

# Utslipp av overflatevann fra Eramet Norway Kvinesdal



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Utslipp av overflatevann fra Eramet Norway Kvinesdal	Løpenr. (for bestilling) 6127-2011	Dato 3.3.2011
	Prosjektnr. Undernr. 11005	Sider Pris 27
Forfatter(e) Sissel Brit Ranneklev, Tone Merete Muthanna, Sigurd Øxnevad, Espen Lund, Jarle Molvær	Fagområde Miljøgifter overflateavrenning	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Eramet Norway Kvinesdal	Oppdragsreferanse
---	-------------------

**Sammendrag**

På oppdrag fra Eramet Norway Kvinesdal (ENK) har NIVA beregnet massetransport av mangan (Mn), sink (Zn) og suspendert tørrstoff (STS) fra overflatevann til Fedafjorden, basert på informasjon om tomte, nedbør og konsentrasjoner av Mn, STS og Zn. Utslippene via overflatevannet ble beregnet til å være: 544 kg/år for Mn, 14 kg/år for Zn og 84 tonn/år for STS. Tilførslen av Zn fra overflatevannet bidro marginalt til økning av bakgrunnskonsentrasjonen i vannmassene, som var langt under PNEC-verdi. For Mn ble beregnet økning i konsentrasjoner som følge av utslippet vurdert mot kjente konsentrasjoner i vannmasser hvor toksisitet av Mn oppstår. Beregnet konsentrasjon av Mn i vannmassene var under dette nivået. Beregnet massetransport av STS var betydelig, 84 tonn/år, og vil kunne ha negative effekter på fisk i indre del av Fedafjorden. Konsentrasjonene av STS ble beregnet til å være langt under PNEC-verdier for fysisk påvirkning, og vil ikke medføre dødelighet. Beregningene av massetransport av STS var basert på kun ett datasett med målinger. Utslippet av STS på 84 tonn/år fra ENK fremstår som for høyt, og det bør klarlegges om størrelsen er korrekt. Det anbefales i første omgang at prøver til analyse fra overløp og kummer tas ut hyppigere, og under ulike nedbørsforhold.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metaller, suspendert stoff</li> <li>2. Overflateavrenning</li> <li>3. Modellering</li> <li>4. Fedafjorden Eramet</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metals, suspended materials</li> <li>2. Discharges run-off water</li> <li>3. Modelling</li> <li>4. Fedafjorden Eramet</li> </ol>
--	---



Sissel Brit Ranneklev  
Prosjektleder



Thorjørn Larssen  
Forskningsleder



Bjørn Faafeng  
Seniorrådgiver

## **Utslipp av overflatevann fra Eramet Norway AS Kvinesdal**

## Forord

Denne rapporten er utarbeidet for Eramet Norway AS i Kvinesdal (ENK).

Sissel Brit Ranneklev har vært prosjektleder og ansvarlig for rapporteringen. Kvantifisering av overflateavrenning og massetransport er gjort av Tone Merete Muthanna. Informasjonen fra ENK om tomt og produksjonsprosesser er utarbeidet av prosjektleder etter befaring og samtaler med kontaktperson hos ENK. Vurderinger av effekter utslippet har på resipienten er gjort av Sigurd Øxnevad sammen med prosjektleder. Jarle Mølvær har beregnet oppholdstid for vannmassene i innerste del av Fedafjorden.

Håvard Midtgaard var kontaktperson hos ENK.

Takk til alle for god hjelp underveis.

Oslo 13.3.2011

*Sissel Brit Ranneklev*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Bakgrunn og målsetning</b>	<b>8</b>
2.1 Produksjonsprosessen ved ENK	8
2.2 Rensetiltak ved ENK	8
2.3 Fedafjorden	9
2.4 Målsetning	12
<b>3. Kjemisk analyse og prøvetakning</b>	<b>12</b>
<b>4. Kvantifisering av overvannsavrenning og massetransport</b>	<b>13</b>
4.1 Nedbørsfeltene	13
4.2 Avrenning	15
4.3 Massetransport av metaller	16
4.4 Årlig variasjon i massetransport	17
<b>5. Utslipp av suspendert tørrstoff</b>	<b>17</b>
<b>6. Kilder til utslipp av metaller og STS</b>	<b>18</b>
6.1 Råmaterialer	18
<b>7. Miljøbelastningen utslippet påfører resipienten</b>	<b>18</b>
<b>8. Referanser</b>	<b>22</b>
<b>9. Vedlegg</b>	<b>24</b>

---



## Sammendrag

På oppdrag fra Eramet Norway Kvinesdal AS (ENK) har NIVA beregnet massetransport av mangan (Mn), sink (Zn) og suspendert tørrstoff (STS) fra verkets tomt. Tomta ble inndelt i seks avrenningsfelt basert på kartinformasjon og opplysninger om kummer og utløp fra ENK. Årsavrenningen fra tomta ble beregnet med data fra Meteorologisk institutts værstasjon i Fedafjorden (målestasjon nr. 42250) ved bruk av månedlige nedbørsverdier fra de siste 6 årene (2004 - 2010). Konsentrasjonene av metaller og STS fra et sett med målinger i utløp og kummer har blitt skaffet til veie av ENK. For arealet "Kai", ble det benyttet sjablongverdier. Basert på denne informasjonen ble massetransporten estimert. Utslippene av metaller og STS via overflatevannet ble beregnet til å være: 544 kg/år for Mn, 14 kg/år for Zn og 84 tonn/år for STS.

Det var stor spredning i massetransporten fra de ulike arealene. Areal C som er det største og mest aktive arealet, hadde det høyeste bidraget av Mn, Zn og STS. På areal C foregår slaggspyling fra ovn 1 og 2, samt at det er plassert en slaggknuser på dette arealet. Det nest største arealet, Areal A, hadde en høy massetransport av Mn og Zn. På dette arealet oppbevares en del råvarer utendørs, samt materialer som transporteres til ovn 1 og 2. Areal F hadde den nest høyeste massetransport av STS. I dette arealet avkjøles slagg fra ovn 3 og man vil ha en transport fra arealene utenfor slam- og røykrenseanleggene. Fra målingene kan det se ut som om slaggkjølingen bidrar betydelig med tilførsler av STS. Kildene til Mn og Zn ser ut til å være relaterte til råvarer og håndteringen av disse.

Det er gjort vurderinger av effekter utslippene av Zn, STS og Mn påfører resipienten.

For Zn ble bidraget fra overflatevannet vurdert mot utlekkingen fra sedimentene på grunne og dype områder ved verkets beliggenhet, og i forhold til PNEC-verdier. Beregninger viste at tilførselen av Zn fra overflatevannet utgjorde var marginalt, og at det var langt igjen til PNEC-verdier ble overskredet.

Mangan kan forårsake toksiske effekter i akvatiske økosystemer, men dette er bestemt av en rekke abiotiske faktorer som red-oks potensialer, vannets hardhet, pH etc. Generelt anser man Mn som mindre toksisk enn andre tungmetaller. Beregnede konsentrasjoner av Mn i vannmassene antas å være vesentlig lavere enn nivåer som gir toksiske effekter på marine organismer. Basert på dette mener vi at utslippet av Mn har marginale effekter på resipienten.

Beregnet massetransport av STS på 64 tonn/år vil kunne ha negative effekter på fisk i indre del av Fedafjorden, men konsentrasjonene av STS er langt under PNEC for fysisk påvirkning, og vil ikke medføre dødelighet. Beregnet massetransport av STS var betydelig høyere hos ENK i forhold til beregninger gjort ved de mer produksjonsintensive Eramet-verkene i Sauda og Porsgrunn. Beregningene av overflateavrenningen hos ENK var basert på kun et datasett med målinger, og kan ha vært tatt ut på et tidspunkt hvor man måler på "first flush". For å klarlegge om størrelsen på utslippet er korrekt, anbefaler vi at det i første omgang tas flere målinger av overflateavrenningen under ulike nedbørsforhold.

## Summary

Title: Discharges of run-off water from Eramet Norway Kvinesdal, Norway

Year: 2011

Author: Sissel Brit Rannekleiv

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5862-2

On behalf of Eramet NORWAY Kvinesdal AS (ENK) NIVA has quantified and assessed the discharges from the surface run-off water from the silico- manganese plant to Fedafjorden.

Mass transports of manganese (Mn), zinc (Zn), and suspended solids (SS) in the surface run-off water from the plant were calculated. The plant area was divided into six run-off catchment areas based on information from maps, positions of manholes, and discharges provided from ENK. Average yearly run-off from the surface was calculated using monthly precipitation values from the last 6 years (2004-2010). Data was provided from the Norwegian Meteorological Institute's weather station in Fedafjorden (No. 4 2250). The concentrations of the two metals and SS sampled in manholes and from pipelines were provided by ENK. Based on this information the mass transport from the ground was calculated. The following annual discharges of metals and STS were estimated: 544 kg/year of Mn, 14 kg/year of Zn, and 84 tonnes/year of SS.

There was wide variation in the mass transport from the different run-off catchments. Area C, the largest and most active area, had the highest contribution of Mn, Zn and SS. In this area slag cooling takes place, and a slag crusher is placed in this area. The second largest area, Area A, had a high mass transfer of Mn and Zn. In this area raw materials are stored outdoor and transported to furnace 1 and 2. Area F had the second highest mass transport of SS. Cool-down of slag from furnace 3 is carried out here. In addition, the cleaning plant of off gases from all three furnaces is placed in the same area. From the measurements, it may appear that the slag cooling is a source of the SS. The sources of Mn and Zn may appear to be related to raw materials and the handling of these.

A brief assessment of how the discharges affect the recipient is done. To assess the potential impact of Zn on the recipient, the contribution of surface run-off water was compared to the leaching from sediments in shallow and deep areas of the inner basin of Fedafjorden, and compared to PNECw-values. Results showed that the discharge of Zn was marginal and values considerably lower than PNECw-values.

