
Naftalen	µg/kg TS	30	28	10	160	30	29	27	22	5	5	5	16	11	15	5
Acenaftalen	µg/kg TS	21	22	5	41	24	14	32	16	5	5	5	17	17	23	15
Acenaften	µg/kg TS	15	14	5	68	15	14	19	5	5	5	5	5	5	12	5
Fluoren	µg/kg TS	26	26	5	92	29	30	43	20	5	5	14	17	16	23	16
Fenantren	µg/kg TS	120	150	19	320	120	120	330	90	33	11	68	99	76	180	87
Antracen	µg/kg TS	46	56	8,1	130	52	43	120	34	12	4,8	31	46	40	95	42
Fluoranten	µg/kg TS	260	290	42	420	300	250	750	220	73	11	120	190	160	370	160
Pyren	µg/kg TS	280	280	39	590	290	270	650	350	70	11	110	180	230	390	160
Benzo(a)antracen	µg/kg TS	110	120	15	190	130	97	280	97	30	5	51	82	71	170	74
Krysen	µg/kg TS	120	130	18	220	150	120	280	130	37	5	54	89	88	180	82
Benzo(b+)fluoranten	µg/kg TS	180	190	21	320	230	290	220	210	66	5	59	57	120	210	130
Benzo(k)fluoranten	µg/kg TS	120	130	18	230	160	140	230	200	44	5	49	88	78	140	84
Benzo(a)pyren	µg/kg TS	110	130	16	260	150	120	280	130	35	5	53	97	98	200	91
Dibenzo(ah)antracen	µg/kg TS	36	43	5	75	50	39	67	40	15	5	24	32	43	73	34
Benzo(ghi)perylene	µg/kg TS	120	140	19	230	160	140	220	150	59	5	64	110	190	320	150
Indeno(123cd)pyren	µg/kg TS	98	120	14	180	130	110	180	130	43	5	49	79	100	170	100
Sum PAH-16	µg/kg TS	1700	1900	240	3500	2000	1800	3700	1800	520	38	750	1200	1300	2600	1200
Sum PCB7	µg/kg TS	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	9,2	7,8	6,7	14
Tributyltinnkation	µg/kg TS	5,31	8,48	1,49	25,1	13	44,6	4,75	145	3,38	0,5	4,18	10,1	3,34	2,86	3,92

Q1.2 Gjennomsnitt av sedimentkonsentrasjoner

Gjennomsnittet av sedimentanalyser av de fem prøvene tatt innenfor de ulike delområdene er vist i tabell 2, og er klassifisert i henhold til tilstandsklasser i M-608. Det er gjennomsnittsverdien som er benyttet som datagrunnlag for sedimentkonsentrasjoner i risikovurderingsverktøyet. Konsentrasjonsverdiene for de individuelle prøvene som danner grunnlag for gjennomsnittet vist her, samt analyseoriginaler fra prøver analysert i dette prosjektet er vist i NGI (2021)

Tabell 2 Gjennomsnittssedimentkonsentrasjoner benyttet i risikovurderingsverktøyet for delområder 1 til 16. Resultatene er klassifisert i henhold til M-608.

