

# Pålegg vedrørende utslipp fra overflatevann ERAMET NORWAY AS Sauda



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 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 Pålegg vedrørende utslipp fra overflatevann. ERAMET NORWAY AS Sauda	Løpenr. (for bestilling) 6010-2010	Dato 29.8.2010
	Prosjektnr. Undernr. O-10333	Sider Pris 26 + Vedlegg
Forfatter(e) Sissel Brit Ranneklev, Tone Merete Muthanna, Sigurd Øxnevad, Torgeir Bakke, Espen Lund	Fagområde Miljøgifter overflateavrenning	Distribusjon Fri
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) ERAMET NORWAY Sauda	Oppdragsreferanse
---	-------------------

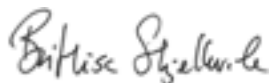
**Sammendrag**  
Klima- og forurensningsdirektoratet har pålagt ENS å kvantifisere og vurdere sine utslipp fra overflatevann til Saudafjorden. På oppdrag fra ENS har NIVA beregnet massetransport av krom, mangan, kadmium, bly, sink og PAH i overflatevann fra ENS-tomta. Tomta ble delt inn i fem avrenningsfelt og årsavrenningen fra tomte ble estimert. Konsentrasjonen av metaller og PAH ble bestemt i overflatevannet under ulike nedbørsforhold og produksjonsprosesser. Utslippene av metaller og PAH<sub>16</sub> via overflatevannet ble beregnet til å være: 0.2 kg/år for Cd, 1.7 kg/år for Cr, 2728 kg/år for Mn, 0.8 kg/år for Pb, 33.5 kg/år for Zn og 282.5 kg/år for PAH<sub>16</sub>. Det største bidraget av metaller og PAH i overflatevannet kom fra prosessvann fra MOR-prosessen. Et annet felt som bidro til avrenning av metaller var kaiområdet. Bidraget fra aktiviteter knyttet i hovedsak til slaggbehandlingen hadde en noe høyere tilførsel av Cr, Mn og Zn. For å vurdere potensielle effekter tilførslene av metaller og PAH på resipienten, ble bidraget fra overflatevannet vurdert mot utlekkingen fra sedimentene i indre basseng i Saudafjorden. Resultater viste at tilførslene fra overflatevannet var marginale i forhold til utlekkingen fra sedimentene i bassenget. Tilførsler fra overflatevann fra ENS-tomta anses å ha marginal effekter på resipienten.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Metaller, PAH, suspendert materiale	1. Metals, PAH, suspended materials
2. Overflateavrenning	2. Storm water run-off
3. Modellering	3. Modelling
4. Saudafjorden	4. Saudafjorden



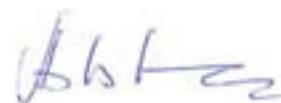
Sissel Brit Ranneklev

Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle Monsen

Forskningsleder



Harsha Ratnawera for  
Bjørn Faafeng

Seniorrådgiver

# **Pålegg vedrørende utslipp fra overflatevann**

Eramet Norway Sauda (ENS)

## Forord

Denne rapporten er utarbeidet for ERAMET NORWAY AS i Sauda (ENS).

Sissel Brit Ranneklev har vært prosjektleder og ansvarlig for rapporteringen. Kvantifisering av overflateavrenning og massetransport er gjort av Tone Merete Muthanna. Informasjonen fra ENS om tomt og produksjonsprosesser er utarbeidet av prosjektleder etter befaringer og samtaler med kontaktperson hos ENS. Beregninger av utlekking av metaller og PAH fra sedimentene i indre basseng er gjort av prosjektleder i samarbeid med Sigurd Øxnevad og Torgeir Bakke. Espen Lund har laget kart og tegninger i rapporten.

Reidar Flatabø var kontaktperson hos ENS.

Takk til alle for godt samarbeid.

Oslo, 28.8. 2010

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>
<b>3. Kjemisk analyse og prøvetakning</b>	<b>11</b>
3.1 Kjemiske analyser og prøvetakning	11
<b>4. Kvantifisering av overvannsavrenning og massetransport</b>	<b>12</b>
4.1.1 Nedbørsfelt	12
4.1.2 Avrenning	12
4.1.3 Massetransport av metaller og PAH	13
4.1.4 Sesongvariasjon i massetransport	15
4.1.5 Beregning av massetransporter av metaller fra NIVA og ENS	16
<b>5. Utslipp av suspendert stoff til vann</b>	<b>17</b>
<b>6. Kilder til utslippene av metaller og PAH</b>	<b>17</b>
6.1.1 Råmaterialer	19
6.1.2 Avrenning av overflatevann	20
<b>7. Miljøbelastningen utslippet påfører resipienten</b>	<b>21</b>
<b>8. Referanser</b>	<b>24</b>
<b>9. Vedlegg</b>	<b>25</b>
9.1 Analyser av metaller og PAH fra NIVAs laboratorium.	26

---

## Sammen drag

Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) har pålagt Eramat NORWAY Sauda AS (ENS) å kvantifisere og vurdere sine utslipp fra overflatevann til Saudafjorden.

På oppdrag fra ENS har NIVA beregnet massetransport av krom, mangan, kadmium, bly, sink og PAH i overflatevann fra ENS-tomta. Tomta ble delt inn i fem avrenningsfelt basert på kartinformasjon og opplysninger om brønner og utløp fra ENS. Årsavrenningen på tomten er beregnet med data fra Meteorologisk institutts værstasjon i Sauda (målestation 46610) ved bruk av månedlige nedbørsverdier fra de siste 6 årene (2004 - 2010). Konsentrasjonen av metaller og PAH ble bestemt i overflatevannet under ulike nedbørsforhold og forhold i produksjonsprosesser som kunne påvirke kvaliteten på overflatevannet. Utslippene av metaller og PAH<sub>16</sub> via overflatevannet ble beregnet til å være:

0.2 kg/år for Cd, 1.7 kg/år for Cr, 2728 kg/år for Mn, 0.8 kg/år for Pb, 33.5 kg/år for Zn og 282.5 kg/år for PAH<sub>16</sub>. Det største bidraget av metaller og PAH i overflatevannet kom fra prosessvann fra MOR-prosessen. Konsentrasjonene av metaller og PAH var lavt, men p.g.a. den store volumstrømmen med vann (~250 m<sup>3</sup>/time), ble bidraget herfra stort. Et annet felt som bidro til avrenning av metaller var kaiområdet, hvor lossing og lasting av råvarer inn til produksjonen foregår, samt utskipning av ferdige produkter. Bidraget fra aktiviteter knyttet i hovedsak til slaggbehandlingen, hadde en noe høyere tilførsel av Cr, Mn og Zn. Avrenningen av Mn fra råvarelageret av malm var ubetydelig.

For å vurdere potensielle effekter tilførslene av metaller og PAH på resipienten, ble bidraget fra overflatevannet vurdert mot utlekkingen fra sedimentene i indre basseng i Saudafjorden.

Bakgrunns materialet som ble benyttet for beregning av utlekking fra sedimentene var basert på en sedimentundersøkelse utført 2009. Resultater viste at tilførslene fra overflatevannet var marginale i forhold til utlekkingen fra sedimentene i bassenget. Tilførsler fra overflatevann anses å ha marginal effekter på resipienten.

---

## Summary

The Norwegian Climate and Pollution Agency (Klif) has imposed Eramet NORWAY Sauda AS (ENS) to quantify and assess their discharges from the surface run-off water to the Saudafjorden.

