

MAI 2014  
RENE LISTERFJORDER

# TILTAKSPLAN FASE 1 FOR INDREVIKA I FEDAFJORDEN, KVINESDAL KOMMUNE





MAI 2014  
RENE LISTERFJORDER

## TILTAKSPLAN FASE 1 FOR INDREVIKA I FEDAFJORDEN, KVINESDAL KOMMUNE

OPPDRAGSNR. A040389  
DOKUMENTNR. RAP002  
UTGIVELSESDATO 15.05.2014  
UTARBEIDET Arve Misund, Silje Nag Ulla  
KONTROLLERT Oddmund Soldal  
GODKJENT Arve Misund



# INNHold

1	Sammendrag	7
2	Innledning	9
2.1	Tiltaksplan	9
2.2	Miljømålsetting	11
2.3	Rammebetingelser	12
2.4	Kommunikasjon	13
2.5	Finansieringsplan	13
2.6	Identifiserte datamangler	13
2.7	Detaljplanlegging og prosjektering	14
3	Tiltaksvurderinger	16
3.1	Nullalternativet	16
3.2	Isolere på stedet	17
3.3	Mudring og disponering	19
4	Miljøvurdering	21
5	Tiltaksplan for Indrevika fase 1	24
5.1	Tiltaksområdet	24
5.2	Historikken	25
5.3	Problemformulering	26
5.4	Tiltaksalternativer	29
5.5	Miljøvurdering	30
5.6	Anbefaling	33
5.7	Kostnadsvurdering	33
6	Referanser	35



# 1 Sammendrag

Risikovurderingen som er gjennomført på bakgrunn av målte sedimentkonsentrasjoner og økotokestester viser at det foregår spredning fra sedimentene, og at det er en risiko for negative økologiske effekter på organismesamfunnet i de aktuelle delområdene, og i prinsippet store deler av Indrevika og det indre fjordbassenget i Fedafjorden.

Sedimentene i de kartlagte områdene er på samme forurensningsnivå som i undersøkelsene i 2010. Miljømyndighetene bruker generelt grenseverdien mellom tilstandsklasse (TKL) II og III i sedimentene som miljømål i områder der kilder er sanert. I Indrevika overstiger alle sedimentprøvene TKL III. Spredningsvurderinger viser at forurensningen er i omløp, noe som sammen med forurensningsnivået utløser behov for tiltak.

Det finnes mange ulike tiltaksalternativer for forurensete sedimenter og forurenset jord, hovedprinsippene for tiltak er:

1. Nullalternativet
2. Isolere på stedet
3. Behandle på stedet
4. Fjerne og isolere
5. Fjerne og behandle

Området i Indrevika er vurdert mht. behov for tiltak. Formålet med å gjennomføre tiltak er å oppnå risikoreduksjon ved at den verste forurensningen fjernes. Vurdering av behov for tiltak bør være forankret i lokale miljømål slik at effekt og måloppnåelse kan vurderes.

## **Vurdering av behov for tiltaksløsninger**

Nedenfor følger en foreløpig vurdering av behov for tiltak i Indrevika fordelt på aktuelle tiltaksmetoder. For å fatte gode beslutninger er det viktig å ha klare mål for arbeidet. Det er trolig mange mulige veier frem til målet. Vi er nå i en fase der tiltaksplanen er under utvikling og de foreløpige forslagene til tiltaksløsninger gitt nedenfor er derfor et grunnlag for videre diskusjon for å komme frem de de beste kost-nytte baserte løsningene.

### **Nullalternativet**

Generelt beskriver dette en situasjon hvor en i utgangspunktet ikke skal foreta noe videre med de forurensete sedimentene. Forurensningssituasjonen er kjent, men av ulike årsaker velges det å la sedimentene ligge urørt der de ligger.

Under Nullalternativet defineres en lang rekke aktiviteter og forhold som kan iverksettes uten å gjøre fysiske inngrep i sedimentene på sjøbunnen. Disse kan på

kortere eller lengre sikt, hindre den uønskede eksponering overfor miljøgiftene i sedimentene og vannmassene. Dette kan være kildekontroll, naturlig nedbrytningsprosesser, naturlig sedimentasjon, ferdselsrestriksjoner, kostholdsråd og overvåking.

Det er kartlagt tydelig spredning fra kildeområdet og 700 m utover i Indrevika. I de dypere områdene (ned mot 80 m dyp) og ut til terskelen ved Angholmen er det påvist mindre grad av forurensning. På grunn av spredningen ut fra det forurensete området er nullalternativet ikke en aktuell løsning.

### **Tildekking på stedet**

For at en overdekking skal etableres og fungere etter forutsetningene, bør tiltaket skje i forholdsvis beskyttede områder. Dette kan løses med tykksjikttildekking, ofte et 30 cm mektig lag som fysisk skiller forurensning fra bunndyrfauna. Ved tynnsjikttildekking som er tynnere enn bioturbasjonslaget, kan det være nyttig med bioturbasjon for å fordele det aktive materialet mest mulig i den bioaktive sonen.

Tildekking er trolig det mest aktuelle alternativet. I de sentrale delene av Indrevika er vanddyppet på ca. 30 m og er dermed lite utsatt for skips- og bølgeerosjon. Ved kaianleggene er det grunnere og her må det eventuelt velges løsninger som tar hensyn til potensiale for erosjon på grunn av skipstrafikk og strømninger på sjøbunnen.

### **Fjerning av forurensete masser**

Fjerning er en betydelig med en eller annen form for mudring av de forurensete sedimentene. Fordelen med mudring er at de forurensete massene fysisk fjernes fra sjøbunnen, normalt kan man regne med at ca. 10 % av forurensningen ligger igjen. Mudring utføres tradisjonelt enten ved ulike typer sugemudring eller ved bruk av grabber.

Mudring er også et alternativ, særlig i området ved Kleven brygger og ved tidligere utslippspunktet for avløpsvann ved Trælandsfos, men vil trolig ha en høyere kostnad sammenlignet med tildekking. Fordelen med denne metoden er at fremtidige kilder fjernes (i praksis er det vanskelig å oppnå 100 % fjerning). Grad av suksess ved denne metoden er avhengig av at evt. landkilder er kartlagt og stoppet. Det er også viktig å ha kontroll på spredning under arbeid og at det heller ikke er andre marine kilder i området.

### **Overslagsberegning av kostnader**

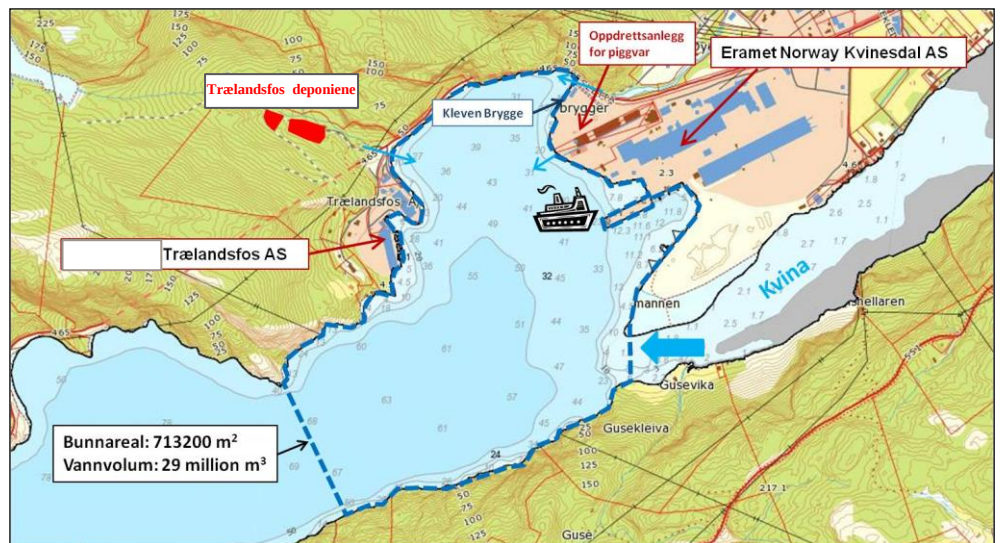
Et tiltak som fjerner forurensete masser og legger på erosjonssikring ved Kleven brygger, samt tildekker sjøbunnen i sentrale deler av Indrevika vil kost i størrelsesorden 14 - 16 millioner.



## 2 Innledning

Risikovurderingen som er gjennomført på bakgrunn av målte sedimentkonsentrasjoner og økotokestester viser at det foregår spredning fra sedimentene og en risiko for negative økologiske effekter på organismesamfunnet i store deler av Indrevika.

Sedimentene i de kartlagte områdene i Indrevika i 2013 /1/ er på samme forurensningsnivå som tidligere funn /2/ og /3/. Miljømyndighetene bruker generelt grenseverdien mellom tilstandsklasse (TKL) II og III i sedimentene som miljømål i områder der kilder er sanert /4/ og /5/. I Indrevika overstiger alle sedimentprøver innenfor de undersøkte områdene TKL III. På grunnlag av dette er området i Indrevika vurdert med hensyn til behov for tiltak. Beliggenhet av identifiserte forurensningskilder er vist i Figur 1. Identifiserte forurensningskilder er industriområdene til Eramet Norway Kvinesdal AS (ENK AS) og Trælandsfos AS, avrenning fra Trælandsfos deponiene, og avrenning fra elva Kvina.



Figur 1: Oversiktskart Indrevika

### 2.1 Tiltaksplan

Før det iverksettes eventuelle detaljprosjektering av tiltak i Indrevika, er det nødvendig å få lukket evt. datahull. Det er også viktig i denne fasen å starte evaluering av aktuelle tiltaksalternativer.

Videre arbeider bør følge en standardisert fremgangsmåte, som for eksempel vist i tabell 1. Skjemaet er en trinnvis modell for utvikling av en tiltaksplan med tanke på tiltaksgjennomføring. En detaljert forklaring av de ulike trinn og underaktiviteter i denne modellen er beskrevet nærmere i "Den grønne manualen" /6/.

Indrevika befinner seg i henhold til modellen i "Den grønne manual" nå på overgangen mellom Trinn 2A ("Problemformulering") og Trinn 3 ("Miljøvurderingsfasen"), se tabell 1. De foregående Trinn 1A - 1E synes å være under god kontroll, med unntak av Trinn 1F ("Finansieringsplan"). Arbeidet med en finansieringsplan for gjennomføring av fremtidige tiltak forventes å være under utvikling. Fremdriften i en slik plan er sterkt avhengig av Trinn 1C ("Rammebetingelser") der tiltakshavere må identifiseres og samspillet med overordnede miljømyndigheter må videreutvikles.

Tabell 1. Modell for utvikling av trinnvis tiltaksplan for miljøopprydding på landarealer og i sjoområder, © COWI 2012 /6/.