Manganese may cause toxic effects in aquatic ecosystems, but a number of abiotic factors such as red-ox potential, water hardness, pH, etc determine this. Generally, Mn is considered less toxic compared to many other heavy metals. Estimated concentrations of Mn in the waterbodies were substantially lower than the levels that give toxic effects on marine organisms, and were thereby considered to have minor effects on the recipient.

Estimated mass transport of SS was calculated to 64 tons/year, which may impose a negative effect on fish in the inner part of Fedafjorden. But, concentration of SS was estimated to be below the PNEC-value causing physical impact and will thus not affect mortality. Estimated mass transport of SS was considerably higher in ENK compared to calculations done by the more production intensive Eramet-plants in Sauda and Porsgrunn. Calculations of surface runoff from ENK were based on only one set of measurements, and sampling might have been performed during "first flush". To clarify if the size of the mass transport is correct, we recommend that sampling is performed under various precipitation events.

# 1. Innledning

Denne rapporten er utarbeidet av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) på grunnlag av forespørsel fra Eramet Norway Kvinesdal (ENK) AS. Forespørselen gjaldt kvantifisering og vurdering av utslipp fra overflatevann, redegjørelse for hvilke kilder utslippene stammer fra, samt vurdere hvilken miljøbelastning utslippene påfører resipienten. Følgende vurderinger skal gjøres:

- Kvantifisering og vurdering av utslipp fra overflatevann fra kummer/avløp på verkets tomt til sjø, samt usikkerheter i disse målingene
- Beregne utslippene av Mn, Zn, og suspendert tørrstoff (STS)
- Vurdere utslippet av STS til vann
- Vurdere hvor kilder til utslippene av metaller og STS har sin opprinnelse
- Vurdere hvilke effekter utslippene påfører resipienten



## 2. Bakgrunn og målsetning

Eramet Norway (EN) AS er et aksjeselskap som er eid 100 % av det franske, multinasjonale industrikonsernet Eramet ([www.eramet.fr](http://www.eramet.fr)). I Norge eier Eramet fire smelteverk, et verk i Tyssedal som produserer råjern og titandioksid, og tre verk i Sauda, Porsgrunn og Kvinesdal som fremstiller manganlegeringer.

### 2.1 Produksjonsprosessen ved ENK

Verket i Kvinesdal (Vest-Agder) ble grunnlagt i 1974 som Tinfos Jernverk (Øye Smelteverk). I 2008 ble hoveddelen av Tinfos konsernet solgt til Eramet, og verkene i Tyssedal og Kvinesdal ble da franskeide. Ved Eramet Norway Kvinesdal (ENK) produseres det i dag utelukkende silikomangan (SiMn) som tilsettes i stål for å fjerne oksygen (deoksidasjonsmiddel), slik at stålet får de ønskede mekaniske egenskapene.

Silikomanganen fra ENK produseres fra manganmalm og kvarts med elektrisk kraft som energikilde. I prosessen benyttes koks som reduksjonsmiddel, og for å optimalisere manganreduksjonen tilsettes slaggdannere, som her består av kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ). Tilførslene av elektrisk energi gjøres via elektroder som består av kalsinert antrasitt.

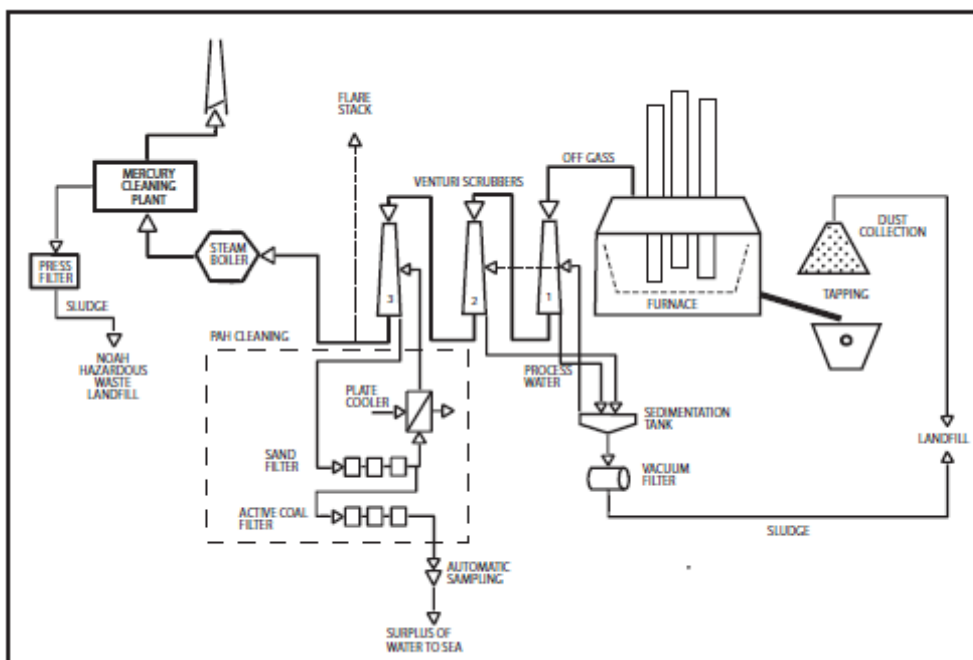
For kjøling i produksjonen har ENK inntak av ellevann fra Kvina. Dette vannet benyttes i hovedsak til avkjøling av ovner og rensing av gasser. Mindre mengder vann benyttes til avkjøling av slagg og støvdemping. Hos ENK er det resirkulasjon av spillvann, som benyttes til oppvarming av lagerbygg og prosessanlegg.

Det er stor omsetning av råvarer hos ENK, og ca. forbruk pr. år er 100 000 tonn kvarts og kalkstein, 400 000 tonn mangankilder, 75 000 tonn koks, og 3 400 tonn elektrodemasse. I tillegg benyttes bl.a. skoller, subb og fines fra forskjellige smelteverk til produksjonen på ENK. Produksjonsprosessen genererer avfalls- og biprodukter, som slagg med relativt lavt manganinnhold (selges som fyllmasse til veier og rundt bygninger), slam fra rensing av avgassen fra ovnene (går til deponi) og støv fra tapping av ovnene (går til deponi). Metall finstoff fra knusing av produktmetall smeltes om og PAH-mettet kull fra vannrenseanlegget går inn som karbonmateriale i ovnsprosessen.

(ERAMET NORWAY, 2009) og pers. med. H. Midtgaard og L. Hunsbedt ved ENK

### 2.2 Rensetiltak ved ENK

En beskrivelse av rens tiltakene ved ENK er gitt av (Hunsbedt m. fl., 2007), og en forenklet skisse er vist i **Figur 1**.



**Figur 1.** Skjematisk diagram som viser renseprosessen ved ENK (Hunsbedt m. fl., 2007). Det er installert to venturi-anlegg pr. ovn, hvorav et anlegg opererer av gangen. ENK har i dag 3 ovner.

Rensetiltakene som er blitt gjort hos ENK har vært rettet mot metaller, STS, PAH og Hg, og det er utviklet egne separate anlegg for rensing av PAH og Hg.

Etter at avgasser fra ovnene har vært gjennom venturi-skrubberne, blir den brennbare CO-gassen utnyttet i et varmekraftverk. Før gassen slippes videre ut i atmosfæren renses den for Hg i et eget anlegg som bl.a. oksiderer Hg(0) til Hg(II) som felles ut som HgS. Avfallet fra Hg-anlegget sendes til NOAH som spesialavfall.

Vann fra venturi-skrubber 1 og 2 sirkuleres tilbake til renseprosessen etter at støv og partikler har sedimentert i sedimentasjonstanker og blitt separert fra i et vakumfilter. Slammet sendes til et deponi på Fosselandsheia. Vann fra 3. venturi-skrubber behandles videre i et PAH-rensenanlegg, som bl.a. består av sandfilter og aktivt kullfilter. Overskuddsvann fra denne renseprosessen slippes ut til Fedafjorden på 25 m dyp, på vestsiden av kaianlegget. Mengdeproporsjonale prøver tas ut kontinuerlig, og pH, Mn, Zn, STS og PAH bestemmes, for å kontrollere at utslippstillatelsene fra Klif overholdes. Informasjon om ENKs utslippstillatelse fra Klif finnes på [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no).

## 2.3 Fedafjorden

ENK er plassert ved munningen av elva Kvina innerst i Fedafjorden, som inngår i Lista-regionens fjordsystem (**Figur 2**). Fedafjorden er en såkalt terskelfjord, dvs at fjordbassenget har en grunn undersjøisk rygg/terskel før den munnar ut i den åpne og dype Listafjorden. Terskelen, som i Fedafjorden er plassert ved Angholmen reduserer utskiftningen av vannmassene, særlig innerst i bassenget, slik at det er stor forskjell i oppholdstiden av vannet mellom indre og ytre del av fjorden og i forhold til dybde (Molvær, 1992).



**Figur 2.** Geografisk beliggenhet av Fedafjorden. Kostholdsrådet i fjorden gjelder fra rød linje og videre inn i Fedafjorden.

Fedafjorden har vært overvåket i mange år, og den har vært utsatt for ulike miljøbelastninger over lang tid. Fjorden har bl.a. vært resipient for industrien langs fjorden, gruvedrift fra Knaben og kommunalt avløpsvann (Kolstad, 1976; Sødal, 2003).

På 1980-tallet var fjorden sterkt preget av kommunal kloakk fra 2700 personekvivalenter (p.e.) og avløpsvann fra Agro felle-slakteri hvor tilsvarende 1800 p.e. organisk stoff ble sluppet ut i fjorden. Dette resulterte i perioder hvor oksygenivåer i dypvannet innenfor Angholmen var kritisk lavt og lokale deler av fjorden viste tegn til eutrofiering. Fra 1988 ble kommunalt kloakk renset før utslipp, og situasjonen i fjorden bedret seg betraktelig (Knutzen m. fl., 1986; Molvær, 1992).