Mass transports of chromium (Cr), manganese (Mn), cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), and PAHs in the surface run-off water from the plant were calculated. The plant was divided into five run-off catchment areas based on information from maps, positions of manholes, and discharges provided from ENS. Average yearly run-off from the ground 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 Sauda (No. 46 610). The concentration of metals and PAHs were determined in the surface run-off water. Sampling was done during various precipitation conditions, and when manufacturing processes in the plant could potentially influence the quality of the surface water. The following discharges of metals and PAH<sub>16</sub> were estimated: 0.2 kg/year of Cd, 1.7 kg/year of Cr, 2728 kg/year of Mn, 0.8 kg/year of Pb, 33.5 kg/year of Zn, and 282.5 kg/year of PAH<sub>16</sub>.

Process water from the decarburization process (MOR-process), had the highest contribution of metals and PAHs. Concentration of metals and PAHs were low, but due to the large volume flow of water (~ 250 m<sup>3</sup>/h), the contribution from the process water was high. Another catchment area that contributed considerably to the runoff of metals was the quay-area, where loading and unloading of raw materials as well as shipment of finished products take place. The contribution from activities related primarily to the slag treatment, had a slightly higher supply of Cr, Mn, and Zn. Runoff of Mn from the raw material supply of ores were negligible.

To assess the potential impact of metals and PAHs on the recipient, the contribution of surface run-off water was compared to the leaching from sediments in the inner basin of the Saudafjord. Background material used for the calculation of leaching from the sediments was based on a sediment survey conducted in 2009. Results showed that discharges from surface run-off water were marginal compared to the leaching from the sediments in the basin. Discharges from the surface were considered to have minor effects on the recipient.

---

# 1. Innledning

Denne rapporten er utarbeidet av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) på grunnlag av forespørsel fra Eramet Norway Sauda (ENS), i følge ordre datert 28.6.2010. Forespørsel gjaldt kvantifisering og vurdering av utslipp fra overflatevann, redgjørelse for hvilke kilder utslippene stammer fra, samt vurdere hvilken miljøbelastning utslippene påfører resipienten. Bakgrunnen for forespørselen skyldes pålegg til ENS fra Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) i brev av 4. juni 2010 (Klifs referanse 2008/67), samt utfyllende mail fra saksbehandler i Klif, Stian Rein Andersen pr. 23.6.2010.

Pålegget ga krav om at følgende utredninger/undersøkelser skulle gjennomføres:

- Kvantifisering og vurdering av utslipp av overflatevann fra kummer/avløp på verkets tomt til vann, samt usikkerheter i disse målingene
  - Beregne utslippene av mangan, sink, kadmium, krom, bly og PAH<sub>16</sub> til vann
  - Belyse utslipp av suspendert materiale til vann
  - Vurdere hvor kilder til utslippene av metaller og PAH<sub>16</sub> stammer fra
  - Vurdere hvilken effekt utslippene påfører resipienten
-



## 2. Bakgrunn og målsetning

ERAMET NORWAY (EN) er et aksjeselskap som er eid 100 % av det franske industrikonsernet Eramet, hvor virksomheten i selskapet er konsentrert om gruvedrift og metallurgisk industri. Eramet overtok Elkems manganverk i Porsgrunn og Sauda i 1999. Verket i Sauda (Rogaland) ble startet 1913, og etableringen her ble valgt p.g.a. nærhet til vannkraft. Smelteverket ERAMET NORWAY Sauda (ENS) produserer manganlegeringer, dvs. legeringer mellom mangan (Mn), silisium (Si) og jern (Fe). Manganlegeringene som produseres ved ENS selges videre til stålindustrien.

Manganlegeringene fra ENS produseres av manganmalm med elektrisk kraft som energikilde. I prosessen benyttes koks som reduksjonsmiddel, og for å optimalisere manganreduksjonen tilsettes kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ) som slaggdanner. Tilførselen av elektrisk energi gjøres via elektroder som består av kalsinert antrasitt. Antrasitt og koks er kullmaterialer med ulike kjemiske sammensetninger. Antrasitt har et høyt innhold av karbon (>90 %) og lavt innhold av aske. I antrasitt og koks er <10 % og <1 % av innholdet flyktige forbindelser, henholdsvis.

Under produksjonen forbrukes store mengder vann, som hentes fra Storelva. Dette vannet benyttes i hovedsak til avkjøling av ovner og rensing av avgasser. Mindre mengder vann benyttes til avkjøling av slagg og demping av støv. Etter tapping og avkjøling av støpt masse, knuses og siktes dette til ferdig produkt.

Produksjonsprosessen genererer avfalls- og biprodukter. Slagget som produseres er rikt på ferromangan, og mye av materialet resmeltes, brukes som mangankilde til silikonmangan eller selges videre. I tillegg gjenvinnes støv fra produksjonen som deponeres dersom det ikke kan føres tilbake til prosessen.

Ved ENS er forbruket av råvarer stort, og i 2009 ble det anvendt 471 000 tonn manganmalm, 110 000 tonn koks og 5 100 tonn elektrodemasse (ERAMET NORWAY, 2005; ERAMET NORWAY, 2009; Olsen et al., 2007).

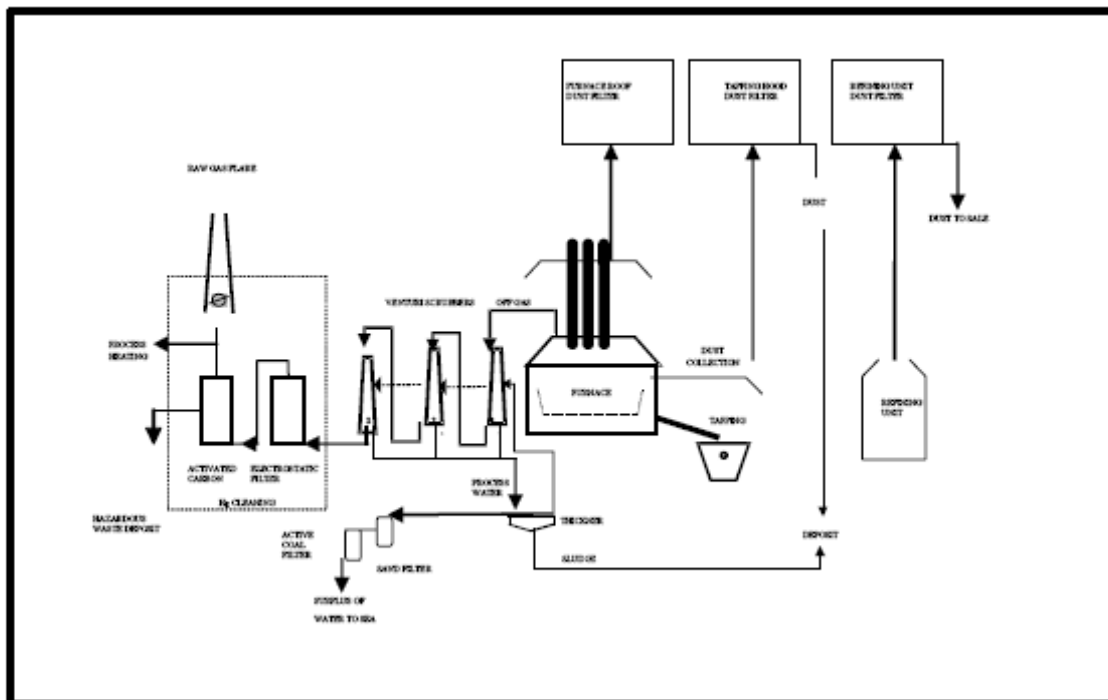
ENS er plassert innerst i Saudafjorden, som er en del av Sandsfjordsystemet (Saudafjorden, Sandsfjorden og Hylsfjorden) (**Figur 1**). Saudafjorden har vært overvåket i mange år, og fokus har vært rettet mot PAH og tungmetaller (Knutzen, 1974; Knutzen et al., 1979). Utslippene av PAH og tungmetallene knyttes opp mot driften fra smelteverket. I 1985 ble det første kostholdsrådet gitt, som gjaldt for PAH og tungmetaller i fisk og skjell. Siden er kostholdsrådet blitt endret flere ganger. Siste kostholdsråd kom i 2007 og gjelder for blåskjell fra innerst i Saudafjorden til en rett linje mellom Molla og Storskjær (**Figur 1**). Dette kostholdsrådet er gitt som følge av for høye konsentrasjoner av PAH (Miljøstatus Norge, 2010; Økland, 2005).