<b>TRINNVIS MODELL FOR UTVIKLING AV EN TILTAKSPLAN FOR OPPRYDDING</b>		
<b>TRINN 1A</b> - Tiltaksområdet	<b>TRINN 1B</b> - Miljømålsettinger	<b>TRINN 1C</b> - Rammebetingelser
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiltaksareal</li> <li>• Matrikkel</li> <li>• Kartverk</li> <li>• Infrastruktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miljømål</li> <li>• Ambisjoner</li> <li>• Pålegg</li> <li>• Restriksjoner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Loververk</li> <li>• Retningslinjer</li> <li>• Ansvarsforhold</li> <li>• Myndigheter</li> </ul>
<b>TRINN 1D</b> – Historikken	<b>TRINN 1E</b> - Kommunikasjonen	<b>TRINN 1F</b> – Finansieringsplan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktivitet utvikling</li> <li>• Kart, plan og foto</li> <li>• Dokumenter</li> <li>• Personmeddelelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allmenheten</li> <li>• Interessenter</li> <li>• Informasjonsplikt</li> <li>• Media</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Egne finanser</li> <li>• Myndighetsbidrag</li> <li>• Fondsmidler</li> <li>• Finansieringsplan</li> </ul>
<b>TRINN 2A</b> – Problemformulering		<b>TRINN 2B</b> – Tiltaksalternativer
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forurensningsstatus</li> <li>• Kilderelasjoner</li> <li>• Supplerende prøver</li> <li>• Lukke datamangler</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vurdere 5 prinsipper</li> <li>• Utvalg 2-4 metoder</li> <li>• Metodeutvikling</li> <li>• Egnethetsstudium</li> </ul>
<b>TRINN 3</b> – Miljøvurderingsfasen		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kost-nyttevurdering</li> <li>• Risiko og effekter</li> <li>• Side-effekter</li> <li>• Gjenbruksalternativer</li> </ul>		
<b>TRINN 4</b> - Testing og beslutning		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab-skala test</li> <li>• Pilot-/demoskala test</li> <li>• Valg av tiltaksalternativ</li> </ul>		
<b>TRINN 5</b> - Tiltaksplanleggingen		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lage tiltaksplanen</li> <li>• Entrepriser og leverandører</li> <li>• Prosjektorganisasjon</li> </ul>		
<b>TRINN 6</b> - Tiltaksgjennomføring		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementering</li> <li>• Overvåking</li> <li>• Sluttokumentasjon</li> </ul>		

For å sikre effektiv utnyttelse av ressursene og størst mulig miljøgevinst av et fremtidig oppryddingstiltak, er det viktig med kunnskap om virkningene av forurensninger og effekten av tiltak. Enkelte faktorer er i praksis så avhengige av

lokale forhold at sjablomverdierne i visse situasjoner kan være urealistisk konservative, slik at også beregningene blir svært strenge. Det er derfor gjennomført en risikovurdering Trinn 3 med nødvendige stedsspesifikke målinger.

I trinn 3 er det gjort:

- › Bestemmelse av sjøvannskonsentrasjon med passive prøvetakere
- › Bestemmelse av redoksforhold og pH i sedimentet
- › Undersøkelser av sulfidinnhold i sedimentet
- › Vurdering av toksisitet i PAH
- › Bestemmelse av alkylerte PAH-forbindelser
- › Bestemmelse av oksygeninnhold i vannsøylen
- › Undersøkelse av miljøgiftinnhold i bunndyr og fisk
- › Bestemmelse av metylkvikksølv dannelse i sediment, bunndyr og fisk

Kostholdsrådene i Fedafjorden ble opphevet på grunnlag av data fra undersøkelsen i 2010-11.

## 2.2 Miljømålsetting

For gjennomføring av Trinn 3 risikovurdering er det viktig å ha definerte miljømål og tilhørende akseptkriterier for kystvannsområdene i Fedafjorden. "Rene Listerfjorder" har koordineringsansvar for kartlegging og opprydding i forurenset sjøbunn i Listerregionen. Forslaget til lokale miljømål er i 2011 utarbeidet av styringsgruppen for Rene Listerfjorder på bakgrunn av føringene i vannforskriften.

### Lokale miljømål for Kvinesdal.

- 1 *"Vannkvaliteten i Fedafjorden skal være slik at det ikke er begrensninger på bruken av fjorden både med hensyn til rekreasjon og næring. Vannkvaliteten skal være innenfor kriteriene for tilstandsklasse 2."*
- 2 *"Kvaliteten på sedimentene i fjorden skal være minimum tilstandsklasse 2. For sedimentene innenfor terskelen ved Angholmen skal kvaliteten være minimum tilstandsklasse 3, men tilstandsklasse 2 skal oppnås innen 2021."*

Det er viktig med mest mulig presise miljømål mht. tiltaksvurdering. Dersom målene er for diffuse eller fraværende, vil det ikke mulig gjennomføre veloverveide oppryddingstiltak.

Ambisjonsnivået for arbeidet som utføres i regi av Rene Listerfjorder er å gjennomføre tiltak i de mest forurensete områdene slik at risikoen for negative effekter på miljø og mennesker reduseres.

Kvinesdal kommune med Fedafjorden er et av de prioriterte områdene i Norge mht. opprydding i sjøsedimenter og det er derfor fra Miljødirektoratets side stilt midler til rådighet for å kunne undersøke og gjennomføre tiltak for å kunne få et renere miljø i Fedafjorden. Behov for videre undersøkelser og tiltaksvurderinger er

også vist til i Fylkesvise tiltaksplaner for forurensede sedimenter. Rapport fase 1 for Fedafjorden, utgitt i 2003 /7/.

## 2.3 Rammebetingelser

Arbeidet med kartlegging av forurenset sjøbunn er regulert av en rekke lover og forskrifter.

[Forurensningsloven](#) utgjør den overordnede rammebetingelse for alle miljøaspekter i Norge. Den er et miljøpolitisk virkemiddel som brukes for å hindre forurensende utslipp. Miljørelaterte plikter, ansvar og eierforhold er knyttet til denne loven.

Videre reguleres miljøarbeid av en lang rekke forskrifter, hvor den viktigste vil være [Forurensningsforskriften](#). Sentral for arbeid i sjø er [Forurensningsforskriftens kapittel 22](#), som regulerer mudring og dumping i sjø og vassdrag. Alle tiltak som omfatter mudring eller dumping i sjø av en viss størrelse er søknadspliktig med Fylkesmannens miljøavdeling som forurensningsmyndighet. Deponering av mudringsmasser som sluttløsning, vil normalt forholde seg til deponiforskriften, samt plan og bygningsloven. Tiltaksplanarbeider i sjø, i strandsonen og på de tilstøtende landarealer, vil også tangere en rekke andre nasjonale og internasjonale lover, forskrifter og avtaler.

Miljømålene for arbeid med sjøsediment skal være knyttet nært opp til [Vannforskriften](#). Formålet med vannforskriften er " å gi rammer for fastsettelse av miljømål som skal sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene". Med vannforekomst menes det " En avgrenset og betydelig mengde av overflatevann....eller en avgrenset mengde grunnvann...". Det generelle miljømålet iht. Vannforskriften er at alle vannforekomster minst skal opprettholde eller oppnå "god tilstand", dvs. tilstandsklasse 2, i tråd med kriterier for biologiske, hydromorfologiske og fysisk-kjemiske kvalitetselementer gitt i tabell 1.2.4 i vannforskriften, innen en gitt tidsperiode.

Til rammebetingelsene i tiltaksplanarbeidet hører også til en rekke veiledende dokumenter som inneholder retningslinjer, normverdier/klassifisering og risikovurderingsverktøy.

Veilederen [TA-2229/2007](#) er en revidert klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Den beskriver tilstandsklasser for sjøvann og sjøsedimenter. Den erstatter [TA-1467/1997](#) som fremdeles brukes til å klassifisere biota mht. miljøgifter (i denne undersøkelsen brukt for klassifisering av blåskjell og torsk).

Veilederen [TA-2802/2011](#) for [risikovurdering av forurensede sedimenter](#), er laget for å bedømme risiko for miljøskade el spredning av forurensning fra stoffer i sedimentene i deres nåværende tilstand. Dette er en viktig del av grunnlaget for beslutning om miljøtiltak i sedimentene.

Veilederen er et viktig hjelpemiddel for å avgrense og differensiere mellom forurensede områder når det skal utarbeides konkrete planer før en eventuell opprydding.

Veileder [TA 2960/2012](#) for håndtering av sediment gir oversikt over saksgang og regelverk, hvordan tiltak i sedimenter bør planlegges med hensyn på undersøkelser og overvåking, hvilke tiltaksmetoder som kan være aktuelle og hvordan forurensete sedimenter kan disponeres.

Arbeidet i denne rapporten er basert på veilederne TA-1467/1997, TA-2229/2007, 2802/2011 og TA-2960/2012

## 2.4 Kommunikasjon

Kommunikasjonen rundt arbeidet i regi av Rene Listerfjorder er ivaretatt av prosjektkoordinator Terje Aamot. Det er avholdt flere møter med styringsgruppe og referansegruppe for å orientere om prosjektets fremgang og invitere til involvering i diskusjon om fremtidige tiltaksløsninger for å sikre et bedre vannmiljø i Fedafjorden.

## 2.5 Finansieringsplan

Innenfor forurensningsområdet er det et prinsipp at forurenser skal betale. Dette prinsippet gjelder også for opprydding i forurensete sedimenter. I de fleste tilfeller vil bedrifter som har stått for utslippet bli definert som forurenser. Virksomheter som fører til at forurensete sedimenter virvles opp og spres kan imidlertid også bli definert som forurenser.

Ofte kan det være vanskelig å avklare hvem som er ansvarlig for forurensningen. Bedrifter i området kan være lagt ned, eller flere bedrifter kan være uenige om hvem som er årsak til forurensningen. I tilfeller der det er umulig å avklare hvem som er ansvarlig, eller hvor det bare er avklart hvem som er ansvarlig for deler av de forurensete områdene, må staten være med og finansiere oppryddingstiltak.