Parameter	Enhet	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P12	P13	P14	P15	P16
As (Arsen)	mg/kg TS	10	9	7	8	12	11	10	8	8	8	7	8	7	8	8
Pb (Bly)	mg/kg TS	36	31	26	28	80	61	41	52	28	28	22	23	25	21	35
Cu (Kobber)	mg/kg TS	46	38	24	40	101	92	62	75	40	40	20	23	21	17	27
Cr (Krom)	mg/kg TS	34	29	25	31	39	95	39	40	31	31	27	22	18	19	18
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	0,69	0,30	0,11	0,10	14,52	1,75	0,39	1,14	0,10	0,10	0,07	0,13	0,16	0,10	0,10
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,24	0,33	0,12	0,13	0,65	0,48	0,33	0,32	0,13	0,13	0,11	0,07	0,06	0,08	0,19
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	27	24	21	28	36	35	37	30	28	28	26	23	15	18	16
Zn (Sink)	mg/kg TS	166	131	84	99	219	280	173	274	99	99	72	87	83	62	87
Naftalen	µg/kg TS	15	24	11	5	23	28	15	17	5	5	9	12	8	26	10
Acenaftylene	µg/kg TS	24	40	12	10	33	37	18	27	10	10	13	6	9	110	13
Acenaften	µg/kg TS	6	11	5	5	9	9	8	13	5	5	7	14	5	35	8
Fluoren	µg/kg TS	13	22	7	6	18	26	21	18	6	6	11	14	5	98	16
Fenantren	µg/kg TS	72	212	32	43	85	104	172	47	43	43	86	106	37	772	157
Antracen	µg/kg TS	45	71	19	16	46	57	68	32	16	16	37	41	18	417	37
Fluoranten	µg/kg TS	196	456	89	129	210	292	468	119	129	129	225	231	140	1620	227
Pyren	µg/kg TS	211	469	92	105	224	356	394	162	105	105	195	207	177	1262	195
Benzo(a)antracen	µg/kg TS	41	163	18	40	81	104	129	44	40	40	80	60	32	664	62
Krysen	µg/kg TS	100	249	42	55	126	194	196	80	55	55	110	102	68	595	102
Benzo(b+j)fluoranten	µg/kg TS	157	202	55	98	166	262	258	155	98	98	165	124	127	699	119
Benzo(k)fluoranten	µg/kg TS	132	208	60	82	130	294	286	108	82	82	152	167	132	547	103
Benzo(a)pyren	µg/kg TS	154	290	70	88	168	276	356	104	88	88	160	193	129	811	124
Dibenzo(ah)antracen	µg/kg TS	26	50	15	23	56	58	65	33	23	23	37	38	30	144	22
Benzo(ghi)perylene	µg/kg TS	172	298	88	98	205	350	274	143	98	98	140	165	168	538	133
Indeno(123cd)pyren	µg/kg TS	96	213	51	71	120	218	180	103	71	71	102	95	97	369	85
Sum PAH-16	µg/kg TS	1460	2977	666	873	1700	2665	2908	1204	873	873	1529	1575	1182	8706	1414
Sum PCB7	µg/kg TS	29	128	8	11	52	133	30	81	11	11	9	9	10	3	10
Tributyltinnkation	µg/kg TS	8	4	3	15	70	47	23	253	15	15	12	6	8	3	5

Q1.3 Sammenligning

En sammenligning av porevannssedimenter og gjennomsnittskonsentrasjoner av de individuelle prøvene er vist i tabell 3. Blå (negative verdier) i tabellen indikerer prøver der porevannssedimentkonsentrasjoner er høyest, mens røde (positive) verdier er der porevannssedimentkonsentrasjoner er lavest. I verdier med grå cellebakgrunn, er ikke parameteren påvist i porevannssedimenter.

Konsekvensen av ulikheter i påviste konsentrasjonsnivåer er usikkerheter knyttet til porevannresultatene som lastes inn i beregningsverktøyet. Dersom porevannssedimentene viser høyere konsentrasjoner enn gjennomsnittssedimentet, vil trolig porevannet ha høyere konsentrasjonsnivå enn det ville hatt dersom konsentrasjonsnivåene hadde vært like. Omvendt vil porevannet ha lavere konsentrasjoner enn forventet fra gjennomsnittskonsentrasjoner, dersom porevannssedimentene er lavere enn gjennomsnittssedimentet.

For de ulike delområdene oppsummeres trender i det følgende:

- Delområde 1 – indre Bunnefjord: For metallene er konsentrasjoner i porevannssedimentet stort sett høyere enn gjennomsnittskonsentrasjoner i sedimentene. Unntaket er for kvikksølv, der konsentrasjonene er ganske like. For PAH-forbindelser er porevannssedimentet generelt sett noe høyere enn gjennomsnittskonsentrasjonene. PCB7-konsentrasjonene er høyere i gjennomsnittskonsentrasjoner enn i porevannssedimentet, mens konsentrasjonsnivået av TBT er likt
- Delområde 2 – sør for Malmøya: For metallene er konsentrasjoner i porevannssedimentet stort sett høyere enn gjennomsnittskonsentrasjoner i sedimentene. Unntaket er for kvikksølv, der konsentrasjonen i gjennomsnittssedimentet er mye høyere enn porevannssedimentet. For PAH-forbindelser og PCB7 er gjennomsnittssedimentet gjennomgående høyere enn konsentrasjoner i porevannssedimentet. Konsentrasjonsnivået for TBT er relativt likt
- Delområde 3 – øst for Nesoddtangen: For metallene er konsentrasjoner i porevannssedimentet stort sett høyere enn gjennomsnittskonsentrasjoner i sedimentene. Unntaket er for kvikksølv, der konsentrasjonen i gjennomsnittssedimentet er mye høyere enn porevannssedimentet. For PAH-forbindelser og PCB7 er gjennomsnittssedimentet gjennomgående høyere enn konsentrasjoner i porevannssedimentet. Konsentrasjonsnivået for TBT er relativt likt
- Delområde 4 – mellom Sjursøya og Malmøya: For metaller, PAH-forbindelser og TBT er konsentrasjoner i porevannssedimentet høyere enn gjennomsnittskonsentrasjoner i sedimentene. Kvikksølv og TBT har høyere påvist konsentrasjon i gjennomsnittssedimentet enn i porevannssedimentet
- Delområde 5 – Lysaker: For metaller (bortsett fra kadmium og kvikksølv) og de lette PAH-forbindelser (til og med fenantren) er konsentrasjoner i porevannssedimentet høyere enn gjennomsnittskonsentrasjoner. For de øvrige parameterne er gjennomsnittskonsentrasjonene høyere. Merk spesielt at kadmium, kvikksølv og PCB7 har store avvik, og gjennomsnittskonsentrasjoner er for disse parameterne mye høyere enn i porevannssedimentet
- Delområde 6 – Holtekilen: For metallene er konsentrasjoner i porevannssedimentet stort sett høyere enn gjennomsnittskonsentrasjoner i sedimentene.

Unntaket er for kadmium og kvikksølv. For organiske miljøgifter (PAH, PCB og TBT) er konsentrasjonsnivået stort sett lavere i porevannssedimentet enn i gjennomsnittssedimentet

- ↗ Delområde 7 – Hundesundet: For delområde 7 er konsentrasjonsnivåer i porevannssedimentet stort sett høyere enn konsentrasjoner i gjennomsnittssedimentet. Unntaket er for kvikksølv, PCB7 og TBT; samt for noen tynge PAH-forbindelser
- ↗ Delområde 8 – Sandvika: For delområde 7 er konsentrasjonsnivåer i porevannssedimentet stort sett høyere enn konsentrasjoner i gjennomsnittssedimentet. Unntaket er for PCB7 og TBT, samt for noen lette PAH-forbindelser
- ↗ Delområde 9 - Leangbukta: Gjennomsnittskonsentrasjoner er gjennomgående høyere enn i porevannssedimentet. Unntaket er for noen metaller
- ↗ Delområde 10 – midt i Oslofjorden: Gjennomsnittskonsentrasjoner er gjennomgående høyere enn porevannssedimentet
- ↗ Delområde 12 – Blakstad: Gjennomsnittskonsentrasjoner er gjennomgående høyere enn i porevannssedimentet. Unntaket er for noen metaller, der konsentrasjonsnivåene er relativt like
- ↗ Delområde 13 – Slemmestad: Gjennomsnittskonsentrasjoner er gjennomgående høyere enn i porevannssedimentet. Unntaket er for noen metaller og lette PAH-forbindelser, der konsentrasjonsnivåene er relativt like
- ↗ Delområde 14 – Vest for Gråøya: Konsentrasjonsnivåer i porevannssedimentet er høyere enn konsentrasjoner i gjennomsnittssedimentet for de fleste PAH-forbindelser og metaller. Gjennomsnittskonsentrasjoner er høyere enn i porevannssedimentet for PCB7 og TBT, samt for noen lette PAH-forbindelser, arsen og kvikksølv
- ↗ Delområde 15 – Fagerstrand: Gjennomsnittskonsentrasjoner er stort sett høyere enn i porevannssedimentet. Unntaket er for noen metaller og PCB7
- ↗ Delområde 16 – Øst for Håøya: Gjennomsnittskonsentrasjoner er stort sett høyere enn i porevannssedimentet. Unntaket er for kadmium, noen PAH-forbindelser og PCB7. For TBT er konsentrasjonene like

Tabell 3 Sammenligning av porevannssedimentkonsentrasjoner og gjennomsnitt av sedimentkonsentrasjoner. Blå (negative verdier) er der porevannsedimenter er høyest, mens røde (positive) verdier er der porevannskonsentrasjoner er lavest. I verdier med grå cellebakgrunn, er ikke parameteren påvist i porevannssedimentet og halve rapporteringsgrensen brukt i sammenligningen.