---



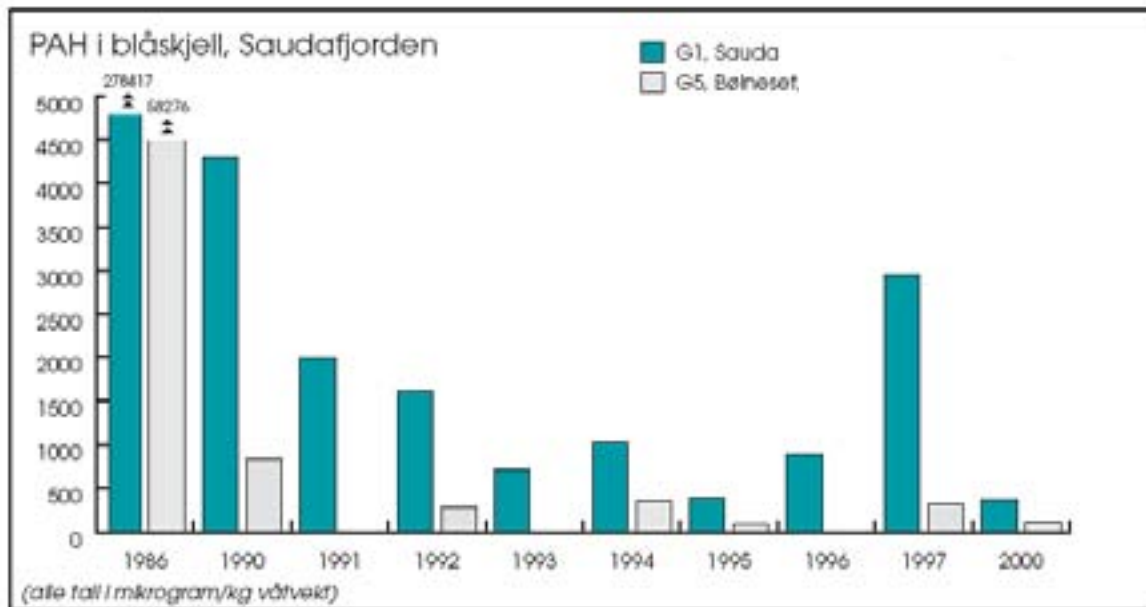
**Figur 1.** Geografisk beliggenhet av Sauda. Rødt skravert område viser hvor kostholdsrådet gjelder.

Miljøsituasjonen i Saudafjorden har blitt forbedret over tid (Bakke et al., 2007a; Kjos-Hansen and Myhre, 2003; Knutzen et al., 1979; Moy et al., 2001; Næs, 1999). Dette gjenspeiler at ulike rensetiltak fra smelteverket har hatt effekter. Fra 1947 fram til i dag har det vært iverksatt ulike tiltak for å rense gass og vann fra anlegget (Kjos-Hansen and Myhre, 2003). I **Figur 2** vises de ulike renseprosessene hos ENS i dag (Hunsbedt et al., 2007).



**Figur 2.** Skjematisk diagram som viser renseprosessene ved ENS (Hunsbedt et al., 2007).

I Saudafjorden finnes det lange tidsserier fra overvåkningsdata av PAH og tungmetaller i sedimenter, fisk og blåskjell (Bakke et al., 2007a; Kjos-Hansen and Myhre, 2003; Moy et al., 2001; Næs, 1999). Resultater har vist en klar reduksjon av konsentrasjoner av PAH og tungmetaller i resipienten fra midten av 1980-tallet fram til 2009 (Øxnevad and Schøyen, 2010). I **Figur 3** vises reduksjonen av PAH-innhold i blåskjell fra to stasjoner i Saudafjorden fra 1986 til 2000.



**Figur 3.** Innhold av PAH<sub>16</sub> i blåskjell fra Sauda (G1), ved ENS og Bølneset (G5), rett innenfor dagens restriksjonsområde.

De siste undersøkelser fra 2009 (Øxnevad and Schøyen, 2010) utenfor ENS viser at PAH-nivået i blåskjell var lave, og tilsvarende tilstandsklasse I (ubetydelig-lite forurenset) i følge Klifs klassifiseringssystem (Molvær et al., 1997). Nivået av PAH i blåskjell har blitt tydelig redusert fra 2007 til 2009. I 2007 ble blåskjell fra dette området klassifisert til klasse III (betydelig forurenset) (Bakke et al., 2007a).

Undersøkelser fra 2009 viser at sedimentene fra indre del av Saudafjorden, utenfor ENS fremdeles er forurenset av PAH, kvikksølv (Hg), kadmium (Cd), arsen (As), kobber (Cu), bly (Pb), sink (Zn) og til en viss grad nikkel (Ni). Innholdet av krom (Cr) i sedimentene var lavt, og ble i hovedsak klassifisert til klasse I (Øxnevad and Schøyen, 2010). I forhold til undersøkelser utført av Uriansrud (2004), er det ingen entydig forbedring av miljøforholdene i sedimentene fra 2004 til 2009 i dette området. Årsakene til dette kan skyldes mange forhold, for eksempel at grunnområdene (0-20 m) er skrånende, slik at sedimentasjon av nyere materiale som er mindre forurenset tar lang tid, det er en oppvirvling av eldre mer forurensete sedimenter fra skipstrafikk i havna, ENS foretok en mudring langs kaia i 2004 for å fjerne manganmalm og koks som ble tapt under lossing, slik at eldre mer forurensete sedimenter kan ha blitt virvlet opp (Bakke et al., 2007a). I tillegg vil man under uttak av sedimenter ta ut materiale fra overflaten ned til ca 2-10 cm dyp, avhengig av utstyr som benyttes og bunnforholdene. Med en sedimentasjonsrate på ca 2 mm i året vil man da få med seg en stor andel av eldre sedimenter.

Resultater fra risikovurderingen som ble utført i 2007 viste at det ikke var en betydelig reell risiko for helse (dvs. basert på målinger av miljøgifter i fisk og blåskjell), slik at tiltak på sedimentene ble ansett som lite formålstjenlig. På lang sikt har man sett en positiv effekt på sedimentutviklingen i Saudafjorden, og videre oppfølging av indre del av fjorden ble foreslått som tiltak. Ved å avklare tilførselen av miljøgifter fra overflatevann til indre basseng forventes det at man vil få et bedre bilde av hvordan situasjonen utvikler seg framover (Bakke et al., 2007a).