## 2.6 Identifiserte datamangler

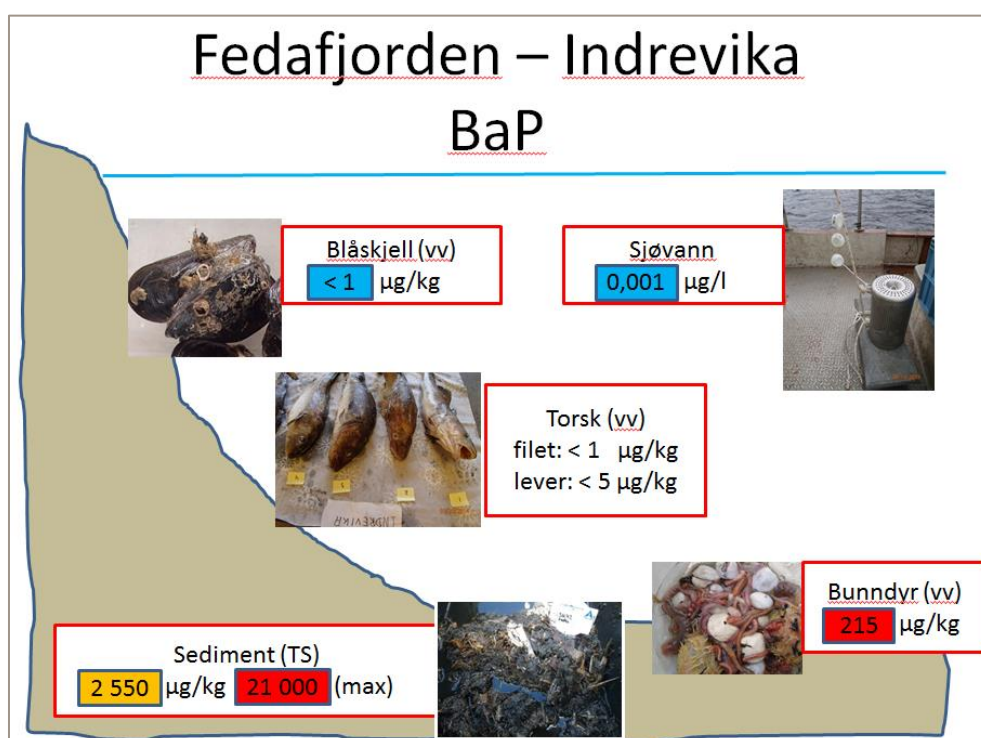
Det er gjennomført en lang rekke undersøkelser som samlet sett viser at området i Indrevika er sterkt forurenset med miljøgifter. Undersøkelsen utført i 2013 har vært avklarende mht. videre vurdering av tiltaksløsninger.

Når en arbeider på Trinn 3 nivå mht. risikovurdering av sjøsedimenter er det en lang rekke undersøkelser som kan foretas mht. spredning (strømningsmodeller, sedimentfeller, passive prøvetakere osv.). COWIs vurdering er at gjennomførte undersøkelser er tilstrekkelig til å kunne avklare om det anbefales å gjennomføre tiltak eller om overvåking vil være et tilstrekkelig tiltak. COWIs vurdering er at de gjennomførte risikovurderingene viser at de er nødvendig å gjennomføre tiltak i Indrevika for å oppnå ønskede miljømål /1/. Før tiltaket kan detaljplanlegges må det gjøres en grundig vurdering av forholdene knyttet til metylkvikksølv, geoteknisk stabilitet og vurdering av egnede tildekkingsmasser da dette er de mest utfordrende problemstillingene som må løses. For å sikre at det ikke tilføres forurensning i mengder som vil forurense tiltaksområdet til nivåer over klasse II

bør det gjøres en ny gjennomgang av evt. landkilder på eiendommen til ENK AS og Trælandsfos selv om det ikke er spesielt mistanke til ukjent avrenning fra området.

De foretatte undersøkelsene viser at metylkvikksølv dannes i Indrevika. Prøver av fisk tyder på opptak av metylkvikksølv i biota. Dette er den potensielt mest alvorlige spredningsveien for mennesker. For å verifisere funnene kan det evt. tas en ny runde med fiskeprøver.

Det er også høye nivå av PAH-forurensning i Indrevika, og det er funnet høye konsentrasjoner av benzo(a)pyren i bunndyr. Fisken beiter på bunndyrene, men på grunn av at de metaboliserer (bryter ned/omsetter) PAH effektivt, er det lite eller ingen spor av PAH i fiskefilet (Figur 2).



Figur 2: Funn av benzo(a)pyren i sediment, biota og vann i Indrevika

## 2.7 Detaljplanlegging og prosjektering

Nedenfor er det gitt en prioritering av 7 nødvendige og anbefalte oppfølgninger av undersøkelsene i 2013, for å lukke eksisterende datahull i forbindelse med detaljplanlegging av tiltaksløsninger. Hensikten med de oppfølgende undersøkelsene anses viktig for å få bedre kontroll på tiltaksområdenes størrelse (areal og volum) samt kontrollere evt. landkilder for å sikre fremtidig miljøgevinst etter gjennomføring av tiltaket. Det er alltid en fare for at det fortsatt vil være miljøgifter tilgjengelig i sekundære lagre og forekomme nye utslipp.

1. Supplerende sedimentundersøkelse for å avgrense kvikksølv "hot spot" ved SK43/stasjon 2 (1996) ved utslippspunktet til Trælandsfos.
2. Supplerende sedimentundersøkelse for å avgrense kvikksølv "hot spot" ved stasjon SK44 ved deponeringsområdet for muddrmasser fra Trælandsfos.
3. Grundig vurdering av forhold knyttet til dannelse av metylkvikksølv og effekter av tildekking
4. Vurdering av geoteknisk stabilitet i tiltaksområdet
5. Vurdering av egnethet for forskjellige tildekkingsmasser
6. Ny vurdering av evt. landkilder ved ENK AS og Trælandsfos
7. Eventuelt supplere med ny prøvetaking av torskfilet for verifisering av metylkvikksølvnivåer i fiskefilet

## 3 Tiltaksvurderinger

Konkrete tiltaksalternativer og løsninger i denne fasen av tiltaksarbeidet, vil kun kunne utredes på et overordnet plan. Dette fremgår også av modellen som ble presentert i Tabell 1 (Trinn 2B). Miljømålene som er etablert for Fedafjorden er omfattende, men fortsatt oppnåelige. Av kapitlene ovenfor fremgår det imidlertid at det fortsatt foreligger noen datamangler før avgjørende beslutninger om konkrete tiltak kan tas.

I det følgende presenteres en generell gjennomgang av tiltaksprinsippene og hvordan disse kan tilpasses. Selv om det tilsynelatende finnes mange ulike tiltaksalternativer for forurensete sedimenter og forurenset jord, kan all kjent teknologi plasseres inn under 4 av de 5 hovedprinsipper:

1. Nullalternativet
2. Isolere på stedet
3. Behandle på stedet
4. Fjerne og isolere
5. Fjerne og behandle

Under hvert av disse prinsippene, finnes det en lang rekke teknologier, hvor flere i utgangspunktet er løsningsalternativer under mer enn et prinsipp. Teknologien og metodene er hovedsakelig utviklet og tilpasset forholdene i andre land og langt fra alle kan sies å være praktisk anvendbare under forholdene i Indrevika.

I det følgende beskrives et utvalg av tiltaksløsninger under de 5 prinsippene som kan være aktuelle for fremtidige tiltaksløsninger i Indrevika. Utvalget er ment som et innspill til det videre tiltaksarbeidet og må ikke betraktes som endelig.

### 3.1 Nullalternativet

Innledningsvis må dette prinsippet omtales, da dette allerede har vært diskutert som et mulig alternativ i Indrevika. Generelt beskriver dette en situasjon hvor en i utgangspunktet ikke skal foreta noe videre med de forurensete sedimentene. Forurensningssituasjonen er kjent, men av ulike årsaker velges det å la sedimentene ligge urørt der de ligger. Dette er i utgangspunktet ikke forenelig med miljømålene for Indrevika, men kan være aktuelt for de mindre forurensete områdene i Fedafjorden som f.eks. Breivika.

Under Nullalternativet defineres en lang rekke aktiviteter og forhold som kan iverksettes uten å gjøre fysiske inngrep i sedimentene på sjøbunnen. Disse kan på kortere eller lengre sikt, hindre den uønskede eksponering overfor miljøgiftene i sedimentene og vannmassene. Eksempler på hva som hører inn under Nullalternativet er bl.a.:



- Kildekontroll (bl.a. hindre utlekking til sjøresipient)
- Naturlige nedbrytningsprosesser
- Naturlig sedimentasjon
- Ferdselsrestriksjoner
- Kostholdsråd
- Overvåking

Det fremgår at alle alternativene her er relatert til miljøvurdering av kilde, spredningsvei og mottaker, ved at et av risikoelementene kontrolleres eller på sikt elimineres, noe som hindrer eksponeringen. Et av disse alternativene var implementert i Fedafjorden, jfr. **kostholdsråd**, men er nå opphevet. Videre er alternativet **kildekontroll** nedfelt i miljømålene, mens **naturlig sedimentasjon** trolig var en mer reell løsning før utbyggingen av Kvina-vassdraget. Nå er transport av sedimenter i Kvina svært redusert. "**Naturlige nedbrytningsprosesser**" synes ikke å forkomme i særlig grad i den aktuelle resipienten. Dette skyldes at de aktuelle forurensningene er forholdsvis persistente.

Det er kartlagt tydelig spredning fra kildeområdet og 700 m utover i Indrevika. I de dypere områdene (ned mot 80 m dyp) og ut til terskelen ved Angholmen er det påvist mindre grad av forurensning. På grunn av spredningen ut fra det forurensede området er nullalternativet ikke en aktuell løsning.

Et viktig tiltak for å eliminere problemene med forurensede sedimenter er å stanse utslippene til resipienten, dvs. oppnå kildekontroll eller gjennomføre kildesanering. Kartlegging av landområdet ved Trælandsfos og 2 eldre deponier tyder ikke på at det i dag er aktive landkilder i den sørlige delen av Indrevika /8/. Fra Eramet er det det utslipp av prosessvann i tråd med utslippstillatelse gitt av Miljødirektoratet.

Nedenfor er det gjort noen tentative vurderinger omkring de fysiske tiltaksprinsippenes egnethet ut fra det foreløpige kjennskapet til problemsedimentene, risikobildet, lokalisering, osv.

## 3.2 Isolere på stedet

Prinsippet for overdekking av forurensningene der de ligger, er mangfoldig og godt utprøvd internasjonalt. Etter hvert er imidlertid erfaringene også økt her i Norge. For at en overdekking skal etableres og fungere etter forutsetningene, bør tiltaket skje i forholdsvis beskyttede områder. Det må tas hensyn til at tildekkingen skal gi permanente effekter og at dekklaget ikke skal perforeres av bioturbasjon eller andre fysiske effekter (geotekniske forhold) og forstyrrelser. Ved tynnsjikttildekking, aktive dekklag, er det nyttig med bioturbasjon for å fordele det aktive materialet mest mulig i den bioaktive sonen.