Knaben molybdengruver som var i industriell drift fra 1918 til 1973 produserte store mengder deponimateriale som over tid har blitt ført med Kvina til Fedafjorden. I 1976 ble Klaredammen utbygd nedstrøms deponiet for å redusere tilførselen av deponimateriale til vassdraget. Sandbanker som består i hovedsak av deponimateriale antas å være viktigste sedimentkilder i vassdraget. I dag vet man at deponimateriale er spredd gjennom hele vassdraget og til minst 4 km ut i Fedafjorden. Avgangsmaterialet fra Knaben gruver er rikt på Mo og Cu (Langedal, 1997, 1997b). I 2002 (Traaen & Bækken, 2002) ble det gjort en undersøkelse av tungmetallforurensningen i Kvina med hensyn på vannkjemi og bunnfauna. Resultater viste at molybdenkonsentrasjonene var lavere enn det man antar kan være skadelige for akvatiske organismer. Konsentrasjonen av Cu var derimot så høy at man forventer skader på akvatiske organismer. Siste undersøkelser i Kvina ble gjort høsten 2010 (Misund & Haker, 2010) hvor man tok ut sedimentprøver langs elvebredden. Resultater viste at nivået av alle tungmetaller var lavt, og sedimentene kunne klassifiseres til klasse I og II i Klifs klassifiseringssystem (Bakke m. fl., 2007). Resultater fra (Langedal, 1997) viste at Cu i deponimaterialet er lettutløselig og biotilgjengelig, noe som antagelig forklarer den høye konsentrasjonen i vannfasen som ble funnet av Langedal i 1997 og av NIVA i 2002.

Borregaard Trælansfoss har i dag ingen industriell aktivitet langs fjorden, men opererer kraftstasjonen i Kvina. Fra 1961 til 1980 var det lokalisert et tresliperi ved Indrevika, ved ENK ((Sødal, 2003)), og i 1986 ble det påvist store mengder av trefflis og forhøyede konsentrasjoner av Hg og Cu i sedimenter utenfor anlegget, noe som muligens skyldes bruk av Hg og Cu for å hemme slimdannelse og fremvekst av mikroorganismer under produksjonen (Rygg & Skei, 1986). Grunnundersøkelser av deponiet i 2007 viste konsentrasjoner over Klifs normverdier for ”mest følsomme arealbruk” for Zn, Cr, Cu, As, olje

(C16-C35) og pentaklorfenol, mens konsentrasjoner i sigevannet var i klasse III-IV for Cu og Zn (Askland, 2007).

I 1987 ble det for første gang innført kostholdsråd i Fedafjorden pga forhøyede PAH-nivåer (Økland, 2005). Kostholdsrådet gjaldt konsum av flyndre innenfor Angholmen og skjell fra hele området. Det siste kostholdsrådet, som gjelder i dag, ble gitt i 1995, og omfatter konsum av skjell innenfor Stolsfjorden. Utslipp av PAH fra den gang Tinfos Jernverk var antatt å være årsaken til de forhøyede PAH-funnene.

I NIVAs arkiv rapporteres det om funn av høye nivåer av PAH i krabbe og albueskjell første gang i 1982 (Haugen & Molvær, 1982). Etter dette har Fedafjorden vært blant fjordene i Norge som har blitt overvåket systematisk (Sødal, 2003) og hvor det har blitt utviklet fylkesvise tiltaksplaner (Misund & Haker, 2010).

Siste miljøundersøkelse av Fedafjorden ble gjort 2010 (Bakke m. fl., 2007), hvor det ble utført en generell miljøgiftsundersøkelse av sedimenter (overflate og kjerner) og blåskjell i fjorden. I tillegg ble Trinn 1 i Klifs veileder (Andersen & Egeberg, 1996) for risikovurdering av sedimenter gjennomført. Ingen av områdene i Fedafjorden kunne da friskmeldes med hensyn til økologisk risiko etter Trinn 1.

I forhold til målinger fra 1994 viste det seg at innhold av PAH16 i blåskjell var blitt lavere, og de kunne klassifiseres til Klasse I og II. I overflatesedimentene var nivået av noen PAH-forbindelser fremdeles høye (spesielt benzo(g,h,i)perylene og indeno(1,2,3, cd)pyren, klasse V og IV), men generelt hadde nivået avtatt i forhold til målingene fra 1996. For metaller var konsentrasjonene av Hg, Cu, Cd og Pb høye i noen sedimenter, og Hg ble klassifisert til Klasse V i to sedimenter. Generelt kunne man se en reduksjon i konsentrasjonen av metaller i overflatesedimentene.

I sedimentkjerner tatt ut i 2010 (0-25 cm, ikke daterte) var det ingen entydig reduksjon i konsentrasjonen av hverken PAH 16 eller metaller fra 25 til 0 cm (overflaten). For de fleste av sedimentkjernene var det en økning av metaller og PAH fra 25 til 0 cm, noe som antyder at konsentrasjonene av miljøgiftene har økt den siste tiden. Dette er ikke som forventet, siden konsentrasjonen av miljøgifter generelt i overflatesedimenter og PAH i blåskjell fra 1996 til 2010 har avtatt. Fra en datert sedimentkerne tatt ut i 1986 ved 75 m dyp i Indrevika (2 km fra ENK), ble det beregnet en sedimenttilvekst på 1.5 mm/år. Her kunne man se en økning av Mn og PAH fra 1956±5 fram til 1986. Konsentrasjonen av Hg var stort sett ensartet gjennom kjernen, mens for Cu var det en økning fra 1924±5 fram til 1969±5, hvorefter konsentrasjonen avtok til (Rygg & Skei, 1986). Dersom man beregner 1.5 mm sedimenttilvekst/år for sedimentkjernene tatt ut i 2010 med dybde 10-25 cm, skulle dette sjiktet være fra ca 1840-1940, og vise en klar nedgang i konsentrasjonen av PAH og metaller fram til i dag.

Årsaken til at man ikke ser en slik nedgang kan bl.a. skyldes at det er en betydelig propellgenerert oppvirvling av sedimentene i dette området (noen uttak ble gjort rett ved kaiområdet). Resultater fra propelloppvirvling av sedimenter utenfor Herøya viste at ved hvert skipsanløp kunne fra 151 til 42 921 kg sediment oppvirvles (Håvardstun & Bakke, 2010). I tillegg kan det se ut som om sedimentuttakene har være gjort ved grunne områder og nær fastlandet hvor man ikke har en jevn og stabil sedimentering. I 1982/83 ble det tatt opp 450 m<sup>3</sup> med tømmer i Indrevika, noe som også kan forklare oppvirvling og dermed den manglende nedgangen over tid i sedimentkjernene (Hunsbedt m. fl., 2007).

## 2.4 Målsetning

Den positive utviklingen man har sett på blåskjell og overflatesedimenter tyder på at situasjonen er i ferd med forbedre seg i Fedafjorden. Det har blitt gjort betydelige tiltak på ENK for å redusere utslipp av miljøgifter til luft og vann fra produksjonen (Hanssen – Bauer m. fl., 2009). I dag mangler det oversikt på massetransport av miljøgifter og STS som tilføres fra tomta til sjøen. Ved å beregne tilførselen av miljøgifter fra overflatevann til indre basseng forventes det at man vil få et bedre bilde av hvordan situasjonen kan utvikle seg framover. Ved å systematisk kvantifisere tilførselene av metaller og STS fra de ulike avrenningsarealene på tomta vil man også få en oversikt over hvilke arealer som bidrar med den største avrenningen av metaller og suspendert tørrstoff. Dersom tiltak skal gjøres, kan rapporten benyttes som bakgrunnsmateriale for effektivt og kostnadsbesparende utvelgelse av arealer som har de største bidragene av metaller og suspendert materiale til sjøen. I tilfeller hvor man har sesongvariasjoner i avrenningen kan det gjøres sesongbaserte tiltak, for eksempel kan man benytte seg av kjemisk felling i sedimentasjonsbasseng i perioder med store nedbørsmengder.

## 3. Kjemisk analyse og prøvetakning

Analysene, målepunktene og tilhørende avrenningsareal som er benyttet til å beregne massetransporten fra tomta til sjøen er gitt i **Tabell 1**. ENK har prøvetatt og gjort målinger av Mn, Zn og STS.

Vannprøvene er analysert ved ENKs eget laboratorium og med interne metoder. Før analyse på atom abs oppsluttes 300 ml av vannprøven med 10 ml 65% HNO<sub>3</sub>. ENK hadde kun én måling fra utløpene V1, V2 og V3, og ingen fra V51 og V52 i 2010, så resultatene fra beregningene er meget usikre. For å få et mer korrekt bilde av avrenningen fra tomta ville det vært nødvendig å ta målinger under ulike nedbørsperioder og hyppig innenfor en nedbørsperiode for å fange opp "first flush" og fortynningen som skjer under lengre nedbørsperioder.

Et stort areal av tomta drenerer til kaiområdet, og det er ingen målinger her, eller kummer som overvannet drenerer til. Da dette arealet utgjorde en stor del av tomta ble det valgt å benytte sjablongverdier for konsentrasjonen på avrenningen her. Vi valgte å benytte et gjennomsnitt fra målepunktene V1, V2 og V51, da vi mente at disse ville representerer kaiområdet best.

**Tabell 1.** Målepunkter og konsentrasjoner i overflatevann på ENK- tomta i 2010. Ytterlig informasjon om avrenningsarealer er gitt i **Figur 3**.