Hensikten med dette oppdraget var å kvantifisere tilførsler av Mn, Zn, Cd, Cr, Pb og PAH<sub>16</sub> til sjø, samt vurdere usikkerheter knyttet til dette. Konsentrasjoner av metaller og PAH<sub>16</sub> ble målt i kummer, overløp og sedimentasjonsbasseng under ulike nedbørsperioder og i tidsrom hvor prosesser under produksjonen muligens kunne påvirke overvannsvannkvaliteten. Ved hjelp av modellering ble overvannsavrenning og massetransport fra ENS-tomta til sjøen beregnet. Potensielle kilder ble vurdert, i form av lagring av råvarer/avfallsprodukter, produksjonsprosesser og arealmessige forhold på tomta. Effekter utslippene kan ha på resipienten ble belyst fra beregnede utslipp og fra tidligere sedimentundersøkelser.

### 3. Kjemisk analyse og prøvetakning

Prosjektleder gjennomførte to besøk til ENS. Det første besøket ble avlagt 1. juli 2010 hvor i hovedsak det ytre miljøet på anlegget ble gjennomgått. Besøk nummer to ble gjennomført 28. juli 2010 og da ble produksjonsprosessen vurdert. Vannprøver ble tatt under første besøk, og prøveflasker til ENS ble levert ut, slik at de selv kunne hente inn prøver etter avtalt prøveskjema. Prøvene ble deretter sendt til NIVAs laboratorium.

#### 3.1 Kjemiske analyser og prøvetakning

Alle analysene ble utført ved NIVAs akkrediterte laboratorium. Fra NIVAs laboratorium ble det utlevert spesialvaskede, glødede og fargede prøveflasker til PAH-analysene (2.5 l prøve ble samlet inn). Til metaller ble det benyttet syrevaskede flasker. NIVA er akkrediterte for metall- og PAH-analysene som ble utført. Oversikt over metaller og PAH-forbindelser og nedre bestemmelsesgrense (deteksjonsgrense) er gitt i **Tabell 1**. Rådata fra analysene ligger som vedlegg.

**Tabell 1.** Liste over parametre som ble analysert og tilhørende deteksjonsgrenser. Sum PAH<sub>16</sub> inkluderer naftalen, acenaftylene, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benzo(a)antracen, chrysen, benzo(b+j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, dibenz(a+a)antracen, benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren og benzo(a)pyren.

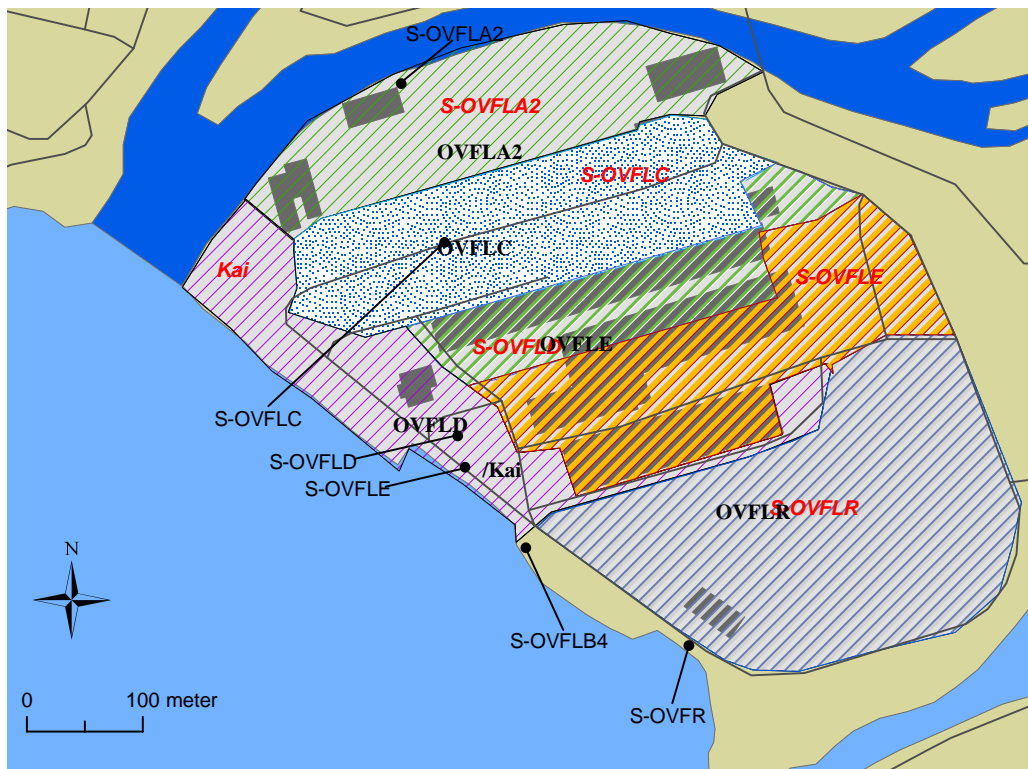
Parameter	Deteksjonsgrense
PAH <sub>16</sub>	2 ng/L
Cd	0.005 µg/L
Cr	0.1 µg/L
Mn	0.05 µg/L
Pb	0.005 µg/L
Zn	0.05 µg/L

Uttak av vannprøver fra de ulike prøvepunktene har blitt forsøkt utført ved forhold som kan ha effekter på utslippet, som for eksempel kaldt og varmt kjølevann fra MOR-prosessen (ferromanganlegeringen blåses med oksygen under høy temperatur for å redusere innholdet av karbon), under og etter slaggspyling og ved ulike nedbørsforhold. Uttak av representative vannprøver fra overflateavrenning er komplisert, for eksempel vil det kunne oppstå en såkalt "first flush", hvor forurensinger som har samlet seg opp siden foregående regnvær føres bort med den første strømmen. I noen av overløpene ble det ikke samlet opp vann til PAH-analysene, p.g.a. liten vannføring.

## 4. Kvantifisering av overvannsavrenning og massetransport

### 4.1.1 Nedbørsfelt

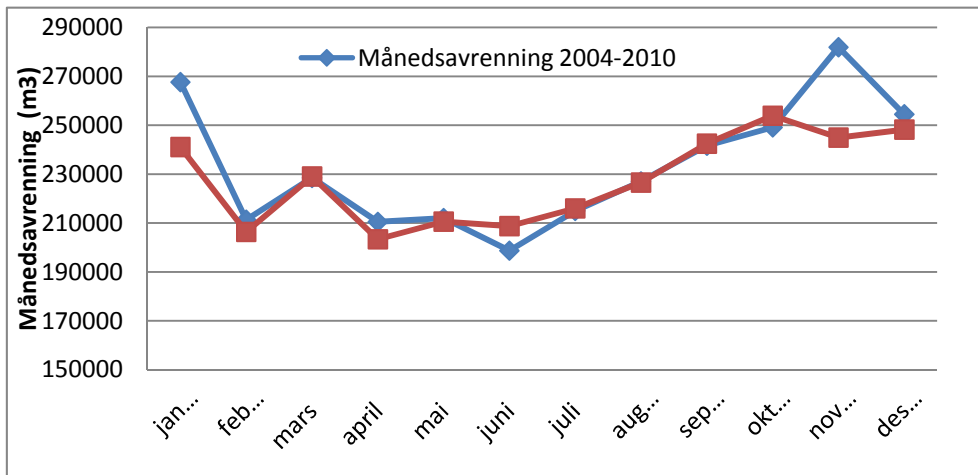
For å beregne massetransport av metaller og PAH med overvannet ble ENS-tomta delt i fem avrenningsfelt basert på kartinformasjon og opplysninger om brønner og utløp fra ENS (**Figur 4**). Det er to sedimentasjonsbasseng på tomten; OVFLA2 og OVFLR. OVFLA2 drenerer råmaterallageret og området rundt, mens OVFLR drenerer området på sørøst siden av tomten, som brukes til kortids lagringsplass for diverse metaller, koks, slagg etc. (**Figur 8**). OVFLC drenerer en del av bygningene og områdene rundt og er koblet på det offentlige avløpssystemet og er derfor ikke tatt med videre i beregningene. OVFLD er et prosessvannoverløp (fra MOR-prosessen) med stor vannføring, gjennomsnitt 250 m<sup>3</sup>/h, samt noe overvannsavrenning. Området merket 'Kai' drenerer noen bygninger og overflaten rundt kai og dette vannet renner rett over kaikanten.