Overdekking av området i Indrevika er tidligere vurdert i Trinn 2 rapporten /3/. En tildekking vil kunne kombineres med planlagt utfylling i området ved Trælandsfos, noe som er i tråd med gjeldende reguleringsplan. Før evt. utfylling/tildekking settes i gang anbefales det å gjøre nærmere undersøkelser av "hot-spot" for kvikksølv ved SK43/stasjon 2 (fra 1996-kartleggingen). Basert på resultater fra denne

tiltaksundersøkelsen kan det være nødvendig å mudre deler av området før det fylles ned for å hindre fremtidig utlekking av kvikksølv til vannforekomsten.

Et dekklag av rene masser med en tykkelse på minimum 30-40 cm vil normalt være tilstrekkelig for å hindre at bunnlevende organismer kommer i kontakt med sedimentet og dermed redusere utlekking av miljøgifter. For å hindre utlekking av forurenset porevann kan det være nødvendig å benytte masser med absorberende egenskaper. Før bestemmelser fattes mht. valg av tildekkingsmateriale må forhold rundt dannelse og eksponering av **metylkvikksølv** utredes nærmere.

I tildekkingsveilederen påpekes det at naturlige forekomster av silt, sand og grusige masser har vært benyttet som tildekkingsmaterialer avhengig av de lokale egenskapene i sjøsedimentet. Ved tildekking på grunt vann bør det vurderes alternative tildekkingsmateriale som for eksempel olivin eller skjellsand. Olivin har høy egenvekt og kan derfor nyttes til en kostnadseffektiv erosjonssikring. Skjellsand vil være mindre stabilt/egnet i området utsatt for bølger, strøm og båttrafikk.

Sammenlignet med feltspat vil tildekking med olivin kunne resultere i opptil 30 % reduksjon i volum og 15 % reduksjon i vekt. Skjellsand har lav egenvekt og kan nyttes til oppbygging av lette lag over det forurensete sedimentet. Både olivin og skjellsand har gunstige overflatekjemiske egenskaper som binder og immobiliserer tungmetaller.

Nedenfor følger eksempel på noen materialtyper som kan være aktuelle til bruk ved tildekking.

### **Tykkjikttildekking**

Eksempelberegninger fra Oslo Havn gir en anbefalt tykkelse på tildekking på ca. 30 cm. For å unngå omrøring av sedimentene som kan gi transport av forurenning oppover i tildekningsmassene anbefales det å legge ut de 30 cm i 3 lag á 10 cm. Videre arbeider vil avklare om dette er en egnet tildekningsløsning også for Indrevika.

### Skjellsand

Skjellsand er ansett som et egnet tiltaksmiddel ved tildekking av forurenset grunn på land og forurensete sedimenter i vassdrag og hav. Dette er et billig alternativ til andre tildekkingsmetoder. Tildekkingen vil gi en fysisk barriere mellom forurenset sediment og bunnlevende organismer, men skjellsand har begrenset egenskap mht. binding av miljøgifter, slik at det mest sannsynlig ikke vil stoppe utlekking av miljøgifter via pore-vannet.

### Slagg fra ENK AS

Vanlig silikomanganslagg er i flere år benyttet som utfyllingsmasse i elver og sjø og til ulike utfyllingsformål til lands. Utfra løselighetsegenskaper er det godt egnet til bruk i tildekking av forurenset sjøbunn. Slagget vil fungere som en fysisk sperre for kontakt mellom organismer og underliggende forurensete sedimenter, men i liten eller ingen grad bidra til binding av miljøgifter. Det er utført utlekkingstest på massene som viser at det er innenfor kravet til dekklagsmateriale.

### Avgangsmasser fra Titania

Titania har store mengder med finkorna avgangsmasser. Massene er testet i forhold til tildekkingsveilederen. Test viser at avgangsmassene er over kravet mht. totalinnhold av metaller, men utlekkingsstest viser at det er innenfor kravet til dekkingsmateriale.

### Olivinsand med eller uten aktivt kull

I tillegg til høy egenvekt har olivin gunstige overflatekjemiske egenskaper. Her er det spesielt evnen til å binde og immobilisere tungmetaller som er interessant. Særlig olivinsand i kombinasjon med aktivt kull har gode egenskaper for binding av både tungmetaller og organiske miljøgifter. Tykkelsen av dekklaget kan variere fra 30 cm med ren olivinsand til 15 cm når det blandes med aktivt kull.

### **Tynnsjikttildekking**

I de senere årene har det blitt forsket mye på tildekking med et ca. 5 cm tynt lag aktivt materiale som ved bioturbasjon blandes inn i det øvre sedimentlaget. Tildekkingen kan for eksempel gjøres ved bruk av leire/biokalk og aktivt kull (AC). OPTICAP er et forskningsprosjekt som har sett på bruk av tynnsjikttildekking. Fordelen med bruk av aktivt kull er at det har meget høy bindingsevne i forhold til organiske miljøgifter. Innblanding av aktivt kull i tildekkingsmaterialet vil dermed gi redusert utlekking av organiske miljøgifter. Laboratiestudier har også vist at aktivt kull har meget god bindingsevne til TBT.

### **Tildekking med reaktive matter**

Reaktive matter kan lages av forskjellige typer av organiske leire og spesielt tilpasses forurensningsforholdene i det aktuelle tiltaksområdet. Selve mattene leveres som store tepper eller på rull. Over mattene legges det et beskyttelseslag av sand eller grovere materiale avhengig av strømforhold eller annen eroderende aktivitet. Bruk av reaktive matter er særlig aktuelt der sedimentene er betydelig forurenset, det er relativt lite vanddyb men ikke er behov for mudring på grunn av seilingsdyb. Dette kan evt. være aktuelt i området ved Kleven brygger.

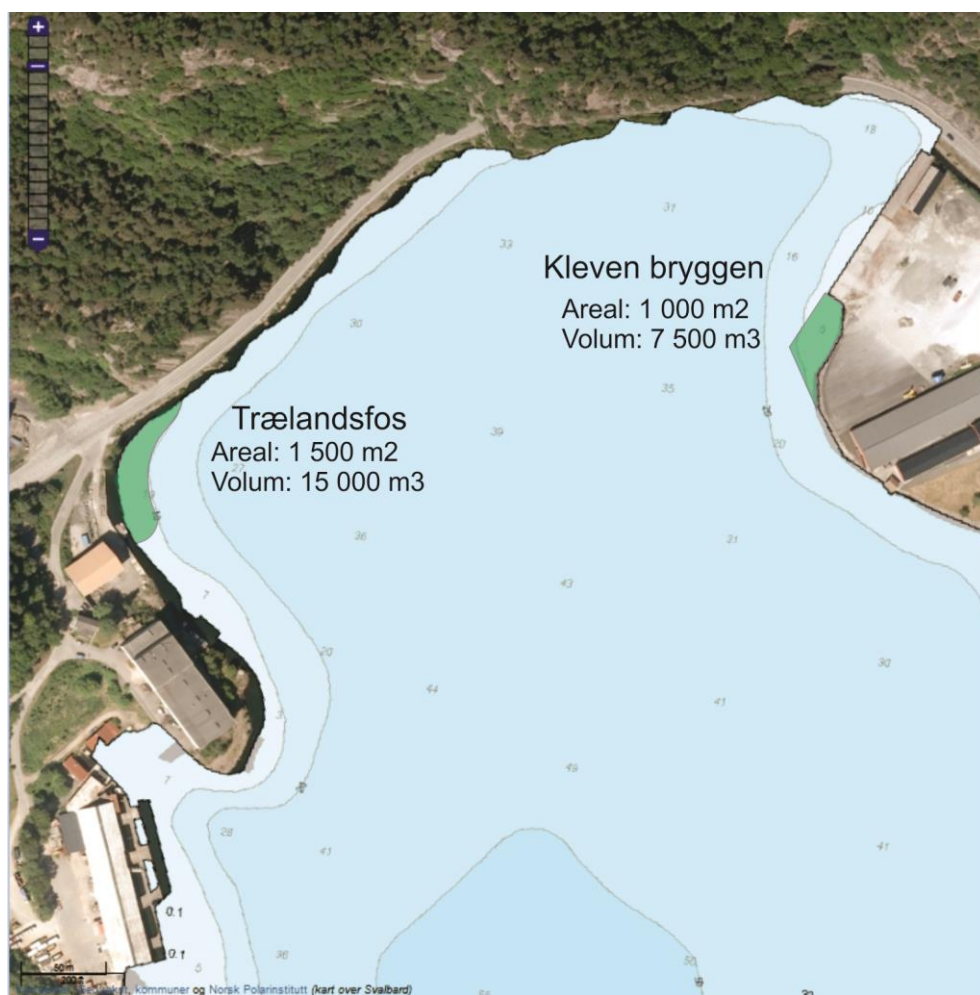
## 3.3 Mudring og disponering

Fjerning er ensbetydende med en eller annen form for mudring av de forurensete sedimentene. Fordelen med mudring er at de forurensete massene fysisk fjernes fra sjøbunnen (90 % -løsning da det er vanskelig å fjerne alt). Mudring utføres tradisjonelt enten ved ulike typer sugemudring eller ved bruk av grabber. Det finnes en såkalt miljøgrabb som skal være godt egnet til dette formålet, ved at den er lukket og gir dermed lite spredning av forurensete masser under gjennomføring av tiltaket.

Ulempen med mudring er at en sitter igjen med masser som må sluttdeponeres. Det mest aktuelle kan være enten et strandkantdeponi (CDF) eller et avgrenset undervannsdeponi (CAD). I begge tilfeller isoleres de forurensete massene på en måte som hindrer videre spredning vesentlig. Et strandkantdeponi kan hensiktsmessig etableres i forbindelse med forlenging av kommunens kai, Kleven

brygger. Her er det beregnet at det kan isoleres et volum på ca. 4000 m<sup>3</sup> med forurensede sedimenter.

Det forutsettes at grunnvannstrømmen og lekkasjer mot sjøen kontrolleres og filtreres via deponiet og at deponiet har tett front mot sjøen. Deponiet vil inngå som en integrert del av kommunens kaianlegg slik det fremgår av figur 3.



Figur 3. Forslag til etablering av strandkantdeponi ved Kleven brygger og Trælandsfos.

Det kan evt. også være aktuelt å transportere massene til et land-deponi etter mudring. Det finnes i dette tilfelle flere alternativer for mottak med ulike kostnadsrammer, men løsninger må utredes og kostnytte-vurderes på et senere tidspunkt.

Forurensede masser kan også legges i dypvannsdeponi. Opprettelse av et dypvannsdeponi kan være et rimelig alternativ, men krever langvarig overvåkning og kontroll og synes ikke som et umiddelbart alternativ for de mulige tiltaksområdene i Fedafjorden.