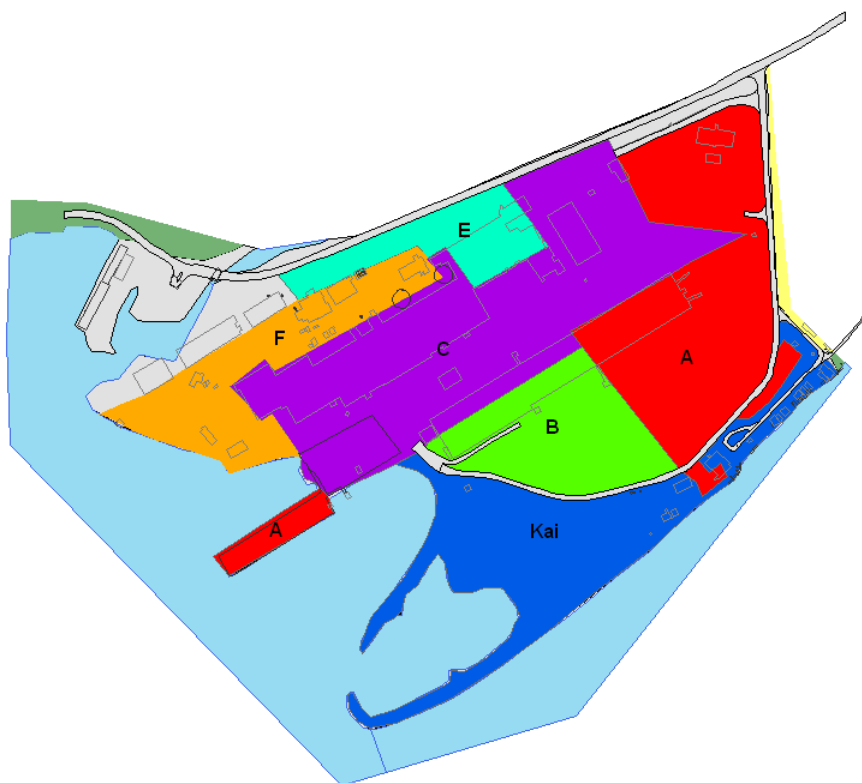
Målepunkt	Areal	Mn (mg/l)	Zn (mg/l)	STS (mg/l)
V1	A	1.2	0.03	76
V2	B	0.9	0.02	111
V3	C	1.0	0.03	267
V51 <sup>1</sup>	E	0.85	0.02	34.5
V52 <sup>1</sup>	F	1.03	0.03	414

<sup>1</sup> Gjennomsnitt for 2006-2009, da målinger mangler for 2010

## 4. Kvantifisering av overvannsavrenning og massetransport

### 4.1 Nedbørsfeltene

For å beregne massetransport av Mn, Zn og STS med overvannet ble ENK-tomta delt inn i avrenningsfeltene A, B, C, E, F og Kai, basert på kartinformasjon og opplysninger om brønner og utløp fra ENK (**Figur 3**). Det er ingen sedimentasjonsbasseng på tomta, og vann drenerer til kummer og videre til sjø eller ut over kaikanten.



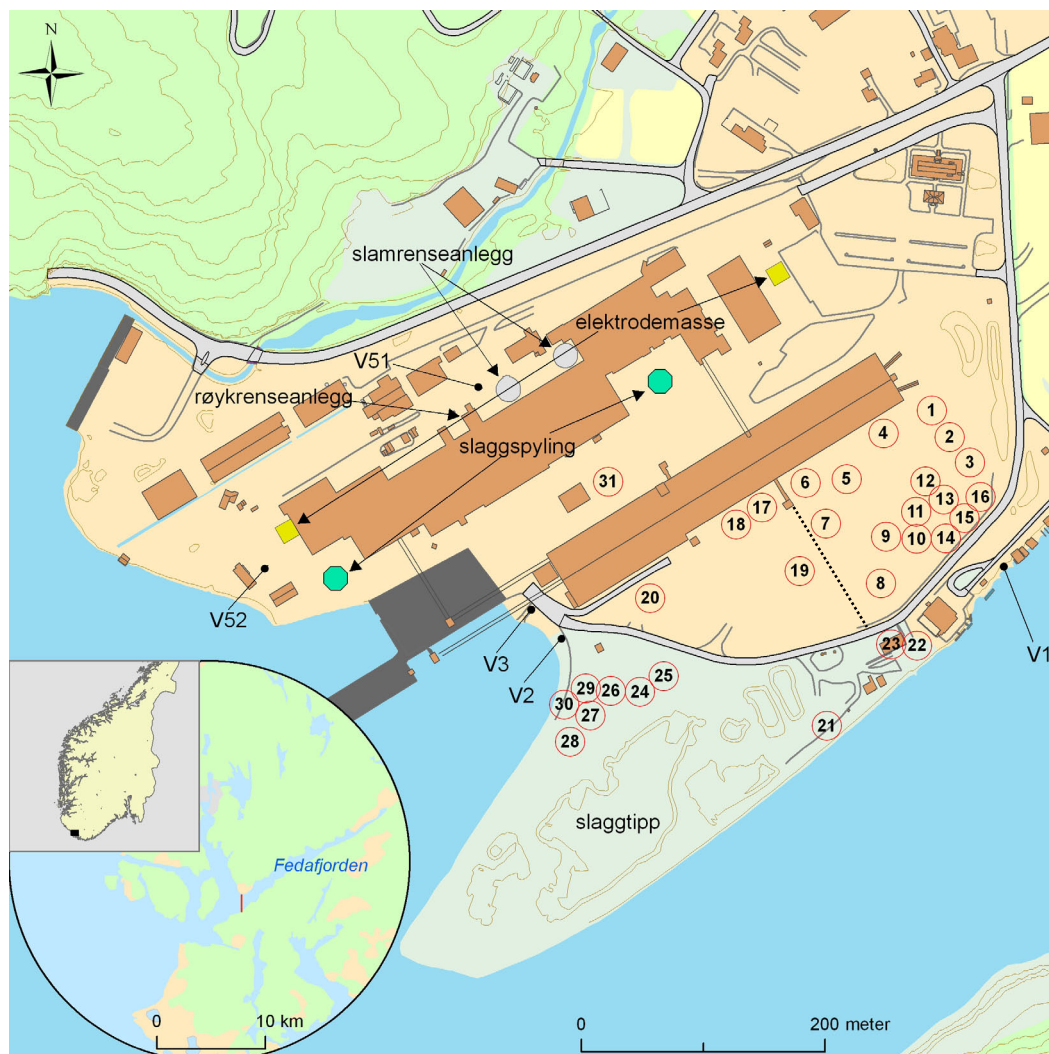
**Figur 3.** Avrenningsfelt for ENK- tomte. De forskjellige avrenningsarealene er tegnet inn med ulike farger og angitt med bokstaver A-E og eget område merket "Kai".

Areal A drenerer vann fra administrasjonsbygg, p-plass og tomt hvor råvarer oppbevares både utendørs og under tak, areal fra brygge ble også lagt her (se **Figur 4 og Tabell 2**, for råvareplasseringen på tomte). Vann fra Areal B drenerer fra tomte hvor råvarer oppbevares innendørs og utendørs. Areal C drenerer vann fra tomte utenfor mekanisk verksted, tak over tappehall, slaggspylingsområde (ovn 1 og 2), oppbevaringsplass for elektrodemasse og bygg hvor råvarer oppbevares under tak. Fra Areal E drenerer vann fra tak over ovnshus 1 og 2 og areal utenfor slamreanseanleggene. Areal F drenerer vann



fra areal utenfor røykrenseanlegg, tak over ovnshus 3, oppbevaringsplass for elektrodemasse samt slaggpyling fra ovn 3. På det resterende areal "Kai" oppbevares slagg samt noen råmaterialer og det er her noe lasting og lossing av slagg. Dette arealet vil ikke drenere til noen kum, men renne over kaikanten.

De antas at infiltrasjonen er meget lav på hele tomten, og omtrent tilsvarende asfalt (avrenningskoeffisient satt til 0.85–0.90), da grunnen bærer preg av å være tett sammenpakket. Dette er vanlig på industritomter hvor man presser grunnen sammen pga tunge kjøretøy.



**Figur 4.** ENK beliggenhet og oversiktskart over tomten med påtegnede kummer/overløp (V1-V52), samt lagerplass som oftest benyttes for oppbevaring av de ulike materialene. Sirkler med nummer 1-30 angir hvilket materiale som blir oppbevart. Beskrivelse av materialene er gjort i **Tabell 2**.



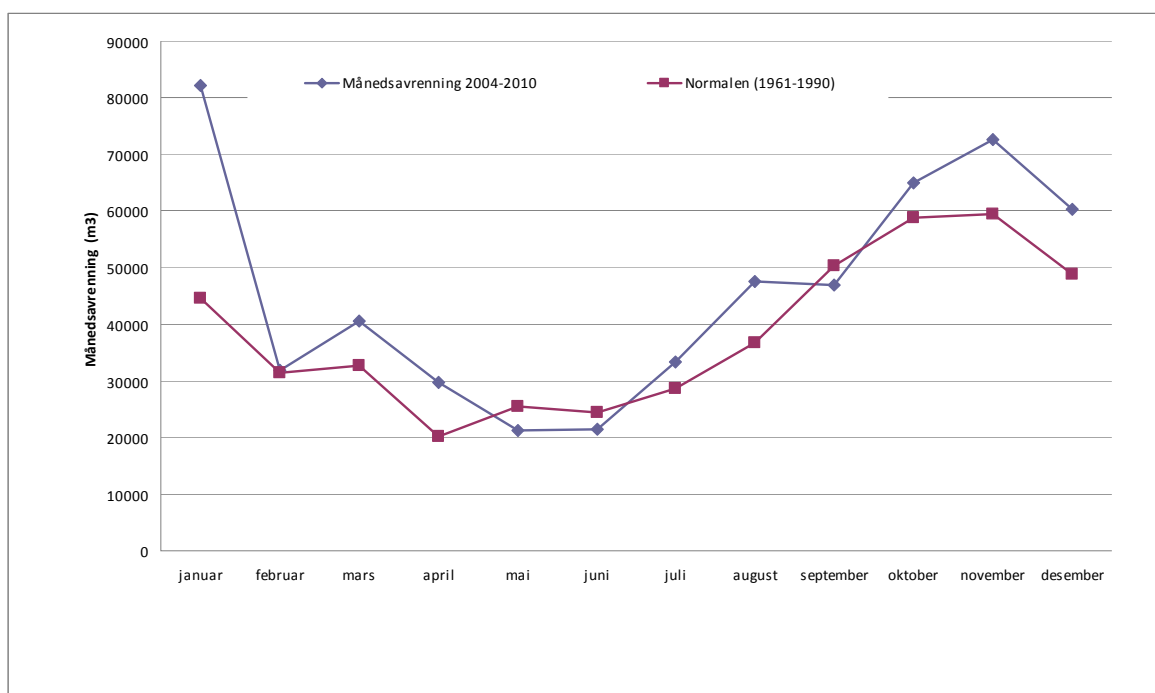
**Tabell 2.** Materialer som oppbevares på ENK-tomta (Areal A og B).