*Figur 4. Avrenningsfelt for ENSs område.*

### 4.1.2 Avrenning

Årsavrenningen på tomten er beregnet med data fra met.nos værstasjon i Sauda (målestasjon nr. 46610) ved bruk av månedlige nedbørsverdier fra de siste 6 årene (2004-2010). Normalt brukes Met.no normalperiode (1996-1990) for å beregne årsverdier, men denne serien tar ikke høyde for klimaendringene, med sesongsøkning i nedbør på opp mot 40 % for vintersesongen (Hanssen – Bauer et al., 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.

#### 4.1.3 Massetransport av metaller og PAH

Tomten består av betongdekke, bygninger med i hovedsak blikktak, asfalterte veier og grusbelagte overflater. 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. Avrenningskoeffisientene er satt til mellom 0,85 og 0,9 for alle flatene.

Massetransport av metaller er beregnet på bakgrunn av flere prøvesett og det er regnet på gjennomsnitt, minimum og maksimumsverdier. Dette er ikke ment som en øvre og nedre grense på mulig massetransport, men som et bilde på hva de målte konsentrasjonene vil si for variasjon i årlig masse transport. Massetransport ble beregnet med ligning [1]. Et mer detaljert prøvetakningsprogram over lengre tid må utføres før en kan gi en god beregning av grenseverdiene. I **Tabell 2** og **Tabell 3** vises massetransport av metaller og PAH fra ENSs 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 2. Beregnet massetransport av metaller fra ENSs tomt.

Målepunkt	Beregnet årlig utslipp (kg/år) (minimum, gjennomsnitt, maksimum)														
	Cd			Cr			Mn			Pb			Zn		
S-OVFLA2	0.040	0.047	0.061	0.112	0.165	0.249	3.66	22.44	55.41	0.004	0.072	0.217	0.191	0.652	1.587
S-OVFLR	0.001	0.003	0.006	0.015	0.319	1.042	347.79	569.56	945.31	0.028	0.039	0.050	0.323	0.789	1.777
S-OVFLD	0.022	0.046	0.053	0.219	0.263	0.438	134.90	494.76	913.23	0.182	0.509	0.935	7.118	14.712	22.338
S-OVFLE	0.003	0.013	0.021	0.010	0.376	1.065	281.95	656.57	901.19	0.045	0.098	0.163	2.308	6.816	11.278
Kai		0.039			0.546			985.12			0.047			10.502	
<b>Total</b>	<b>0.066</b>	<b>0.148</b>	<b>0.140</b>	<b>0.356</b>	<b>1.669</b>	<b>2.794</b>	<b>768.304</b>	<b>2728.469</b>	<b>2815.142</b>	<b>0.258</b>	<b>0.764</b>	<b>1.365</b>	<b>9.940</b>	<b>33.471</b>	<b>36.980</b>

Tabell 3. Beregnet massetransport av PAH fra ENSs tomt. PAH ble ikke målt i overvann fra "Kai" og OVFLE p.g.a.vanskelighet med prøvetakning (små vannmengder).

Målepunkt	Beregnet årlig utslipp (kg/år) (minimum, gjennomsnitt, maksimum)								
	Sum PAH		Sum PAH16		Sum KPAH				
S-OVFLA2	4.2	35.3	89.1	3.4	31.6	79.8	1.4	16.1	43.2
S-OVFLR	43.6	50.9	55.0	41.6	48.0	51.8	7.6	11.4	17.1
S-OVFLD		217.0			202.8			61.8	
S-OVFLE									
Kai									
<b>Total</b>	<b>47.7</b>	<b>303.2</b>	<b>144.1</b>	<b>45.0</b>	<b>282.5</b>	<b>131.6</b>	<b>9.0</b>	<b>89.3</b>	<b>60.3</b>

Det er stor spredning i massetransporten fra de ulike feltene. Felt OVFLD har en mindre mengde overvannsavrenning, men en stor vannstrøm prosessvann fra MOR-prosessen. Ved å sammenligne % avrenningsareal og % metall bidrag (**Tabell 4**) viser det seg at OVFLD, som har et lavt bidrag av overvannsavrenning, er den desidert største bidragsyteren av sink. De to sedimentasjonsbassengene (OVFLA2 og OVFLR) drenerer til sammen 39 % av arealet, men bidrar bare med 5 % av forurensingen. Denne analysen kan brukes som et hjelpemiddel i å prioritere tiltak.

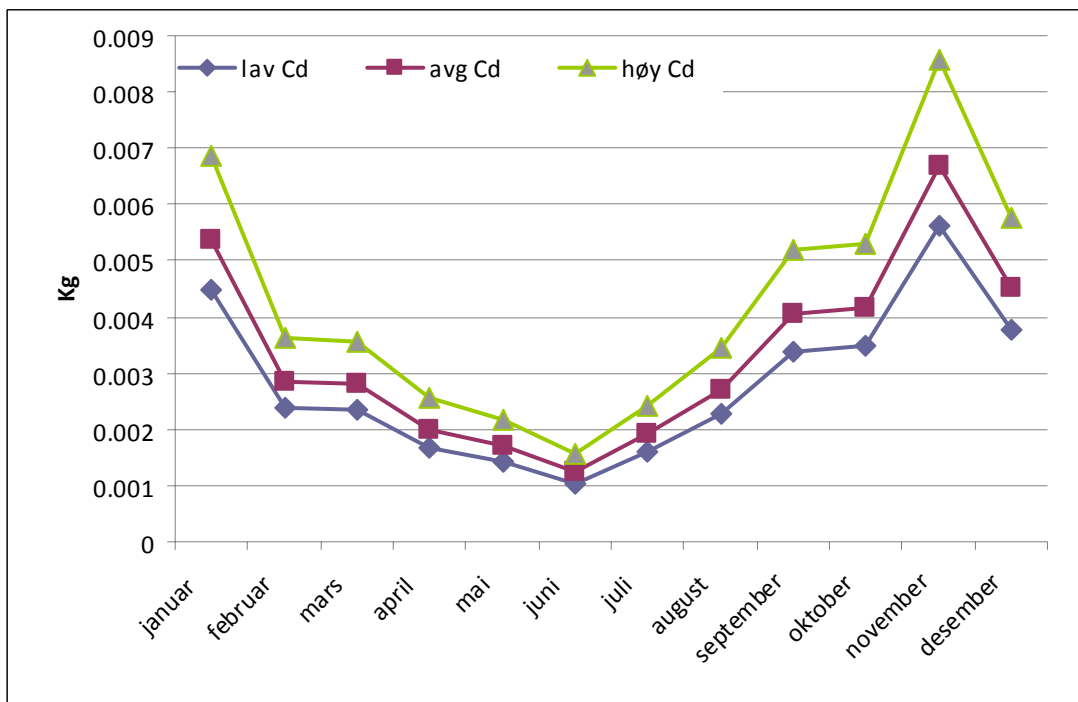
**Tabell 4.** Analyse av sink-avrenning fra de ulike feltene og andel av total avrenningen.