Mudringsmetoder, transport og utforming av deponier, behandling av masser, mm., må utredes særskilt, når tiltaksvolumer og areal er beregnet mer spesifikt.

## 4 Miljøvurdering

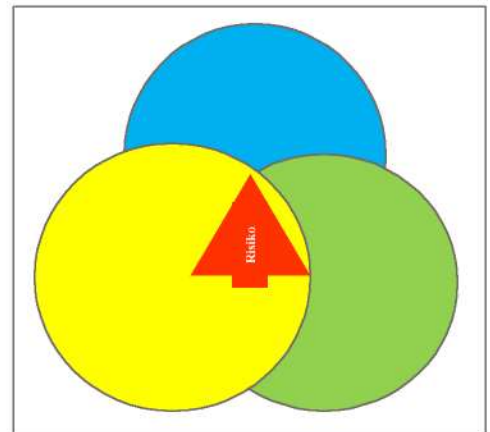
Innledningsvis i tiltaksplanens miljøvurderinger, bør alltid følgende 3 elementer vurderes:

- Forurensningskilde
- Spredningsvei
- Mottakere

Når alle 3 elementer er tilstede, har man også en miljørisiko i tiltaksområdet. Elimineres en av dem, dvs. kilden fjernes eller spredningsveien avskjæres ved gjennomføring av tiltak, fjernes også risikoen. Dersom det ikke finnes mottakere for den aktuelle miljøgifteksponeringen (alt er dødt) må dette vurderes opp mot miljømålet for området, og om mangel på liv har naturlige eller menneskeskapt årsaker.

I det siste tilfelle kan det strengt vurderes om oppryddingstiltak er nødvendig. Følgende elementer skal i tillegg gjennomgås, dog i varierende grad, under modellens miljøvurderinger Trinn 3:

- Risiko og effekter
- Side-effekter
- Gjenbruksalternativer
- Kost-nyttevurdering



Det er utarbeidet et nasjonalt [risikoverktøy for forurensede sedimenter](#), kort omtalt ovenfor, under Trinn 1C Rammebetingelsene for tiltaksarbeider. Denne analysen bør gjennomføres på dette trinnet i prosessen og resultatene vurderes opp mot behovet for å gjennomføre f. eks. ytterligere biologiske effektstudier.

I utgangspunktet er selve risikovurderingen og helsedimenttester i seg selv delstudier av effekter, men behovet kan i praksis være mer omfattende. Slike studier kan omfatte forsøk med opptak og utskillelse av miljøgifter, akutt og kronisk giftighet, biomarkører, osv. Mer fysiske faktorer som skal vurderes i tiltakssammenheng er graden av side-effekter. Side-effekter er alle forhold som har en negativ påvirkning av omgivelsene til tiltaksområdet under gjennomføringen. Dette kan være tiltakets varighet, støy, ferdselshindringer, luktproblemer, støv og avrenning på landarealer, transporttekniske faktorer, osv. Et klassisk eksempel på en negativ side-effekt, er at man kjører ikke 20.000 m<sup>3</sup> forurensede sedimenter ved hjelp av 1000 lastebiler gjennom et by-sentrum, dersom dette løses med 20 lektere sjøveien.

I den positive retning skal det også vurderes gjenbruksverdier for de forurensede sedimentene. Forurensede sedimenter som gjennomgår en eller annen form for kjemisk, biologisk og eller fysisk/mekanisk behandling kan være en ressurs. Løsningsalternativer som fremmer gjenbruksverdier er å foretrekke og kan være avgjørende for endelig valg av tiltaksmetode.

De foreløpige tiltaksalternativene skal til slutt vurderes med hensyn til kostnadseffektivitet og miljøgevinst. En enkel kost-nytteanalyse omfatter vurdering av om en tiltaksløsning er allment akseptabel, miljømessig akseptabel og økonomisk forsvarlig. Utslagsgivende for rangering og valg av metode vil være miljøgevinsten ved å gjennomføre tiltaket, men også grad av side-effekter og gjenbruksverdier. Vurdering av hva som er allment akseptabelt vil avhenge av arealbruk i område og grad av forurensning/spredning. Eksempel på en teoretisk kost-nytteanalyse er vist nedenfor i Tabell 2.

Tabell 2. En teoretisk kost-nytteanalyse og rangering av 4 potensielle tiltaksalternativer for implementering.

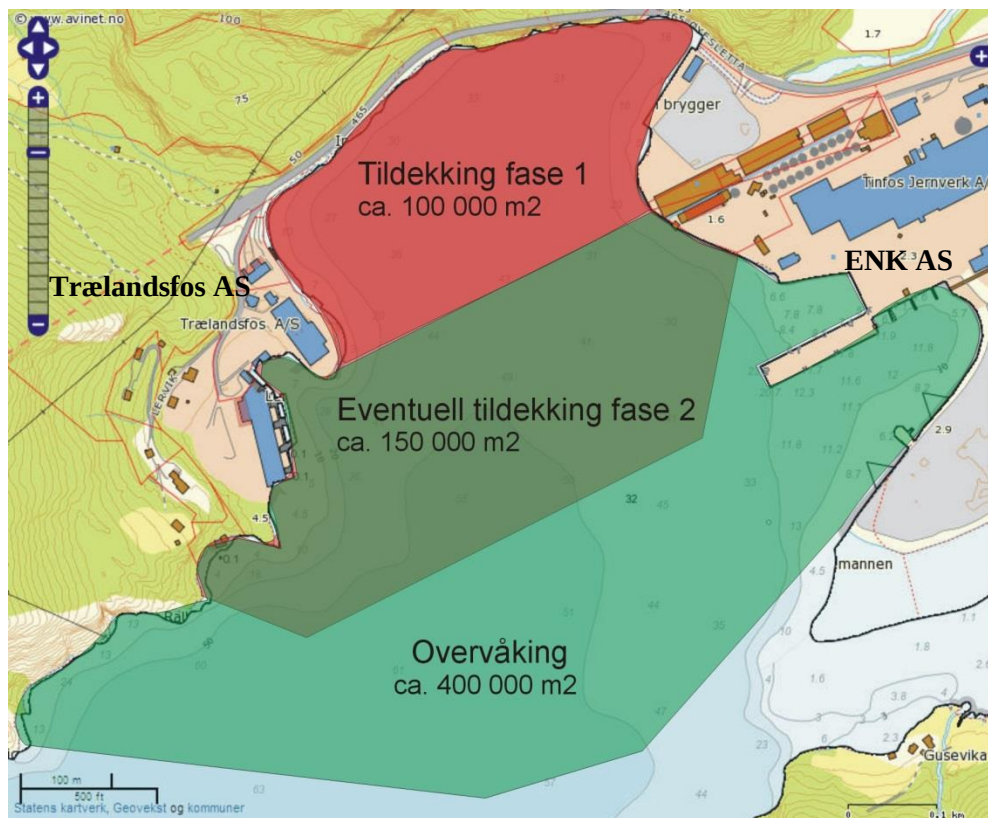
Tiltaksløsning	Allment aksept	Miljømessig aksept	Økonomisk forsvarlig	Miljøgevinst %-løsning	Side-effekter	Gjenbruks-verdi	Rang
Nullalternativet, la ligge og overvåke, naturlig overdekking over tid	Usikker	Usikker	Ja	0 %	Ingen	Ingen	4
Tildekke der sedimentene ligger, transport overdek-kingsmasse, overvåking	Ja	Ja	Usikker	80 %	Få	Ingen	1
Mudring, transport sjø, dypdeponering i sjø, overdekking, overvåking	Ja	Usikker	Usikker	90 %	Moderat	Ingen	2
Mudring, transport sjø og land, pumping og avvanning, deponi, mm.	Ja	Ja	Nei	100 %	Mange	Ja	3

I det teoretiske tilfellet som her er kost-nytte analysert, kommer en tildekking i sjø der de forurensede sedimentene ligger, best ut av analysen og bør velges. Dog er ikke alle forutsetninger i selve gjennomføringen vurdert, dvs. entreprisene, ressursbruk, utstyrs kostnader, osv. Tiltaksløsninger som gis en eller flere nei i analysen vil normalt ikke anbefales.

## 5 Tiltaksplan for Indrevika fase 1

### 5.1 Tiltaksområdet

Et oversiktskart over Indrevika er vist i Figur 4. Beliggenhet av industriområdene til Eramet Norway Kvinesdal AS (ENK AS) og Trælandsfos AS er vist.



Figur 4: Kart som viser tiltaksområdet i Indrevika (ref. Norgeskartet, Kartverket)

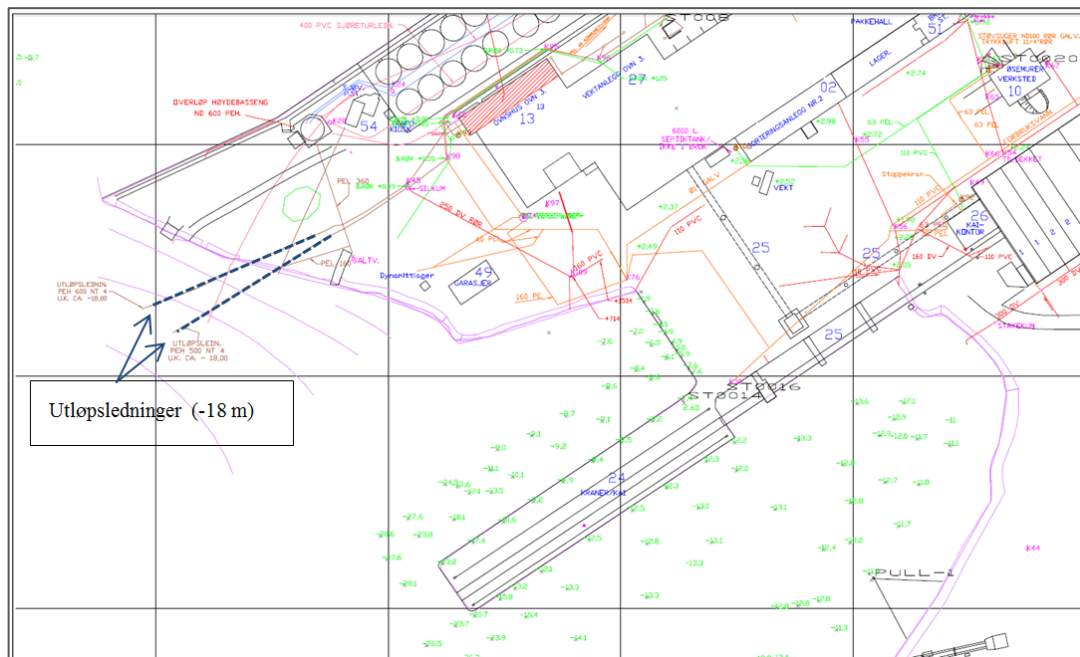
Området i Indrevika har flere gårds og bruksnummer. Arealbruk i Indrevika er nærings- og industriområder. Det er vanntilførsel til Indrevika fra minst 5 steder: elva Kvina, bekken som renner langs Trælandsfos deponiene, bekken som renner ut ved Kleven bryggen, utslipp av "klarvann" og overvann fra ENK AS, og utslipp fra oppdrettsanlegget.