Parameter	Enhet	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P12	P13	P14	P15	P16
As (Arsen)	mg/kg TS	-38	-34	-65	-63	-49	-33	-23	-46	1	59	27	20	19	41	6
Pb (Bly)	mg/kg TS	-45	-37	-22	-75	-43	-19	-42	-44	-18	367	-6	13	-22	6	47
Cu (Kobber)	mg/kg TS	-51	-26	-28	-77	-47	-29	-31	-37	21	514	-4	-2	-89	-13	72
Cr (Krom)	mg/kg TS	-42	-12	2	-67	-52	-66	-20	-36	-1	23	3	-1	0	20	14
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	-57	-66	-77	-92	868	10	-30	-59	-22	917	75	63	-34	-41	-63
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	8	269	2300	533	195	93	21	-44	111	2433	2080	1280	1000	179	531
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	-46	13	-11	-37	-41	-12	-9	-23	-10	-1	4	-6	-20	23	6
Zn (Sink)	mg/kg TS	-45	-13	-6	-68	-41	-15	-17	-44	-10	192	-7	20	-48	9	28
Naftalen	µg/kg TS	-49	-15	14	-97	-23	-3	-43	-22	0	0	84	-26	-25	75	102
Acenaftalen	µg/kg TS	13	83	136	-75	35	161	-44	67	103	103	160	-62	-47	379	-14
Acenaften	µg/kg TS	-59	-22	0	-93	-41	-36	-58	151	0	0	40	172	0	194	67
Fluoren	µg/kg TS	-50	-14	32	-93	-37	-15	-51	-11	20	20	-21	-15	-69	327	0
Fenantren	µg/kg TS	-40	41	68	-87	-29	-13	-48	-48	30	291	26	7	-52	329	80
Antracen	µg/kg TS	-1	27	132	-88	-11	33	-43	-5	35	237	21	-11	-55	338	-11
Fluoranten	µg/kg TS	-25	57	112	-69	-30	17	-38	-46	77	1073	88	22	-13	338	42
Pyren	µg/kg TS	-25	67	135	-82	-23	32	-39	-54	50	853	77	15	-23	224	22
Benzo(a)antracen	µg/kg TS	-62	36	17	-79	-38	7	-54	-55	32	693	57	-27	-55	290	-16
Krysen	µg/kg TS	-17	92	133	-75	-16	62	-30	-38	49	1003	103	15	-23	230	25
Benzo(b+j)fluoranten	µg/kg TS	-13	6	160	-69	-28	-10	17	-26	49	1863	180	117	6	233	-9
Benzo(k)fluoranten	µg/kg TS	10	60	234	-64	-19	110	24	-46	87	1543	210	90	70	290	22
Benzo(a)pyren	µg/kg TS	40	123	339	-66	12	130	27	-20	150	1653	203	99	32	306	36
Dibenzo(ah)antracen	µg/kg TS	-28	16	208	-69	12	48	-4	-17	53	360	53	18	-31	97	-35
Benzo(ghi)perylene	µg/kg TS	43	113	365	-58	28	150	25	-5	66	1853	118	50	-11	68	-11
Indeno(123cd)pyren	µg/kg TS	-2	78	263	-61	-8	98	0	-21	64	1310	107	21	-3	117	-15
Sum PAH-16	µg/kg TS	-14	57	177	-75	-15	48	-21	-33	68	2198	104	31	-9	235	18
Sum PCB7	µg/kg TS	1350	6290	320	470	2477	6530	1409	3939	470	470	350	-2	29	-59	-29
Tributyltinnkation	µg/kg TS	3	-7	2	-15	82	4	24	182	15	16	10	-5	6	0	1

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Risikovurdering av sedimenter i 15 delområder i indre Oslofjord		Dokumentnr./Document no. 20200524-02-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client Fagrådet for vann og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord	Dato/Date 2021-01-29
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract NGI		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Oslo og Viken	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Oslo, Nesodden, Ås, Nordre Follo, Bærum og Asker	Felt navn/Field name
Sted/Location Indre Oslofjord	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns-kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter-disciplinary review by:
0	Originaldokument	2021-01-29 Gøril Aasen Slinde	2021-01-29 Gijs Breedveld		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 29. januar 2021	Prosjektleder/Project Manager Gøril Aasen Slinde
--	-------------------------------------	--

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