Område	Areal	% av areal	Sink (kg/år)	% av total Zn
<b>S-OVFLA2</b>	38461	14 %	0.614	2 %
<b>S-OVFLC</b>	42403	15 %		
<b>S-OVFLD</b>	22309	8 %	15.328	49 %
<b>Kai</b>	32509	12 %	8.169	26 %
<b>S_OVFLE</b>	42077	15 %	6.108	20 %
<b>S-OVFLR</b>	68899	25 %	0.789	3 %
<b>Rest areal</b>	31315	11 %		
<b>Total</b>	277973	100 %		

\* OVFLC går til kommunalt avløpsnett og er ikke med i avrenningsberegningene.

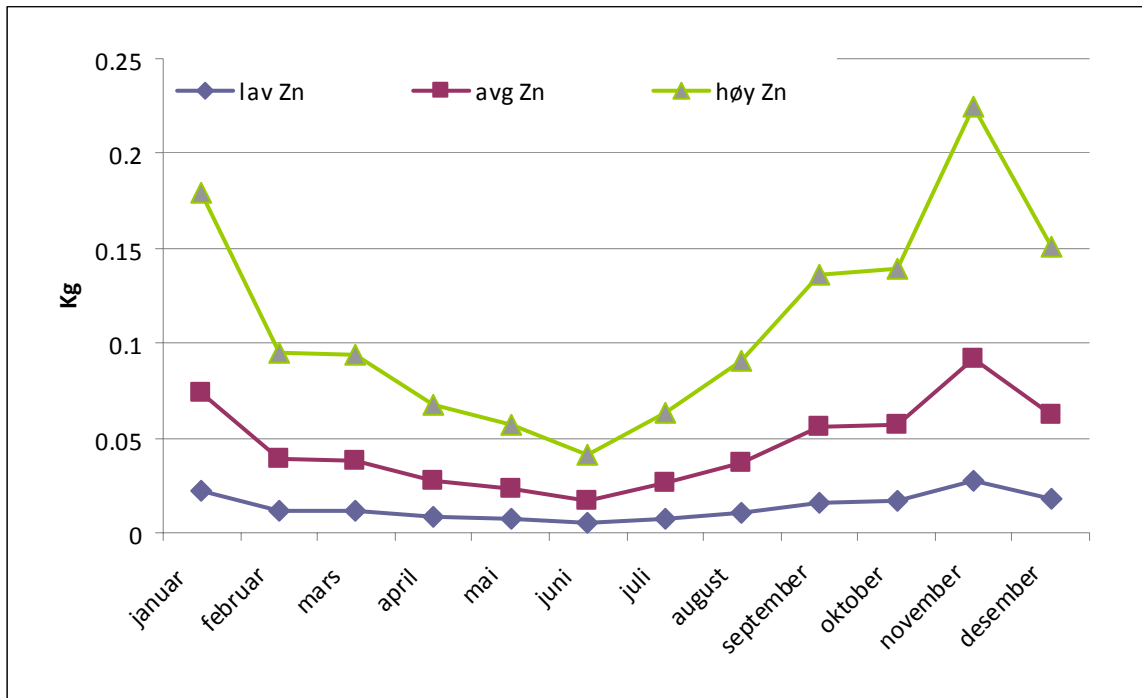
#### 4.1.4 Sesongsvariasjon i massetransport

Det er også foretatt beregninger for noen metaller på månedsbasis for å se på sesongsvariasjonene (**Figur 6** og **Figur 7**).



**Figur 6.** Månedlig variasjon i Cd-transport basert på gjennomsnittlig månedlig nedbør (2004-2010).





**Figur 7.** Månedlig variasjon i Zn-transport basert på gjennomsnittlig månedlig nedbør (2004-2010).

Disse kurvene følger naturlig nok avrenningskurvene og det er høyest avrenning på sen høsten/tidlig vinter. Sesongbaserte tiltak kan være aktuelt for OVFLA2 og OVFLR hvor sedimentasjonsbassengene ligger. Periodevis bruk av kjemisk felling i sedimentasjonsbassenget kan være et tiltak.

#### 4.1.5 Beregning av massetransporter av metaller fra NIVA og ENS

I **Tabell 5** vises beregnede massetransporter (kg/år) av metaller og PAH<sub>16</sub> fra NIVA og resultater som ENS rapporterte inn til Klif i 2009.

**Tabell 5.** Beregnede massetransporter (kg/år) i overflatevann av metaller og PAH<sub>16</sub> fra Niva og ENS resulter til Klif for 2009.

Forbindelse	Resultater fra NIVA (kg/år)	Resultater fra ENS (kg/år)
Pb	0.8	1.8
Cd	0.2	0.1
Cr	1.7	14.0
Mn	2728	21458
Zn	33.5	92.9
PAH <sub>16</sub>	282	Ikke rapportert

Fra **Tabell 5** ser vi at NIVAs beregninger av massetransporter av noen metaller avviker betydelig fra ENSs. NIVAs beregninger var spesielt lavere enn ENS for Cr, Mn og Zn. Fra bakgrunns materialet kan det se ut som NIVAs beregninger tar større hensyn til variasjonene i nedbøren og tilførselen fra de ulike avrenningsarealer enn det ENS har gjort. I tillegg har NIVA generelt større variasjoner i konsentrasjonene enn det ENS har målt (flere prøver har blitt analysert i 2009). Verdiene som ENS har målt i de ulike prøvene i 2009 er i flere tilfellene noe høyere enn NIVAs prøver.

## 5. Utslipp av suspendert stoff til vann

I følge saksbehandler i Klif (mail pr. 23.6.2010) har ENS rapportert inn utslipp av 16–70 tonn suspendert stoff (SS) til sjø de siste årene, og det var ønskelig at dette ble belyst. Målinger ENS utførte i 2009 viste at de høyeste konsentrasjonen av SS ble målt i overvann som drenerer fra OVFE og OVFA2 (**Figur 4**). Dette er arealer hvor det er forflytninger av masser, f.eks. forbruk av materialer til produksjon, oppfylling av lager, tømning og spyling av slagg. Avrenningsareal OVFE er et område som transporterer og lagrer varmt metall. Her vil det kunne være avrenning fra støpemateriale (olivinsand) og metallfines. Transport av slagg og pakking av støv fra MOR-prosessen utføres i dette området, og dette er aktiviteter som kan påvirke kvaliteten på overvannet. Avrenning til sedimentasjonsbasseng vil redusere tilførsler av SS. Overvann fra areal OVFA2 drenerer fra råvarelageret som i hovedsak består av malm. Råvarelageret er ikke tildekket, og under nedbør vil finere materiale bli vasket ut. Analysebevis fra malmen viser at materialet inneholder fraksjoner som er under 3 mm i størrelse. Tildekking av råvarelageret vil redusere avrenningen av SS. Noe avrenning av SS vil man måtte forvente, siden det er store forflytninger av masser på tomta.

## 6. Kilder til utslippene av metaller og PAH

I **Figur 8** vises et kart over ENS-tomta samt en oversikt over hvor materiale som benyttes under produksjonen oppbevares (**Tabell 6**). Det er stor omsetning av alt materiale som brukes i produksjonen eller produseres, slik at volum av de ulike materialene vil variere over tid. I tillegg vil plasseringen variere noe. Materialene, som er nummerert fra 1 til 24 er ikke tildekket, og vil komme i kontakt med nedbør. For hvert materiale er det gitt et analysebevis fra ENS, som angir bl.a. kjemisk sammensetning og størrelsesfraksjoner. Det foreligger utlekkningstest fra olivinsanden.