## 5.2 Historikken

Smelteverket i Indrevika, **Eramet Norway Kvinesdal AS (ENK AS)**, ble opprinnelig kalt Øye Smelteverk men endret senere navn til Tinfos Jernverk AS. Smelteverket startet sin virksomhet i 1974. I 2008 ble smelteverket overtatt av den internasjonale bedriften Eramet som produserer mangan- og nikkellegeringer. ENK AS produserer silisium- og jernholdige manganlegeringer til bruk i stålindustrien. I gjennomsnitt de siste 5 årene har produksjonen av silikomangan ligget på ca. 175.000 tonn pr år.

Råstoffene blir levert med skip og er lagret i hauger på industriområdet. De viktigste råvarene er manganmalm, kvarts og koks. Store smelteovner blir brukt til smelting av råstoffene og produksjon av legeringer. Utslipp fra ovnene til luften er registrert i Miljødirektoratets database ([www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no)). For å redusere utslipp av støv til luft vaskes støvet ut i et gassrensaneanlegg som har vært i drift siden bedriftens oppstart i 1974. Det forurensede vannet fra gassrensaneanlegget blir renset i et slamrensaneanlegg og i flere sand- og kullfilter. Heretter blir avløpsvannet sluppet ut på 18 m dyp (se Figur 5). Dette vannet blir også kalt "klarvann" eller "prosessvann". Et rensetrinn spesielt tilpasset PAH ble satt i drift i 1990. Dette resulterte i stor reduksjon i utslipp av PAH til sjø, fra ca. 7 000 kg PAH/år til ca. 5 kg PAH/år.



Figur 5: Utløpsledninger renseanlegg

**Trælandsfos AS** (tidligere Borregaard Trælandsfos AS og Orkla Eiendom AS) har i dag ingen aktivitet i Indrevika, men var tidligere grunneier av arealet på sørsiden av Lervika (Indrevika). Virksomheten i området ble avsluttet i 1981, og utslipp av prosessvann fra land opphørte følgelig fra dette tidspunktet. I 1993 ble den gamle fabrikk solgt til Kvinesdal kommunen. I 2009 ble den resterende delen av eiendommen solgt til kommunen, som har solgt deler av eiendommen videre til ENK AS. Borregaard Trælandsfos AS har i egen rapport redegjort til Fylkesmannen for tidligere aktiviteter.

Industriell aktivitet på Borregaards eiendom startet allerede i 1910 da et kraftverk og tresliperi ble etablert ved Trælandsfossen i Kvina, ca. 4 km nord for Kvinesdal sentrum. I den tiden var det i Lervika (sørvestlige siden av Indrevika) kun et anlegg for mottak av tømmer og utskipning av tremasse. Fra 1961 til 1980 ble det drevet en tresliperifabrikk i Lervika. Anlegget hadde på sitt høydepunkt en kapasitet på ca. 50 000 tonn tremasse per år, som tilsvarte et tømmerforbruk på ca. 125 000 m<sup>3</sup> gran. Tømmeret ble ofte lagret i havnebassenget i bunter med bandjern rundt. Sammen med avløpsvannet gikk noen barkrester, trefiber og sagflis til sedimentasjon i Indrevika. Av og til ble havbunnen ved anlegget mudret, og muddermassene ble dumpet i dypere deler av Fedafjorden (50 - 60 m).

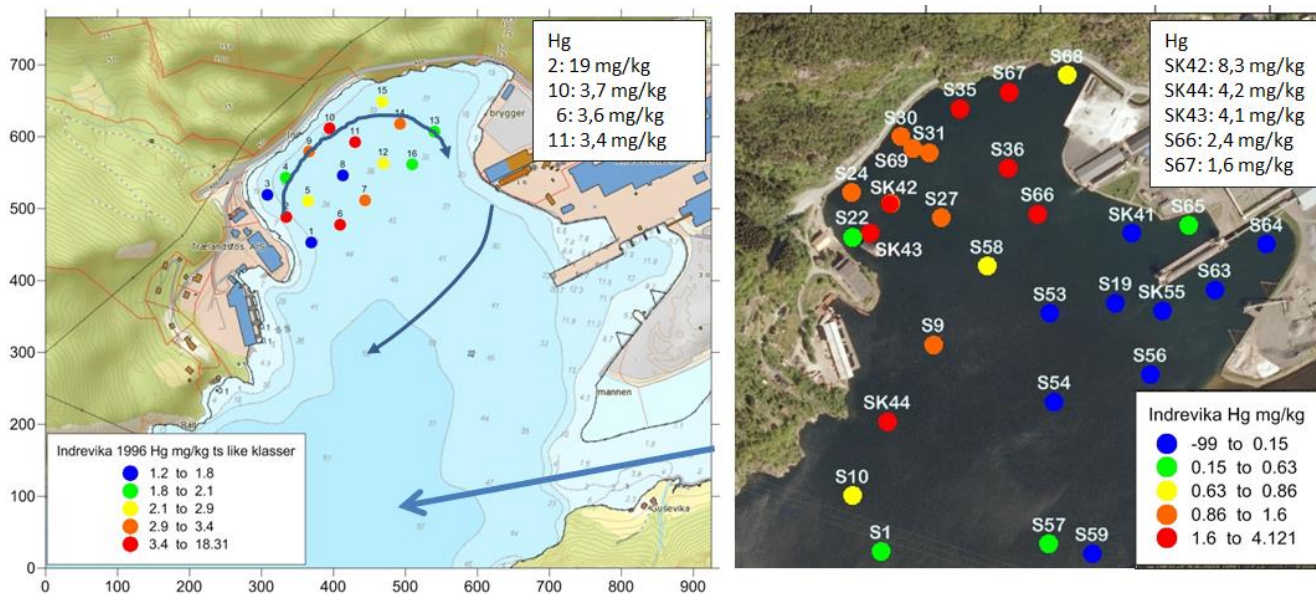
Etter slipeprosessen inneholdt tremassene fortsatt 50 % vann, og massene måtte derfor impregneres. Fra 1961 til 1969 ble et kvikksølvholdig stoff "Pulpsan OX" benyttet til impregnering. Produktet inneholder fenylkvikksølvacetat. Etter 1969 ble "Cu-Pulpox" benyttet, som ikke inneholder kvikksølv men kobber. Siden produksjon opphørte i 1981 har den tidligere fabrikk ved fjorden blitt brukt til lager. Det er ingen grunn til å tro at det har vært forurensende virksomhet ved fabrikk anlegget etter 1981, men det kan være spor av tidligere aktivitet.

### 5.3 Problemformulering

Området er spesielt preget av forurensning av PAH og kvikksølv. Forurensning av kobber, bly, kadmium, sink og TBT er også høy. Kjerneprøver viser at forurensningsgraden dypere i sedimentet er like høy som i overflaten. Forurensning av kvikksølv og PAH er høyest i Indrevika mellom Trælandsfos og Kleven brygger samt i et tidligere dumpeområde for muddermasser fra vedlikeholdsmudring utenfor Trælandsfos (Jfr. kap. 10.3.2 i /3/).

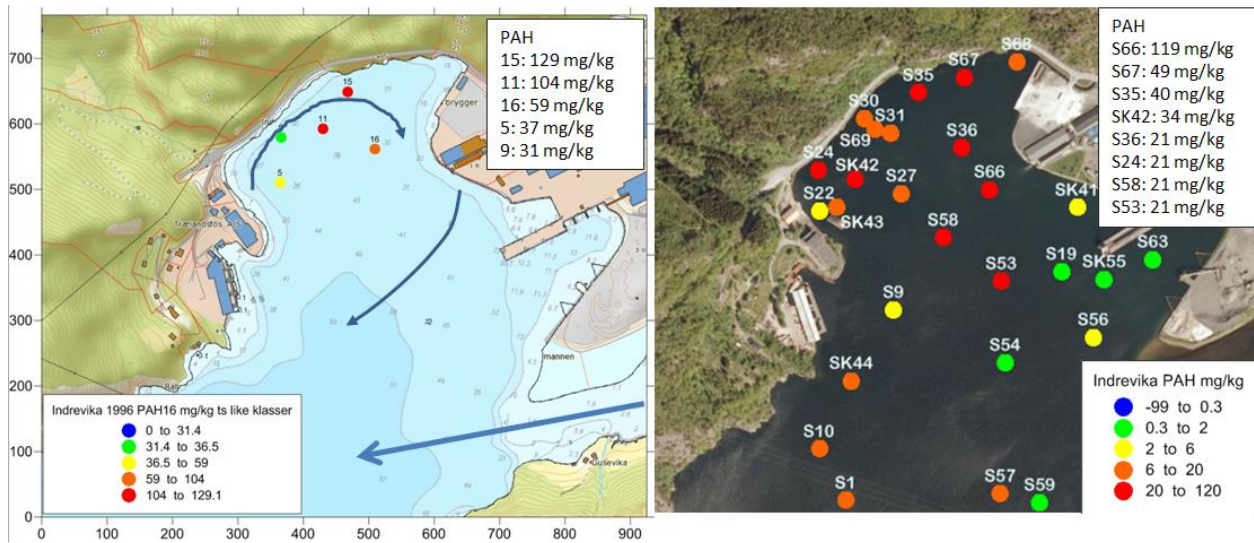
Det er funnet samvariasjon mellom PAH, kvikksølv, bly, kadmium og sink. Ofte vil dette indikere at utslippene av disse parameterne er fra samme kilde. På grunn av tidligere målinger av kvikksølv og PAH i sediment er det imidlertid mer sannsynlig at samvariasjonen skyldes at de største utslippene av kvikksølv fra Trælandsfos AS skjedde i tidsperioden før regulering av Kvina i 1968. Før Kvina ble regulert har det sannsynligvis vært en relativt sterk kompensierende strøm i retning med klokken langs land i Indrevika som antyde med piler på Figur 6. Denne har sannsynligvis bidratt til å spre kvikksølvforurensning i Indrevika. Etter regulering av Kvina ligger nordlig del av Indrevika i en bakevje med lavere strømningshastighet, noe som sannsynligvis medfører akkumulering av finstoff i dette området. ENK AS ble etablert i 1973 etter at Kvina var regulert. Som det fremgår av historikken var det inntil 1990 store utslipp av PAH til Indrevika som har blandet seg med eksisterende kvikksølvforurensning.