Nr.	Materiale	Nr.	Materiale	Nr.	Materiale
1	SK <sup>1</sup> 10209	11	Behi	21	Com Sinter 08183
2	SK 10100	12	Gloria (10145)	22	Skarpjern
3	Dunkirk 10207	13	FeMn 10093	23	ENP fines
4	Saud m/Fe10194	14	FeMn/Ghana	24	SiMet 10122
5	Sauda slagg sikta (11001)	15	FeMn MRP 10191	25	SK 10128Si-dross
6	Lavborslagg 11004 sikta	16	Mosil 09074	26	Si Met B 10169
7	SiMn Mix	17	Ovn 1 knus	27	SK-slagg 10170
8	Knust betong/sand	18	Avrakst	28	SiMet 10061
9	Sauda subb (11001)	19	Ghana 10129	29	SK 10174
10	Mosil 10049	20	SiMet 09104	30	SK 10128
31	SK 10201				

<sup>1</sup>SK, skoller

## 4.2 Avrenning

Årsavrenningen på tomte er beregnet med data fra met.no sin værstasjon i Fedafjorden (målestasjon nr. 42250) ved bruk av månedlige nedbørsverdier fra de siste 6 årene (2004-2010). Normalt brukes Met.no normalperiode (1961–1990) for å beregne årsverdier, men denne serien tar ikke høyde for klimaendringene, med sesongsøkning i nedbør på opp mot 40 % for vintersesongen (ERAMET NORWAY, 2009). Sammenligning av normal perioden med de siste 6 årene (**Figur 5**) viser en trend mot mer vinteravrenning.



**Figur 5.** Månedlige beregnet avrenning basert på data fra 2004–2010 sammenlignet med normalen for 1961–1990.

### 4.3 Massetransport av metaller

Tomta består av betongdekke, asfalterte veier, grusbelagte overflater og bygninger med i hovedsak blikktak. Dette er en gammel industritomt og det kan antas at selv de grusbelagte overflatene vil ha en begrenset infiltrasjonskapasitet på grunn av sammenpressing og komprimering av grunnen over lang tid. Massetransport av metaller er beregnet på bakgrunn av et prøvesett, og vi vil da ikke beregne gjennomsnitt, minimum og maksimumsverdier for året. Et mer detaljert prøvetakningsprogram over lengre tid må utføres før en kan gi en god beregning av disse grenseverdiene. Beregning av massetransport ble utført med ligning [1]. I **Tabell 3** vises massetransport av metaller og STS fra ENKs tomt.

Ligning [1]

$$\text{Massetransport metall (kg)} = \text{avrenningsvolum (L)} \times \text{Metall konsentrasjon (mg/L)} \times \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}}$$

**Tabell 3.** Beregnet massetransport av metaller og STS fra ENKs tomt.

Areal	Størrelse på areal (m <sup>2</sup> )	Mn (kg/år)	Zn (kg/år)	STS (tonn/år)
A	61 874	140	4	9
B	26 519	48	1	6
C	75 982	152	5	41
E <sup>1</sup>	15 514	46	1	1
F <sup>1</sup>	26 384	60	1	22
Kai	46 850	98	2	9
<b>Total</b>	<b>253 122</b>	<b>544</b>	<b>14</b>	<b>87</b>

<sup>1</sup>ENK hadde ikke målinger fra 2010, så tallene som er angitt her er gjennomsnitt (korrigert for nedbør) for målinger fra 2006–2009.

Det er stor spredning i massetransporten fra de ulike feltene. For Mn, Zn og STS skilte areal C seg ut, og dette arealet hadde den største massetransporten. Dette arealet er det største og antagelig det mest aktive på hele tomten. Her foregår slaggspyling fra oven 1 og 2, samt at det er plassert en slaggknuser på dette arealet. Areal A hadde en høy massetransport av Mn og Zn. Dette arealet er det nest største på tomten, og det oppbevares betydelige mengder råvarer her, og det er plassert en slaggknuser på tomten. Areal F hadde den nest høyeste massetransport av STS. I dette arealet kjøles slagg fra oven 3 og man vil ha en transport av materiale fra arealene utenfor slam- og røykrenseanleggene. Areal F som drenerer til kum V51 er plassert rett nedstrøms slaggkjølingen, og vil fange opp det meste av STS fra slaggkjølingen.

Ved å sammenligne %-avrenningsareal mot %-metallbidrag kan man se hvilke areal som har det største bidraget. Et eksempel for STS er gitt i **Tabell 4** med data fra 2009. En slik analyse for de ulike metallene kan benyttes som et hjelpemiddel til å prioritere tiltak.

**Tabell 4.** Avrenning av STS fra de ulike arealene og andel av total avrenningen for hvert areal. Da alle verdier for 2010 mangler, valgte vi å vise resultater fra 2009.

Areal	% av areal	STS (kg/år)	% av total Zn
A	24 %	11.0	12 %
B	10 %	6.5	7 %
C	30 %	42.2	46 %
E	6 %	2.0	2 %
F	10 %	20.6	23 %
Kai	19 %	8.8	10 %
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>91.1</b>	<b>100</b>

Som vist i **Tabell 4** vil for eksempel areal F som kun utgjør 10 % av det totale arealet bidra med 23 % av avrenningen av STS. Dersom tiltak skal gjøres vil det være fornuftig å vurdere dette arealet først, da det ofte er lettere å håndtere små arealer.

#### 4.4 Årlig variasjon i massetransport

Det er også foretatt beregninger av årlig variasjonen i avrenning av metaller og STS. Et eksempel for STS er vist i (**Tabell 5**).

**Tabell 5.** Årlig variasjon av massetransport for Mn, Zn og STS basert på årlig nedbør (2004–2010). Mn og Zn er gitt i (kg/år), mens STS er gitt i tonn/år.

Areal	STS			Zn			Mn		
	Min.	Gjennomsnitt	Max.	Min.	Gjennomsnitt	Max.	Min.	Gjennomsnitt	Max.
A	4.9	7.9	11.0	1.17	3.27	5.84	105.1	130.8	151.8
B	3.2	5.5	7.5	0.53	0.95	1.06	47.7	58.7	81.7
C	31.1	39.3	46.2	3.04	4.25	6.07	116.8	169.1	197.4
E	0.5	1.1	2.0	0.31	0.62	0.93	18.6	45.6	105.1
F	20.1	21.8	26.3	1.05	1.45	1.58	15.8	60.4	158.1
Kai	4.0	6.8	8.8	1.56	2.09	3.12	84.2	96.5	112.9
<b>Total</b>	<b>63.9</b>	<b>82.4</b>	<b>101.6</b>	<b>7.7</b>	<b>12.6</b>	<b>18.6</b>	<b>388.2</b>	<b>561.2</b>	<b>807.0</b>

Verdiene her er avhengig av den årlige nedbørsmengden for 2004 - 2010. Dersom man hadde hatt tilstrekkelig data til å beregne årlige variasjoner ville man ha hatt høyest avrenning sen høsten/tidlig vinter. Sesongbaserte tiltak kan være aktuelt dersom man for eksempel hadde sedimentasjonsbasseng, da man i perioder kunne benyttet seg av kjemisk felling, når avrenningen var størst. Tømming og klargjøring av sedimentasjonsbasseng og kummer før høst- og vårsesongen vil også kunne redusere massetransporten ut av et areal.

## 5. Utslipp av suspendert tørrstoff

Målinger ENK utførte i 2010 viste at de høyeste konsentrasjonene av STS ble målt i overvann som drenerer fra Areal C og F. Årsakene til at arealene C og F hadde de høyeste massetransportene av STS ser ut til å være knyttet opp mot slaggbehandlingen. Avrenning til et sedimentasjonsbasseng vil kunne redusere massetransporten av STS. Karakterisering av STS, som for eksempel størrelsesfordeling,

innhold av organiske materiale og VSS (flyktige forbindelser i det suspenderte materialet), evne til å løse ut frie metaller og elementanalyse kan gjøres. Dette vil gi informasjon om STS er fra slagg- eller slambehandlingen, om det er biotilgjengelig og om sedimentasjonsegenskaper for å vurdere om forbindelsene lar seg sedimentere naturlig eller hvorvidt fellingskjemikaler bør tilsettes.

## 6. Kilder til utslipp av metaller og STS

### 6.1 Råmaterialer

I **Figur 4** og **Tabell 2** vises et kart over ENK-tomta samt en oversikt over hvor materiale som benyttes under produksjonen oppbevares. På ENK oppbevares mye av råvarene under tak i råvarelageret. Det er stor omsetning av alt materiale som brukes i produksjonen eller produseres, slik at volum av de ulike materialene vil variere over tid, og det er ofte forflytninger av masser. I tillegg vil plasseringen variere noe. Materialene, som er nummerert fra 1 til 31 i **Figur 4** er ikke tildekket, og vil komme i kontakt med nedbør. I tillegg er det en slaggtipp i dette området.

Med bakgrunn i resultatene fra overflateavrenningen, analysebevisene og generell informasjon, er det gitt en grov vurdering av de ulike materialene.