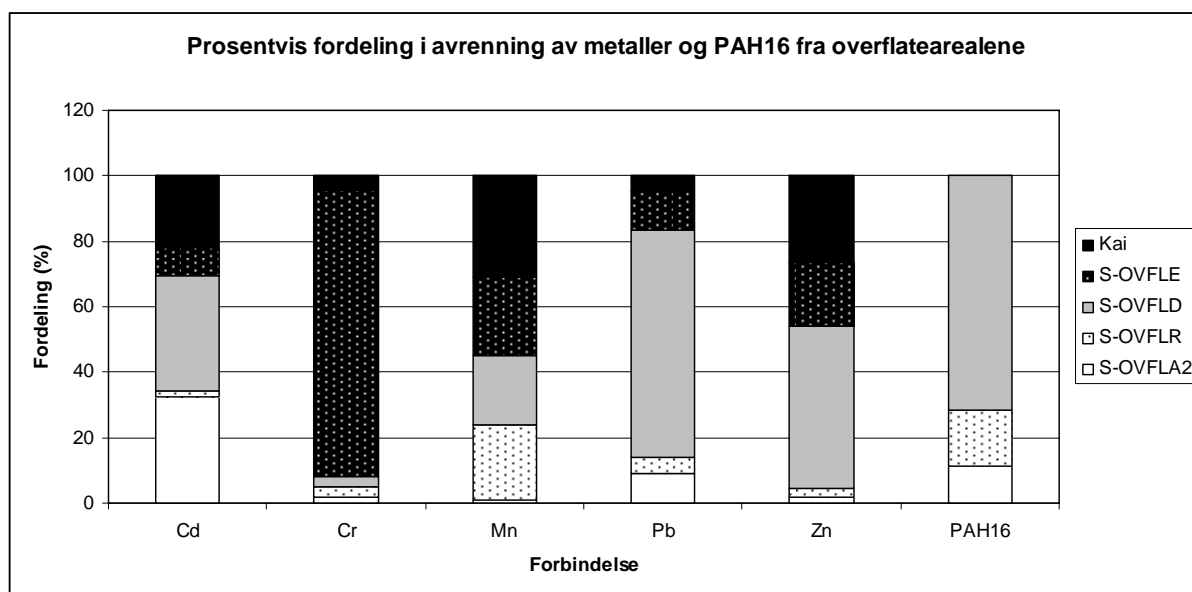


**Figur 8.** Saudas beliggenhet og oversiktskart over ENS-tomta med påtegnede kummer/overløp, samt lagerplasser som oftest benyttes for de ulike materialene. Sirkler med nummer 1-24 angir hva slags materiale som blir oppbevart. Beskrivelse av materialet er gjort i **Tabell 6**.

**Tabell 6.** Materialer som oppbevares på ENSs tomt.

Nr.	Materiale	Nr.	Materiale	Nr.	Materiale
1	HCFeMn-slagg til Tinfos	11	Olivinsand	21	Comilog MMR malm
2	HCFeMn-slagg til Tinfos	12	Iron Pellets LKAB	22	Mamatvan malm
3	HCFeMn-slagg til Tinfos	13	Iron Pellets LKAB	23	Asman malm
4	HCFeMn-slagg til Tinfos	14	Kolombiansk koks	24	Asman malm
5	HCFeMn-slagg Remelt	15	HC FeMn Remelt		
6	HCFeMn-slagg til Tinfos	16	Kalkstein		
7	Polisk koks	17	Com Ore/Met/MOR Briq		
8	Polisk koks	18	Antrasitt		
9	Comilog sinter	19	Comilog sinter		
10	Ore/Sin/Met	20	Comilog MMR malm		

I **Figur 9** vises den %-vise fordelingen i avrenningen av metaller og PAH<sub>16</sub> fra de ulike overflatearealene.



**Figur 9.** Prosentvis fordeling av avrenning av metaller og PAH<sub>16</sub> fra de ulike overflatearealene. PAH ble kun målt ved målepunkt OVFLD, OVFLR og OVFLA2.

### 6.1.1 Råmaterialer

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

#### Slagg

Etter at slagg har blitt fjernet avkjøles det under spyling med vann, ved område OVFLE (**Figur 4**). Når temperaturen har sunket flyttes slagget videre til området 1-6 (**Figur 8**), hvor man fortsetter vannspylingen for å redusere temperaturen. Det er høy gjennvinningsgrad på slagget, som bl.a. utvinnes videre av Eramet i Porsgrunn. I årsrapport 2009 (ERAMET NORWAY, 2009), oppga Eramet at 0 tonn slagg (SiMn) ble produsert. FeMn-slagg regnes som et mellomprodukt som utvinnes videre. Fra målingene som ble gjort var det ingen synlig økning i metallkonsentrasjonen i overflatevann som drener til sedimentasjonsbassenget (S-OVFR) under slaggspyling. En av fire prøver viste noe høyere konsentrasjoner av PAH<sub>16</sub>, og denne prøven ble tatt ut under slaggspyling. Bidraget av metaller til den totale avrenningen var generelt høyt fra OVFLE (**Figur 9**). En av de viktigste aktivitetene i OVFLE er relatert til slagghåndtering, som for eksempel slaggspyling og transport av slagg. Andre prosesser som kan påvirke overvannskvaliteten i dette området vil være pakking av støv fra MOR-prosessen og metallfines fra støpemassen.

#### Olivinsand (benyttes som støpesand)

Benytted bl.a. som dekkmateriale til forurensede sedimenter. Utlekkingstester foreligger, og de viser at lekkasjer av metaller er lavt og langt under grenseverdier. Det forventes ingen avrenning av betydning fra dette materialet.

#### Kalkstein (slaggdanner)

Ingen avrenning av betydning av tungmetaller eller PAH forventes fra dette materialet.

**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 ENS oppbevares elektrodemassen i emballasje og innendørs, slik at den er skjermet for sollys og nedbør. Avrenning av PAH fra antrasitt anses å være ubetydelig.

**Koks og kull**

Koks og kull inneholder ulike PAH-forbindelser, samt ca 10 % aske (div. metaller). Hos ENS oppbevares koks i hovedsak innendørs under tak (med unntak av et lite lager som i perioder oppbevares utendørs, nr. 7, 8 og 14 i **Figur 8**), da fuktighet forringer kvaliteten. Bruk av kull i form av antrasitt varierer, p.g.a. prosessbegrensninger, og i 2009 ble ikke kull benyttet. Generelt er lageret av kull lite. Lite avrenning av PAH forventes, da små mengder oppbevares utendørs i dag. Overflatevann fra området hvor koks oppbevares vil dreneres til sedimentasjonsbassenget (S-OVFLR). Lagring, lasting og transport av koks og kull fører til støvflukt, som videre kan føre til avrenning av PAH og metaller. Rester i grunnen fra tidligere lagre av kull vil kunne lekke ut under nedbør.

**Malm/sinter**

ENSs råvarelager av malm/sinter er det området hvor de største massene av materiale oppbevares, og vist i overflateareal OVFLA2 (**Figur 4**), og nr. 17–24 i **Figur 8**. Malmen og sinteren har naturlig nok et høyt innhold av mangan i form av MnO/MnO<sub>2</sub> og Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, henholdsvis. I tillegg vil malmen og sinteren inneholde andre metaller i ulike andeler, som for eksempel Cr, Cd, Zn og Pb. Størrelsesfordelingen av materialet varierer, og en betydelig andel av materialet har en størrelse som er under 3 mm.