Figur 6 viser at den klart høyeste konsentrasjonen av kvikksølv ble funnet ved utslippet til Trælandsfos i undersøkelsen til Vannlaboratoriet i 1996 (stasjon 2: 19 mg/kg) /9/. I 2010/2013 er kvikksølvforurensningen noe mer fordelt, men fortsatt er de høyeste konsentrasjonene funnet nær det tidligere utslippspunktet og i området hvor det er dumpet kvikksølvforurensede mudringsmasser fra området rett utenfor Trælandsfos fabrikk.



Figur 6: Sammenligning av konsentrasjoner av kvikksølv i sediment i 1996 og 2010/2013 (NB! Legg merke til at det er ulik klassifisering av fargekoder for 1996 og 2010/2013). I figur til høyre er -99 = rapporteringsgrensen

På samme måte viser Figur 7 at de klart høyeste konsentrasjonene av PAH ble funnet ved utslippet til Eramet i undersøkelsen til Vannlaboratoriet i 1996 (opp til 129 mg/kg i stasjon 15) /9/. I 2010/2013 er PAH-forurensningen noe mer fordelt, men fortsatt er de høyeste konsentrasjonene funnet nær smelteverket. Høyeste konsentrasjon av PAH i 2010/2013 er funnet i stasjon S66 (119 mg/kg).



Figur 7: Sammenligning av konsentrasjoner av PAH i sediment i 1996 og 2010/2013 (NB! Legg merke til at det er ulike klassifiseringer av fargekoder for 1996 og 2010/2013). I figur til høyre er -99 = rapporteringsgrensen

Prøver av sjøvann med passive prøvetakere indikerer at vannet i området nord i Indrevika er påvirket av forurensning av bly og PAH fra sedimentene. Ellers antas det også å være noe påvirket av dagens aktivitet ved ENK i forhold til aluminium og jern. Målte konsentrasjoner i sjøvann er lave og tilsvarer tilstandsklasse I og II for alle parametere (vurdert i forhold til TA-3001 /10/). Sammenlignet med beregningsarket er gjennomsnittet av målte vannkonsentrasjoner høyere enn beregnede konsentrasjoner på bakgrunn av gjennomsnittet av sedimentkonsentrasjoner for arsen (6 ganger), kobber (2 ganger), nikkel (2 ganger) og PCB (opp til 5 ganger). Konsentrasjoner av kadmium, kvikksølv, naftalen og fluoranten, acenaften og fluoren er beregnet å være i samme størrelsesorden. De andre målte konsentrasjonene varierer fra 0,11 – 68 % av beregnede konsentrasjoner.

Målinger av mengde tilgjengelig sulfid i sedimentet sammenlignet med metaller bundet til sulfider indikerer at tungmetallene bly, kobber, kadmium, nikkel, kvikksølv og sink kan være immobilisert på grunn av sterke sulfidbindinger.

Undersøkelser av alkylerte PAH indikerer at PAH-forurensningen er forbrenningsrelatert. Undersøkelser av PAH-profiler fra sedimentprøver i Indrevika i 2010 sammenlignet med PAH-profiler fra sigevannsediment fra ENK AS sitt deponi på Fosselandsheia, viser at PAH-profilene er sammenfallende noe som tyder på at PAH i sedimentene stammer fra utslipp fra ENK AS. Beregninger av PAH-forbindelsenes toksisitet på bentisk fauna indikerer at forurensningen ved stasjon 66 og 67 kan medføre toksiske konsentrasjoner av PAH i porevann. Ellers er det beregnet lav toksisitet av PAH i porevann.

Toksisitetstester indikerer også at porevannet ikke er giftig på algen *Skeletonema costatum* eller for krepsdyret *Corophium volutator*. Det er imidlertid indikasjoner på at organisk ekstrakt av sedimentet kan utgjøre en risiko mht. dioksiner. Bortsett fra DR Calux-testen er det ikke gjort undersøkelser av dioksiner i sedimentene.

Beregninger viser at konsentrasjon av kvikksølv i torskefilet i Indrevika kan utgjøre en risiko for human helse ved høyere konsum enn 560 g i uka for voksne og 120 g for barn /3/. Det er påvist metylkvikksølv i sedimentet fra 0,56 µg/kg TS til 8,2 µg/kg TS. Det er uten unntak målt høyere konsentrasjon av metylkvikksølv i overflaten (0-1 cm). Høyeste konsentrasjon er målt i stasjon 42 nærmest Trælandsfos og generelt nord i Indrevika. Resultatene indikerer at metylkvikksølvdannelse påvirkes av redokspotensial og TOC-innhold i sedimentet.

Det er påvist høye konsentrasjoner av PAH i bunndyr fra området nord i Indrevika. Det er usikkert om verdiene er reelle eller om prøvene kan være forurenset av partikler. For fisk som spiser bunndyrene vil imidlertid resultatene gjenspeile reell eksponering. Konsentrasjoner av PAH i blåskjell fra samme område er lave og har hatt en avtakende tendens de siste 20 årene.

På grunn av terskelen ved Angholmen er det redusert vannutskifting i det indre bassenget i Fedafjorden. Det anses derfor som lite sannsynlig at partikkelbundne miljøgifter fra Indrevika kan spre seg til ytre deler av Fedafjorden. Det er imidlertid mulig at forurenset sediment kan spre seg så langt som til terskelen ved Angholmen og dermed påvirke miljøtilstanden i hele det indre bassenget. Målinger ved stasjon 3 som ligger i de dypeste delene av det indre bassenget (80 m dyp) tyder imidlertid på lite spredning av miljøgifter utover i fjorden.

I 2010 ble det ved hjelp av sedimentfeller beregnet at hvert skipsanløp til kaianlegget til ENK AS medførte oppvirvling av ca. 500 kg sediment /2/. Forurensningstilstanden i sedimentfellene samsvarer med forurensningstilstanden i sedimentet utenfor kaianlegget målt i 2013 /3/. Antall skipsanløp (store skip) er estimert å være ca. 400 per år. Turbiditetsmålinger i samme området viste at forhøyet partikkelnivå i vannet ofte kunne kobles til skipsanløp, men at det var lite korrelasjon mellom skipsanløp av store skip og utslag på turbiditetsmåleren. Det er mulig at turbiditet i vannet som følge av vind har en minst like stor påvirkning på oppvirvling og spredning av sediment.

Som nevnt er forurensningsgraden i sedimentet ved ENK AS sitt kaianlegg betydelig lavere enn ved Kleven brygger nord i Indrevika. Det er ikke utført separate risikovurderinger i beregningsverktøyet av spredning fra disse to kaiene, og det er derfor vanskelig å bruke resultatene fra beregningsverktøyet til å anslå om spredningen av miljøgifter som følge av skipstrafikk er betydelig. Det anbefales derfor å gjøre en egen spredningsberegning / måling ved anløp til Kleven brygger.

Risikoen anses å være så høy at tiltak anbefales. Risikoen for økologi og helse nord i Indrevika anses å være størst og bør derfor prioriteres ved tiltak.

## 5.4 Tiltaksalternativer

Som nevnt i kapittel 3 er det 5 hovedprinsipper med hensyn til tiltaksvurdering:

1. Nullalternativet
2. Isolere på stedet

3. Behandle på stedet
4. Fjerne og isolere
5. Fjerne og behandle

Det er påvist en miljørisiko relatert til forurensningen i nærområdet til Eramet og Trælandsfos. På grunn av skipstrafikk ved Kleven brygger med relativt grunt vanddyb er det fare for spredning. Det er kartlagt tydelig spredning ca. 700 m ut fra kildeområdet i Indrevika. I de dypere områdene (ned mot 80 m dyp) og ut til terskelen ved Angholmen er det påvist mindre grad av forurensning. På grunn av fortsatt spredningsfare fra forurensete sedimenter er derfor nullalternativet ikke en aktuell løsning.

Dersom det ikke aksepteres en påvirkningssone på 700 m vil alternative løsninger være å dekke sedimentet til eller å ta det opp.

Dersom en velger å la det ligge finnes det flere alternativer. Dette kan bl.a. være:

Tildekking (isolering) på stedet

- › Tynnsjikttildekking med forskjellige aktive materialer (de dypere områdene)
- › Tykkere tildekking med eller uten aktiv materiale (f.eks. aktivt kull)
- › Reaktive matter som tåler erosjon bedre enn løse masser (rundt kaianlegg, seilingstrase og ved beddingen)

Dersom en fjerner (mudrer) massene finnes det flere alternativer. Dette kan bl.a. være:

- › Fjerne og behandle (bearbeide til et produkt)
- › Fjerne og isolere
  - › Deponering på sjøbunn (må evt. finne egent dumpeplass)
  - › Strandkantdeponi (ved Kleven brygger eller ved Trælandsfos)
  - › Deponi på land (kostbar løsning)

Aktiviteten ved ENK AS, som fremdeles kan gi et viss bidrag med miljøgifter, må vurderes nøye for evt. tiltak settes i verk. Dersom det velges å gjennomføre tiltak med tildekning eller mudring er det behov for videre undersøkelser for å avgrense tiltaksområdet mht. areal og dyp. Det er også viktig å kontrollere at det ikke tilføres ny forurensning via overvannssystemet fra ENK AS.

## 5.5 Miljøvurdering

Miljøvurderingen omtalt i kapittel 4 er basert på følgende 3 elementer:

- › Forurensningskilde
- › Spredningsvei

### > Mottakere

Ved kartlegging av sjøbunnen viser de kjemiske dataene at det foreligger en **forurensningskilde**. Området er spesielt preget av forurensning av PAH og kvikksølv. Forurensning av kobber, bly, kadmium, sink og TBT er også høy. Det er tatt flere kjerneprøver i området ned til 25 cm dyp som viser høye konsentrasjoner av kvikksølv, kobber og PAH i hele kjernelengden.

Samlet sett viser risikovurdering Trinn 3 at det er **spredning** med hensyn til: Kadmium, kobber, kvikksølv og PAH

Risikovurderingen viser også at det er identifisert **mottakere** for denne spredningen:

- Økologisk risiko: PAH (nord i Indrevika), TBT og ev. dioksiner
- Helse: Kvikksølv

Det at alle de 3 elementene er tilstede viser at det er en miljørisiko i området. Elimineres en av dem, dvs. kilden fjernes eller spredningsveien avskjæres ved gjennomføring av tiltak, fjernes også risikoen.

Det er påvist en miljørisiko relatert til forurensningen i Indrevika. På grunn av skipstrafikk og relativt grunne områder ved Kleven brygger er det fare for spredning. De kjemiske analysene viser spredning i en avstand av ca. 700 m ut fra Indrevika.