#### Slagg

Avkjøling av slagg med vann foregår ved områdene C og F, og transporteres videre til arealene A og B for videre avkjøling (**Figur 3** og **Figur 4**). Det er høy gjenvinningsgrad på slagget, og mye selges som veidekke, fyll- og dreneringsmateriale, samt at det eksporteres til England. I årsrapport 2009 (Bakke m. fl., 2007), oppga ENK at 10 000 tonn slagg ble deponert på Fosselandsheia, av den totale produksjonen på 120 000 tonn. Da bidraget av STS var høyt fra de arealene hvor det er slaggbehandling (C og F), kan det se ut som om slaggbehandlingen bidrar til tilførselen av STS. Det foreligger ingen utlekkings tester av slagget. Slagg som skal benyttes som veidekke eller fyllmasse testes for utlekking av metaller.

#### Antrasitt (elektrodemateriale)

Antrasitt inneholder et høyt antall ulike PAH-forbindelser. Produktet anses å være uløselig i vann, og PAH-forbindelsene avdampes utelukkende under oppvarming. Hos ENK oppbevares elektrodemassen utendørs.

#### Koks og kull

Koks og kull oppbevares innendørs hos ENK, og avrenning fra disse materialene vil i hovedsak skje under transport fra havn til råvarelager og videre derfra inn til ovnene.

#### Malm/Sinter/Subb/Fines/Skoller/Avrakst/Malm

På arealene A og B oppbevares det en rekke forskjellige råvarer og ulike typer slagg. Generelt er det små volumer av dette materialet. Muligens vil materialer som er finfordelt kunne forårsake støvflukt og metaller vil løses lettere ut fra dette materialet under nedbør.

## 7. Miljøbelastningen utslippet påfører resipienten

Som vist i Kap. 2.3 har miljøsituasjonen i Fedafjorden i forhold til bl.a. miljøgifter blitt bedre fra 1980-tallet fram til i dag. Dette ser man fra målinger i overflatesedimentene og blåskjell. For å kunne danne seg et bedre bilde av hvordan miljøgiftsituasjonen vil utvikle seg fremover vil det være nyttig å avklare mulige tilførselskilder til fjorden. Betydningen av miljøgifttilførsler fra kilder på land som kan

transporteres med nedbør direkte til fjorden eller via Kvina bør avklares. Dersom det vurderes en tildekking av sedimentene, bør man være sikker på at tilførsler fra land er minimale.

For å vurdere hvilken effekt utslippet av Zn, Mn og STS har på resipienten ble deler av Trinn 1 i Klifs veileder for risikovurdering av sedimenter utført (Bakke m. fl., 2007). Bakgrunnsstoffene som ble benyttet var analyser av sedimenter fra rapporten til Misund & Haker (2010), og sedimentstasjonene S19, S22, S24, S27, S30, S43, S1, S2, S9, S10, S31, S35, S36, S53, S54, S56, S58 og S59 ble anvendt. Mangan og STS er ikke omfattet av Klif-veilederen, og vi har derfor benyttet sedimentveilederen kun for beregninger av Zn. For Mn og STS har vi gitt generell informasjon.

Ut fra stedsspesifikke data ble utlekking av Zn fra sedimentene beregnet og videre konsentrasjonene i vannmassene bestemt (data fra sedimentveilederen). Verdiene som ble funnet her ble deretter sammenlignet med avrenning av Zn fra ENK-tomta til sjøen. Tilslutt ble disse verdiene vurdert i forhold til PNEC-verdier (Predicted no effect concentration) i vannsøylen som er oppgitt i sedimentveilederen. Dette ble gjort for å kunne sammenligne bidraget som skyldes utlekking fra sedimentene mot avrenning av overvann fra tomta. I og med at Fedafjorden er en terskelfjord med store variasjoner i oppholdstiden for dype og grunne områder, ble beregningene gjort på to sett med data. Bestemmelse av oppholdstiden ble gjort som vist i Vedlegg A. I **Tabell 6** vises verdier som ble plottet inn i Excel-regneark i sedimentveilederen.

**Tabell 6.** Parametre med tilhørende verdier som ble benyttet for å beregne utlekking av Zn fra sedimentene fra grunne og dype områder i fjorden utenfor ENK.. Dybde og areal er hentet fra GISLINK-karttjeneste.

Parametre	Dyp	Grunn
TOC (%)	7.3***	14.1***
Sedimentareal i bassenget, $A_{sed}$ [m <sup>2</sup> ]	537000 (>20 m)	170000 (<20 m)
Vannvolumet over sedimentet, $V_{sed}$ [m <sup>3</sup> ]	26850000 (~50 m)	1700000 (~10 m)
Oppholdstid til vannet i bassenget, $t_r$ [år]	0.082 (30 dager)**	0.0054 (2 dager)**
Antall skipsanløp per år, $N_{skip}$	0	400***
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, $m_{sed}$ [kg]	0	1000
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, $A_{skip}$ [m <sup>2</sup> ]	0	170000
Fraksjon suspendert $f_{susp} = \text{sedimentfraksjon} < 2\text{mm}$	0.01*	0.01*

\* Sjablongverdier fra Klifs veileder, \*\* Fra Vedlegg A, \*\*\* Fra (Misund & Haker, 2010)

Beregningene som er gjort er vist under:

$$F_{tot} = F_{diff} + F_{skipsnorm} + F_{org}$$

$F_{tot}$  = total miljøgifttransport fra sedimenter (mg/m<sup>2</sup>/år)

$F_{diff}$  = transport som følge av biodiffusjon (mg/m<sup>2</sup>/år)

$F_{skipsnorm}$  = normalisert transport som følge av skipsoppvirvling (mg/m<sup>2</sup>/år)

$F_{org}$  = transport som følge av opptak i organismer (mg/m<sup>2</sup>/år)

For videre beregninger av konsentrasjoner i vannmassene ble Faktaboks 9 i Klifs veileder for risikovurdering av sediment benyttet:

$$C_{sv} = (F_{tot} - F_{org}) * A_{sed} * t_r * (1/V_{sjø}) = (F_{tot} - F_{org}) * t_r * (d_{sjø})$$

$C_{sv}$  = gjennomsnittlig miljøgiftkonsentrasjon i vannmassene (µg/l = mg/m<sup>3</sup>)

$A_{sed}$  = totalt sedimentareal (m<sup>2</sup>)

$t_r$  = oppholdstid av vannet i sedimentområdet (år)

$V_{sjø}$  = vannvolum over sedimentet (m<sup>3</sup>)

$d_{sj\phi}$  = gjennomsnittlig dybde (m) i sedimentområdet

Tilsvarende beregningsmodell ble benyttet for utslippet fra ENK, dvs at gjennomsnittlig miljøgiftkonsentrasjon i vannsøylen over sedimentene i de samme områdene ble beregnet. Bidraget ( $\Delta C_{sv}$ ) dette gir til økningen av konsentrasjonen i vannsøylen er da estimert.

I **Tabell 7** vises beregnet transport av Zn ut av sedimentene og konsentrasjonene i vannsøylen i indre basseng i dype og grunne områder. Beregnet massetransport av Zn fra ENK-tomta til fjorden var på 14 kg/år (**Tabell 3**).

**Tabell 7.** Miljøgifttransport av Zn fra sedimentene og konsentrasjoner målt i vannsøylen på dype og grunne områder i indre basseng.

Beregnet miljøgifttransport	Dyp	Grunn
Miljøgifttransport av Zn ut av sedimentene til basseng (kg/år)	11.2	6.5
$C_{sv}$ Zn ( $\mu\text{g/l}$ )	0.026	0.049
Overskridelse ( $C_{sv} - \text{PNEC}_w$ )/ $\text{PNEC}_w$	-99 %	-98 %
$\Delta C_{sv}$ , økning i konsentrasjon av Zn i vannsøylen som følge av tilførsel fra ENK-tomta ( $\mu\text{g/l}$ )	0.041	0.044
Zn $\text{PNEC}_w^*$ ( $\mu\text{g/l}$ )	2.9	2.9

\*Predicted no effect concentration

Fra **Tabell 67** ser vi at den gjennomsnittlige konsentrasjonen av Zn fra utlekking av sedimentene vannmassene er lav, og langt under  $\text{PNEC}_w$ -verdiene. Et bidrag av Zn fra overflateavrenningen vil gi en svak økning i bakgrunnskonsentrasjonen i vannmassene, og utgjøre et marginalt bidrag, ca 1.5 % av  $\text{PNEC}_w$ , og langt under  $\text{PNEC}$ -verdier. I Fedafjorden vil Kvina bidra med en tilførsel av Zn til Fedafjorden på ca 12.8 tonn i 2008 (Howe m. fl., 2004). Tatt også dette i betraktning vil et utslipp på 14 kg/år være marginalt.

For Mn ble det ikke gjort noen forenklet risikovurdering, da dette metallet ikke inngår i risikovurderingen eller klassifiseringen til Klif, og vi vil kun gi generell informasjon. Det er kjent at Mn kan ha toksiske effekter på marine økosystemer, og dette er bestemt av faktorer som bl.a. red-oks potensialer (mangan er et av de mest redokssensitive metaller), pH, innhold av oppløste ioner og temperaturer i vannmassene. Generelt anser man Mn som mindre toksisk i forhold til andre tungmetaller. I litteraturstudier av Howe m. fl. (2004) og [www.INCHEM.org](http://www.INCHEM.org) ble 1.5 mg/L oppgitt å være laveste konsentrasjon hvor man observerte toksiske effekter på marine organismer. Utslipp av 544 kg Mn/år (**Tabell 3**) fra overflateavrenningen, og beregnet konsentrasjon i vannmassene på samme måte som for Zn ovenfor, ga i underkant konsentrasjoner av 2  $\mu\text{g/l}$  for Mn i vannmassene på de dype og grunne områder. Basert på dette mener vi at utslippet av Mn har marginal effekt på resipienten.

Vedrørende utslipp av STS fra overflatevann har vi gitt en generell vurdering, da vi kun har informasjon om massetransporten (kg/år), og ikke noe om kvaliteten til STS. I Kap. 5 er det gitt noen vurderinger vedrørende STS. En massetransport på 64 tonn STS/år (84 tonn STS/år dersom gjennomsnitt for 2006–2009 benyttes, se **Tabell 1**) er en betydelig mengde, men vil trolig utgjøre liten økologisk risiko for resipienten. En høy partikkeltransport kan føre til nedslamming av fastsittende organismer og eventuelt påvirke organismer i vannmassene. En massetransport på 84 tonn STS pr år tilsvarer ca 200 kg pr dag, som er mindre enn typisk oppvirvling fra ett skipsanløp. Denne mengden STS tilsvarer ca 50 mg/L i volumet grunnere enn 20 meter. I Klifs veileder (2230/2007) anslås det at det virvles opp ca 1000 kg finfraksjonert sediment pr skipsanløp i industrihavner.

Det finnes lite dokumentasjon på effekter av partikler på fisk i sjøvann, mest er for elver og ferskvann. Grenseverdi for akutte toksiske effekter gitt som 96 timers  $\text{LC}_{50}$ -verdier ligger normalt mellom 10.000-30.000 mg/L, som er svært høyt i forhold til det som normalt finnes i sjøvann (1-5 mg/L) og også høyt i forhold til de man ser i vann fra for eksempel Glomma i vårflommen (ca 30 mg/L).

Partikkelnivå som gir effekter er lavere jo lengre eksponeringen er. For voksen og ung laksefisk er det funnet følgende sammenheng (Newcombe & Jensen, 1996):

- Eksponeringstid 1-7 timer, dødelighet ved henholdsvis >22.000 mg/L (voksen fisk) og >3.000 mg/l (ung fisk)
- Eksponeringstid 1-6 dager, dødelighet ved henholdsvis >3.000 mg/L (voksen fisk) og >400 mg/L (ung fisk)
- Eksponeringstid 2-7 uker, dødelighet ved henholdsvis >400 mg/L (voksen fisk) og >55 mg/L (ung fisk)

Grenseverdi for ikke-dødelige effekter, som f.eks gjelleskader, stress, redusert vekst og endret adferd er for laks normalt >1.000 mg/L, men enkelte skader er rapportert ved konsentrasjoner ned mot 270 mg/L (Goldes m. fl., 1988; Herbert & Merkens, 1961; Servizi & Martens, 1987). Noen grenseverdier for ikke-dødelige effekter hos voksen laksefisk er oppgitt til (Å. Åtland (NIVA) pers. med.):

- Eksponeringstid 1-7 timer, effekter ved henholdsvis >403 og >55 mg/L
- Eksponeringstid 1-6 dager, effekter ved henholdsvis >55 og >7 mg/
- Eksponeringstid 2-7 uker, effekter ved henholdsvis >7 og >3 mg/L

Humborstad et al. (1996) observerte ingen dødelighet hos torsk som ble utsatt for en partikkelkonsentrasjon på 550 mg/L i løpet av 10 dager.

Partikkelskyer med konsentrasjoner >60 mg/L kan gi fluktreaksjoner hos atlantisk laks (Robertson et al. 2007). Siden grenseverdi for ikke-dødelige effekter ved ett døgn eksponering tilsvarer omtrent det nivået der fluktreaksjon inntreffer har Hallén og Bakke (2011) satt 50 mg/L som realistisk effektgrense for uhellsutslipp av partikler. En konsentrasjon av STS på 50 mg/L er dermed i grenseområdet for effekt på fisk, og det kan ikke utelukkes at dette kan ha en negativ virkning på fisken i den indre delen av Fedafjorden. Konsentrasjonen av STS er imidlertid langt under PNEC for fysisk påvirkning på fisk (10-30 g/L), og vil ikke medføre dødelighet.

Beregningen av massetransporten fra tomta baserte seg på kun et datasett, og prøvene kan være tatt ut på et uheldig tidspunkt, for eksempel under "first flush" hvor STS har samlet seg opp i ledningsnettet og på arealer i løpet av en periode med lite nedbør. I forhold til beregninger gjort for verkene i Sauda og Porsgrunn for 2010 (i prep.), som anses å være større produksjonsenheter, og mer produksjonsintensive enn ENK, var massetransporten av STS fra ENK betydelig høyere enn disse. I Sauda og Porsgrunn ble massetransporten av STS beregnet til å være 2.1 og 8.0 tonn/år, henholdsvis. Utslippet av STS på 84 tonn/år fra ENK fremstår som for høye, og det bør klarlegges om størrelsen er korrekt. Det anbefales i første omgang at prøver til analyse fra overløp og kummer tas ut hyppigere og under ulike nedbørsforhold.



## 8. Referanser

- Andersen, D. O. & Egeberg, P. K. (1996). Fedafjorden - sedimentundersøkelser i indrevika 1996. *Høgskolen i Agder Rapport, s. 17.*
- Askland, A. (2007). Miljøteknisk grunnundersøkelse av gnr. 111, bnr. 2 og 3 -kvinesdal. *Multiconsult-rapport 311359/1.*
- Bakke, T., Breedveld, G., Kallkvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. (2007). Veileder for klassifisering av miljøkvaliteter i fjorder og kystfarvann - revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. *Klif-rapport TA-2229/2007, s. 12.*
- Bakke, T., Breedveld, G., Kallkvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. (2007). Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. *TA-2230/2007, 65.*
- ERAMET NORWAY. (2009). Miljørapport 2009, s. 12.
- ERAMET NORWAY. (2009). Årsrapport kvinesdal 2009, s. 4.
- Goldes, S., Ferguson, H., Moccia, R. & Daoust, P. (1988). Histological effects of the inert suspended clay kaolin on the gills of juvenile rainbow trout, *salmo gairdineri richardson*. *J Fish Dis 11, 23-33.*
- Hanssen – Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandsven, S., Sorteberg, A., Sundby, S., Vasskog, K. & Ådlandsvik, B. (2009). Klima i norge 2100. Bakgrunnsmateriale til nou klimatilpassning. *Norsk klimasenter, september 2009, Oslo.*
- Haugen, I. & Molvær, J. (1982). Foreløpig vurdering av fedafjorden, ros fjorden og mannefjorden ved mandal. *NIVA-Rapport 1364, s. 16.*
- Herbert, D. & Merckens, J. (1961). The effect of suspended mineral solids on the survival of trout. *International Journal of Air and Water Pollution, 5, 46-44.*
- Howe, P. D., Malcolm, H. M. & Dobson, S. (2004). Manganese and its compounds: Environmental aspects. *WHO Concise International Chemical Assessment Document 63.*
- Hunsbedt, L., Cox, P. M., Flatabø, R., Johansen, K.-E. & Bustnes, J. A. (2007). Environmental challenges for norwegian mn-industry. *Proceedings of the Eleventh International Congress on Ferroalloys (INFACON 11), New Dehli, India.*
- Håvardstun, J. & Bakke, T. (2010). Risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter ved herøya industripark. *Niva-rapport 6000 s. 113.*
- Knutzen, J., Molvær, J. & Ormerod, K. (1986). Undersøkelser i fedafjorden 1984-85. Delrapport 2: Forurensningstilførsler, vannkvalitet og vannutskifting. *Niva-rapport, O-8000320, s. 37.*

- Kolstad, S. (1976). Resipientundersøkelse av fjordsystemet i flekkefjordregionen. *Niva-rapport, O-123 s. 159.*
- Langedal, M. (1997). Dispersion of tailings in the knabeåna-kvina drainage basin, norway, 2: Mobility of cu and mo in tailings-derived fluvial sediments. *Journal of Geochemical Exploration, 58,* 173-183.
- Langedal, M. (1997b). The influence of a large anthropogenic sediment source on the fluvial geomorphology of the knabeåna-kvina rivers, norway. *Geomorphology, 19,* 117-132.
- Misund, A. & Haker, A. (2010). Fedafjorden - miljøundersøkelse 2010 og trinn 1 risikovurdering. *Cowi-rapport-132151, s. 58.*
- Molvær, J. (1992). Fjorder i vest-agder. Vurdering og kommentarer til fysisk-kjemiske analyseresultater for tidsrommet 1979-89. *Niva-rapport OR-2769, s.73.*
- Molvær, J. (1992). Fjorder i vest-agder. Vurdering og kommentarer til fysisk-kjemiske analyseresultater for tidsrommet 1979-89. *Niva-rapport, 2769, s. 73.*
- Newcombe, C. & Jensen, J. (1996). Impact assesment modell for clear water fishes exposed to extensively cloudy water. *N. Am. J. Fish Manage, 39,* 529-544.
- Rygg, B. & Skei, J. (1986). Undersøkelser i fedafjorden 1984-1985. Delrapport 1. Sedimenter og bløtbunnfauna.; 53 s.
- Prosjektnr: O-80003-20. *NIVA-Rapport O-80003-20, s. 53.*
- Servizi, J. & Martens, D. (1987). Some effects of suspended fraser river sediments on sockeye salmon, oncorhynchus nerka. In: *Smith, H., Margolis, J., Wood, C. (Eds.), Sockeye salmon, Oncorhynchus nerka, population biology and future management,* 354-264.
- Sødal, D. P. (2003). Fylkesvise tiltaksplaner for forurensede sedimenter. Rapport fra fase 1 for fedafjorden, kvinesdal kommune. *Fylkesmannen i Vest-Agder, Rap. nr. 1-2003, 22.s.*
- Traaen, T. S. & Bækken, T. (2002). Tungmetallforurensning i kvina. Undersøkelser av vannkjemi og bunnfauna. *NIVA-Rapport 4550-2002, s. 27.*
- Økland, T. E. (2005). Kostholdsråd i norske havner og fjorder. En gjennomgang av norske kostholdsråd i norske havner og fjorder fra 1960-tallet til i dag. *Mattilsynet, s. 269. ISBN 82-92650-01-06.*

## 9. Vedlegg

### Vedlegg A. Av Jarle Molvær.

#### Oppholdstid for vannmassene i innerste del av Fedafjorden

Figur 1 viser de gamle hydrografistasjonene, og dataene som jeg bruker er fra stasjon F2.