Basert på dagens kunnskap er tildekking det mest aktuelle tiltak. I de sentrale delene av Indrevika er vanddypet på ca. 30 m og er dermed lite utsatt for skips- og bølgeerosjon. Ved kaianleggene er det grunnere og her må det velges løsninger som tar hensyn til potensiale for erosjon på grunn av skipstrafikk og strømninger på sjøbunnen. Aktuelle metoder her er mudring eller tildekking med erosjonssikkert materiale.

I Indrevika er og mudring et alternativ, men vil trolig ha en høy kostnad. Fordelen med denne metoden er at fremtidige kilder fjernes. Grad av suksess ved alle metoder er avhengig av at evt. landkilder er kartlagt og stoppet. Her er det potensielle utfordringer knyttet til driften ved ENK AS som i dag har utslipp til vann fra prosess og overvannssystemer. Disse kildene gir i dag ny tilførsel av miljøgifter fra land til sjø, om enn ikke i lave konsentrasjoner. Det er ikke utført kartlegging av grunnforhold på ENK som evt. kan avklare om det skjer utlekking fra grunnen til Indrevika, men det er heller ikke spesielt mistanke om at det er tilfelle.

### Oppsummering

Nedenfor følger en oppsummering av våre vurderinger av helheten i prosjektet basert på risikovurderingen og gjeldende miljømål. Dette er vårt forslag til systematisering av den videre prosessen. Vi foreslår at når en skal gjøre videre vurderinger tar utgangspunkt i beskrivelsen nedenfor og diskuterer betydningen av de forskjellige aspektene.

På vanddyb <10m viser kost-nytte vurderingen at en form for mudring, alternativt tildekking med erosjonssikre matter, kan være det beste tiltaksalternativet på grunn av stor fare for erosjon pga. skipstrafikk (Tabell 3).

For de dypere områdene fra 10 – 30 (40) m dyp viser kost-nytte vurderingene at en form for tildekking med granulat/sand er mest aktuelt (Tabell 4).

Tabell 3: Indrevika, 0 – 10m dyp. En foreløpig kost-nytteanalyse med rangering av 4 potensielle tiltaksalternativer

Tiltaksløsning	Allment aksept	Miljømessig aksept	Økonomisk forsvarlig	Miljøgevinst %-løsning	Sideeffekter	Gjenbruksverdi	Rang
Nullalternativet, la ligge og overvåke, naturlig overdekking over tid	Nei	Nei	Ja	0 %	Ingen	Ingen	4
Tildekke der sedimentene ligger, transport overdekkingssmasse, overvåking	Usikker	Nei	Ja	80 %	Få	Ingen	3
Mudring, transport sjø, dypdeponering i sjø, overdekking, overvåking	Usikker	Usikker	Usikker	90 %	Moderat	Ingen	2
Mudring, transport sjø og land, pumping og avvanning, deponi, mm.	Ja	Ja	Usikker	100 %	Mange	Ja	1

Tabell 4: Indrevika, 10 – 30 (40) m dyp. En foreløpig kost-nytteanalyse med rangering av 4 potensielle tiltaksalternativer

Tiltaksløsning	Allment aksept	Miljømessig aksept	Økonomisk forsvarlig	Miljøgevinst %-løsning	Sideeffekter	Gjenbruksverdi	Rang
Nullalternativet, la ligge og overvåke, naturlig overdekking over tid	Nei	Nei	Ja	0 %	Ingen	Ingen	4
Tildekke der sedimentene ligger, transport overdekkingssmasse, overvåking	Usikker	Nei	Ja	80 %	Få	Ingen	3
Mudring, transport sjø, dypdeponering i sjø, overdekking, overvåking	Usikker	Usikker	Usikker	90 %	Moderat	Ingen	2
Mudring, transport sjø og land, pumping og avvanning, deponi, mm.	Ja	Ja	Usikker	100 %	Mange	Ja	1



## 5.6 Anbefaling

Valg av tiltaksløsninger vil i stor grad være styrt av hvilke tiltak som vil være samfunnsøkonomisk mest fordelaktig for å oppnå ønsket miljømål. På grunn av arealets størrelse og vanndyp vil det trolig være mest økonomisk fordelaktig med tildekking av sedimentene i den sentrale delen av Indrevika, vist som tiltaksfase 1 i Figur 4. I området med Kleven brygger er det på grunn av seilingsdyp aktuelt å gjennomføre mudring i de grunneste områdene. Her kan det mudres noe mer enn gjennomsnittet i området nærmest kaien. Grovt slagg kan legges som erosjonssikring dersom dette godkjennes brukt. Mudring kan også være aktuelt ved utslippspunktet ved Trælandsfos, men dette må vurderes etter en nærmere kartlegging av området.

I det videre arbeidet bør det arbeides med konkret tiltaksplanlegging som skal danne grunnlag for selve tiltaksgjennomføringen. Dette innebærer bl.a.:

Lukking av kunnskapshull mht.:

- › Supplerende sedimentundersøkelse for å avgrense kvikksølv "hot spot" ved SK43/stasjon 2 (1996) ved utslippspunktet til Trælandsfos
- › Supplerende sedimentundersøkelse for å avgrense kvikksølv "hot spot" ved stasjon SK44 i antatt dumpområdet for muddermasser fra Trælandsfos
- › Grundig vurdering av forhold knyttet til dannelsen av metylkvikksølv og effekter av tildekking
- › Vurdering av geoteknisk stabilitet i tiltaksområdet
- › Vurdering av egnethet for forskjellige tildekkingsmasser
- › Ny vurdering av evt. landkilder ved ENK AS og Trælandsfos
- › Eventuelt supplere med ny prøvetaking av torskefilet for verifisering av metylkvikksølvnivåer i fiskefilet

Etter at tilstrekkelig kunnskap er samlet skal det utarbeides:

- › Detaljerte planer for anbudsutlysning og tiltaksgjennomføring, inkl. temakart og faglig/tekniske data.
- › Overvåkingsprogram for arbeidet før, under og etter tiltaksgjennomføring

## 5.7 Kostnadsvurdering

Valg av tiltaksmetode og materialvalg har stor betydning for kostnadene mht. gjennomføring av tiltaket. Dersom mudring velges som tiltaksmetode må det tas stilling til om muddermassene skal deponeres på land, legges i strandkantdeponi eller sjødeponi. Det er altså forskjellige kostnader og egenskaper forbundet med de forskjellige materialvalg og metoder. I Tabell 5 er det gjort en grov sammenstilling

av kostnader ved bruk av de forskjellige metodene. Kostnadene er vist for tildekking av fase 1 som utgjør et areal på ca. 100 000 m<sup>2</sup>. Det er også tatt med behov for mudring i området ved Kleven brygger og evt. mudring i området ved utslipp av prosessvann fra Trælandsfos.

I kostnadvurderingen er det ikke tatt med utgifter til rigg, forundersøkelser av sjøbunnen, deponeringskostnader for muddermassene og overvåking av tiltaksgjennomføringen. Oppgitte priser vil i stor grad være styrt av størrelsen på forespørselen. Særlig på mindre tiltak kan riggkostnaden utgjøre en forholdsvis stor andel av kostnaden. Levering av muddermassene til deponi vil koste i størrelsesorden 2 – 4 millioner og det vil derfor trolig være billigere og mer hensiktsmessig å finne lokale løsninger som f.eks. strandkantdeponi. Kostnader til forundersøkelser, rigg og overvåking vil være i størrelsesorden 2 – 3 millioner, men alle kostnader må detaljeres nærmere i forbindelse med utarbeiding av anbudsdokumentene.

Et tiltak som fjerner forurensede masser og legger på erosjonssikring ved Kleven brygger, samt tildekker sjøbunnen i sentrale deler av Indrevika vil kost i størrelsesorden 14 - 16 millioner.

Tabell 5: Grov oversikt over kostnader mht. tiltak i Indrevika. Kostnader til rigg, forundersøkelser, deponiløsninger og overvåking er ikke tatt med.

Valg	Tildekking*	mektighet	lag	kostnad kr/m <sup>2</sup>	100 000 m <sup>2</sup>
1	Skjellsand	30 cm	3	100	10 000 000,00
2	Skjellsand	15 cm	1	50	5 000 000,00
	Slagg**	15 cm	1	30	3 000 000,00
3	Kun utlegging av masser***	30 cm	3	65	6 500 000,00
	<b>Mudring ****</b>	<b>mektighet m</b>	<b>Areal m<sup>2</sup></b>	<b>Kostnad kr/m<sup>3</sup></b>	
4	Sugemudring	0,5	10000	180	900 000,00
5	Kuttersuger	0,5	10000	100	500 000,00
6	Horisontal auger	0,5	10000	250	1 250 000,00

\*: I tillegg kommer rigg, forundersøkelser og overvåking

\*\* : ikke medregnet kostnader til slagg

\*\*\*: masser levert på nærliggende kai

\*\*\*\*: I tillegg kommer rigg, forundersøkelser, deponiløsninger og overvåking

## 6 Referanser

- /1/ **COWI 2014:** Tiltaksrettede undersøkelser i Fedafjorden 2013. Trinn 3 Risikovurdering, datert 11. april 2014. Oppdragsnr. A045352.
- /2/ **COWI 2011:** Fedafjorden. Miljøundersøkelse 2010 og Trinn 1 Risikovurdering, datert 22. desember 2010. Oppdragsnr. 132151.
- /3/ **COWI 2012:** Fedafjorden. Trinn 2 Risiko- og tiltaksvurdering, datert 26. juni 2011. Oppdragsnr. 132151.
- /4/ **Miljødirektoratet, 2008.** Veileder for klassifisering av fjorder og kystvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. TA-2229/2007.
- /5/ **Miljødirektoratet, 2012.** Veileder. Håndtering av sedimenter. TA-2960/2012.
- /6/ **COWI, 2013:** Den grønne manual. Tiltaksmetoder og opprydning i sedimenter i Norge. Rapport Hav møter land ([Lenke](#)).
- /7/ **Sødal, D.P. (2003)** Fylkesvise tiltaksplaner for forurensete sedimenter. Rapport fra fase 1 for Fedafjorden, Kvinesdal kommune. Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernnavdelingen, rapport nr. 1-2003. 22 s. + vedlegg.
- /8/ **COWI, 2010:** Miljøteknisk grunnundersøkelse i to deponier i Lervika, Kvinesdal. COWI AS, prosjektnummer 132710.
- /9/ **Vannlaboratoriet, Høgskolen i Agder 1996:** Fedafjorden – Sedimentundersøkelser i Indrevika 1996. Oppdragsgiver Tinfos Jernverk.
- /10/ **Aquateam, 2012:** Utkast til Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sedimenter og biota. Miljødirektoratet TA-3001/2012, 105 s.