Figur 2 viser en omtrentlig langsgående bunnprofil og det er nødvendig å merke seg at den innerste delen av Fedafjorden har en terskel på 32 m dyp med et 87 m dypt basseng innenfor.

Når vi så ser på vannmassene (Figur 3) er det viktig å skjelne mellom tre, hvorav bunnsedimentene i Indre Fedafjord ligger både i Mellomlaget og Bassengvannet (se også Figur 4).

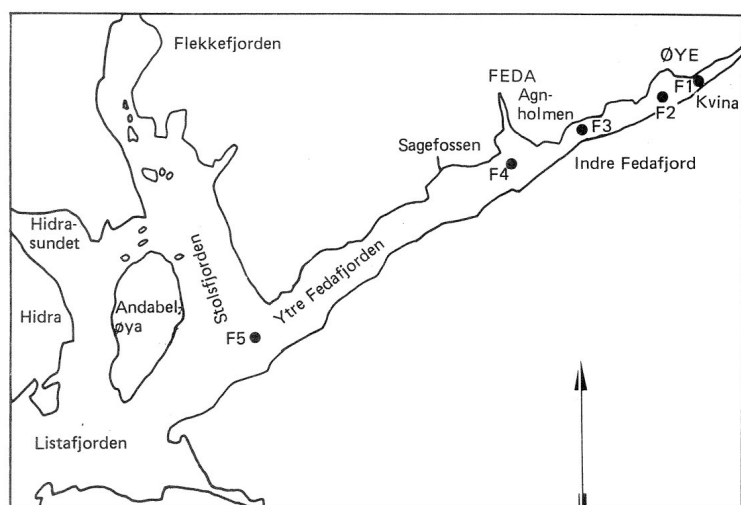
I Figur 4 av den innerste delen av Indre Fedafjord har jeg trukket en blå linje omtrent i 32m-koten og laget et areal som viser det som ligger dypere enn terskeldypet. Altså storparten av bunnarealet innenfor den svarte streken. Ser vi på den aller innerste delen = det som ligger innenfor den røde streken, blir fordelingen litt forskjellig, men skjønnsmessig tror jeg fortsatt at det største bunnarealet ligger >32 m.

Oppholdstiden for bassengvannet er vesentlig større enn oppholdstiden for vannmassen over terskelen (mellomlaget). Jeg har brukt modellen FjordEnvironment (Stigebrandt, 2001) for å beregne oppholdstider for mellomlag og for bassengvannet. *For mellomlaget får jeg 2-3 døgn og det bør være tall som dere kan bruke for sedimentflaten < 32 m dyp.*

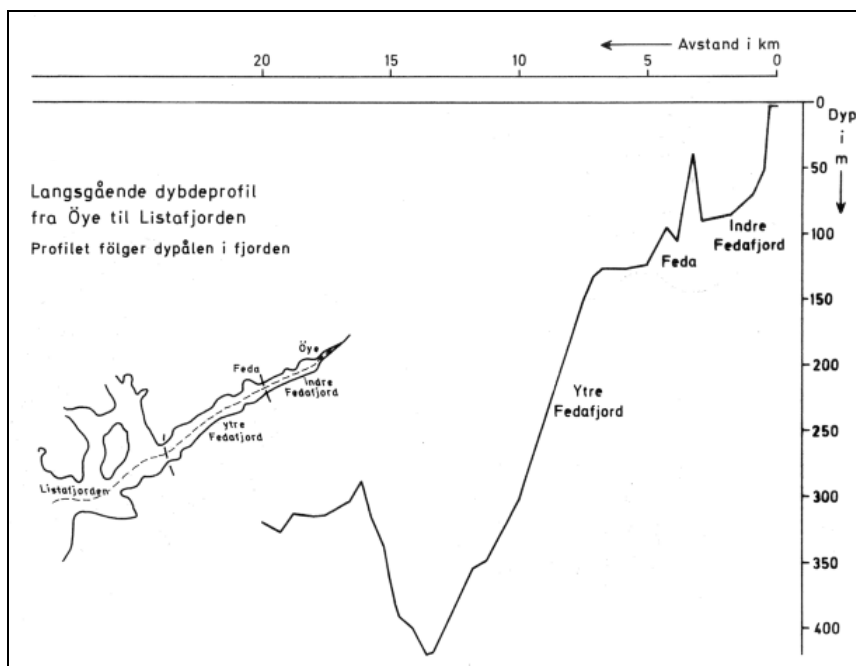
For bassengvannet gir modellen i utgangspunktet oppholdstider som er altfor store, dvs. flere år, og kan ikke stemme. Sedimentene som dere betrakter ligger helt ned til 60-67 m dyp og fra terskeldyp og nedover vil oppholdstiden øke raskt. *Jeg vil tro at hvis en skal bruke ett tall for å karakterisere oppholdstiden for denne 30m-vannsoylen så bør det være i størrelsesorden 1 måned. Betydelig lenger i 60-65 m dyp og betydelig kortere i 32-40 m dyp.*

#### Litteratur:

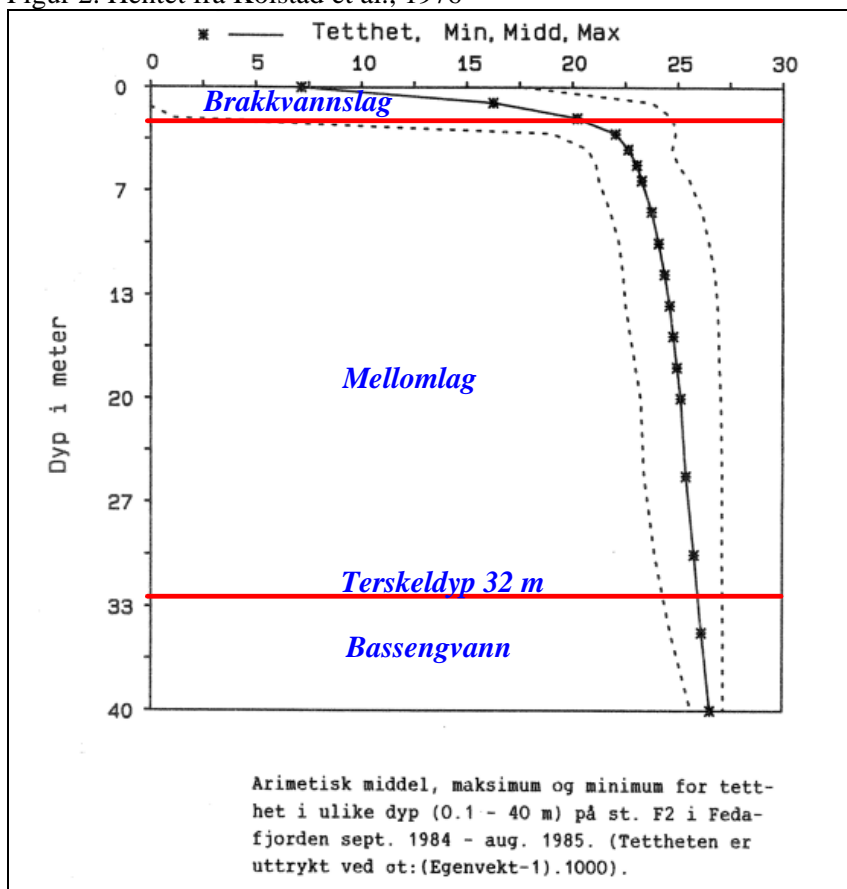
Stigebrandt, A., 2001. FjordEnv – A water quality model for fjords and other inshore waters. Report C40 2001. Earth Sciences Centre, Göteborg University, Göteborg.



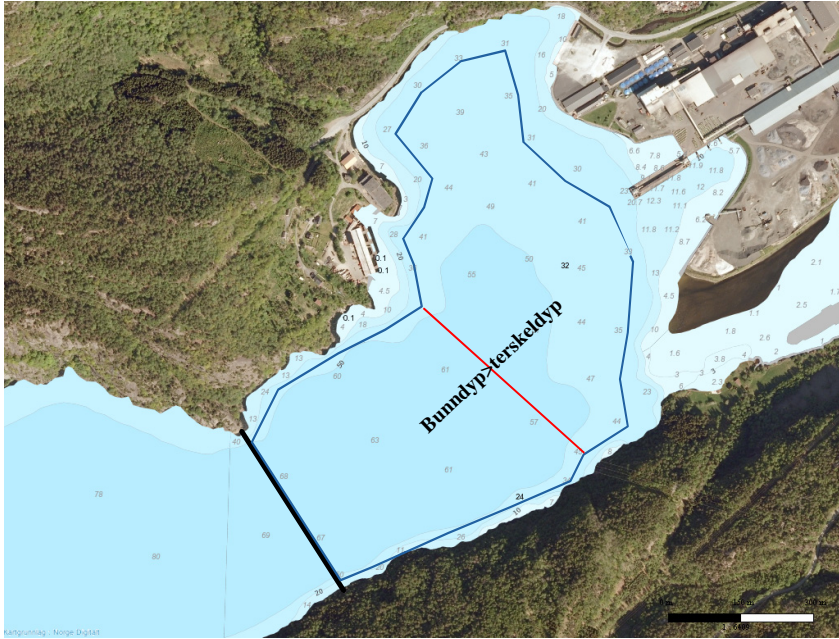
Figur 1. Hentet fra Kolstad et al., 1976



Figur 2. Hentet fra Kolstad et al., 1976



Figur 3. Omarbeidet fra Knutzen al., 1986.



Figur 4. Kopierte kartet fra Gislink.no og la inn streker for å vise arealer, og tekst.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)