Råvarelageret er plassert på vestre siden av tomta, som drenerer til et sedimentasjonsbassenget med målepunkt S-OVFLA2. Under lagring, lasting, transport (påfylling i ovner) vil støvflukt forekomme. Resultater viste at konsentrasjonen av Mn, Pb og Zn, samt PAH i S-OVFLA2 økte under perioder med nedbør. Bidraget av Cd fra arealet som drenerer råvarelageret (OVFLA2) var høyt, mens Mn var lavt.

**6.1.2 Avrenning av overflatevann**

Ut fra den %-vise fordelingen av metaller og PAH<sub>16</sub> fra de ulike overflatearealene skilte avrenningen fra OVFLD seg ut (**Figur 9**), ved å ha det største bidraget av Cd, Pb, Zn og PAH<sub>16</sub>. Avrenningen fra denne kummen består hovedsaklig av kjølevann fra MOR-prosessen. I kummen er det store volumstrømmer av kjølevann, ca 250 m<sup>3</sup>/h. Konsentrasjonene av metaller og PAH<sub>16</sub> er riktignok lave, men p.g.a. store volumstrømmer vil bidraget til overflateavrenningen bli store fra denne kummen.

Med unntak av Cd var bidraget av metaller fra SOVFL-E betydelig, spesielt avrenningen av Cr. Avrenning herfra kan skyldes bl.a. håndteringen av slagg (Kap. 5).

Kai-området viste et generelt høyt bidrag til avrenningen av metaller, unntatt Pb og Cr (PAH ble ikke målt) var Kai-området. Her losses og lastes alle råvarer som skal inn til tomta, og fra disse aktivitetene vil det være tap av finpartikulært materiale som blir liggende igjen og vaskes ut med nedbøren.

Tilførsler fra sedimentasjonsbasseng S-OVFLR var noe høyere for Mn og PAH, enn basseng S-OVFLA2. Tilførsler av Cd var høyt fra S-OVFLA2. Tilførsel av Mn fra råvarelageret (S-OVFLA2) var lavt.

## 7. Miljøbelastningen utslippet påfører resipienten

Som vist i **Figur 3** har miljøsituasjonen i Saudafjorden blitt betydelig bedre fra 1980-tallet fram til 2000. Denne trenden har fortsatt videre, og nådd indre del av Saudafjorden. Her ble blåskjell i 2009 klassifisert til klasse I i Klifs klassifiseringssystem for PAH-nivå (Øxnevad and Schøyen, 2010). Dette støtter opp om situasjonen man har sett ellers i Saudafjorden, hvor forholdene over tid har forbedret seg klart fra ytterst til innerst i fjorden.

I 2007 ble det utført en risikovurdering av sedimentene i havna utenfor ENS og i indre del av Saudafjorden (Bakke et al., 2007a). Tallmaterialet var fra 2004 hvor bunnområder ble prøvetatt og analysert av Uriansrud i 2004 (Uriansrud, 2004). I 2009 (Øxnevad and Schøyen, 2010) ble det tatt ut sedimenter og blåskjell i tilsvarende område.

For å vurdere hvilke effekter utslippene av PAH<sub>16</sub>, Cr, Zn, Pb og Cd har på resipienten ble det utført en enkel risikovurdering (deler av Trinn 1) av sedimentene ved hjelp av Klifs veileder for risikovurdering av sediment (Bakke et al., 2007b). Bakgrunns materialet som ble benyttet var sedimenter fra Øxnevad og Schøyen (2010), hvor bl.a. konsentrasjoner av PAH<sub>16</sub>, Cr, Zn, Pb og Cd ble bestemt i indre basseng. Ut fra stedsspesifikk data ble utlekking av PAH<sub>16</sub>, Cr, Zn, Pb og Cd fra sedimentene til vannmassene beregnet. Videre ble miljøgifttransporten ut av sedimentområdet bestemt (mg/år). Verdiene som ble funnet her ble deretter sammenlignet med avrenning av de samme forbindelsene fra ENSs tomt til sjøen. Dette ble gjort for å kunne sammenligne bidraget som skyldes utlekking fra sedimenter mot avrenning av overvann fra tomte. Dersom bidraget av metaller og PAH<sub>16</sub> fra overvann var betydelig lavere enn utlekkingen fra sedimentene mener vi at tilførslene fra overvann har liten innvirkning på miljøbelastningen i indre basseng.

For mangan ble det ikke gjort noen forenklet risikovurdering, da dette metallet ikke inngår i risikovurderingen eller klassifiseringen til Klif. Det er kjent at mangan kan ha toksiske effekter på marine økosystemer, men dette er bestemt av faktorer som bl.a. red-oks potensialer (mangan er redokssensitivt), pH, innhold av oppløste ioner og temperaturer i vannmassene. Generelt anser man mangan som mindre toksisk i forhold til andre tungmetaller (Howe et al., 2004). Innhold av mangan i blåskjell fra Saudafjorden har vært analysert, og nivået har gått ned (Næs, 1999), men av mangel på klassifiseringsverktøy kan ikke nivået vurderes.

Beregning av utlekking av metaller og PAH<sub>16</sub> fra sedimentene til vannmassen er gjort som beskrevet i sedimentveilederen. I **Tabell 7** vises verdier for beregnede parametere som ble anvendt når sjablongverdier ikke ble benyttet.

**Tabell 7.** Beregnede verdier for parametere som ble benyttet når sjablongverdier ikke ble benyttet.

Parameter	Verdi	Referanse
TOC (%)	0.53	(Øxnevad and Schøyen, 2010)
Sedimentareal i bassenget, $A_{sed}$ [m <sup>2</sup> ]	400000	Kystverket.no
Vannvolumet over sedimentet, $V_{sed}$ [m <sup>3</sup> ]	8000000	Kystverket.no
Oppholdstid til vannet i bassenget, $t_r$ [år]	0.0082	(Bakke et al., 2007a), Vedlegg A
Antall skipsanløp per år, $N_{skip}$	250	(Bakke et al., 2007a)
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, $m_{sed}$ [kg]	100	Verdi fra faktaboks 6 i veileder
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, $A_{skip}$ [m <sup>2</sup> ]	200000	Kystverket.no
Fraksjon suspendert $f_{susp} = \text{sedimentfraksjon} < 2\text{mm}$	0.61	(Bakke et al., 2007a)

Fra sedimentveilederen ble transport ut av sedimentene beregnet (Faktaboks 8 i Klifs veileder for risikovurdering av sediment):

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

$F_{tot}$  = total miljøgifttransport fra sedimenter ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$ )

$F_{diff}$  = transport som følge av biodiffusjon ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$ )

$F_{skipsnorm}$  = normalisert transport som følge av skipsoppvirvling ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$ )

$F_{org}$  = transport som følge av opptak i organismer ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$ )

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

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

$C_{sv}$  = konsentrasjon i vannmassene ( $\mu\text{g}/\text{l} = \text{mg}/\text{m}^3$ )

$A_{sed}$  = totalt sedimentareal ( $\text{m}^2$ )

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

$V_{sjø}$  = vannvolum over sedimentet ( $\text{m}^3$ )

Videre kan man da beregne fluksen av miljøgiftene til vannmassene:

$$F_{ut} = C_{sv} * V_{sjø} / t_r$$

$F_{ut}$  = total miljøgifttransport ut av sedimentområdet ( $\text{mg}/\text{år}$ )

I **Tabell 8** vises utlekking av PAH<sub>16</sub> og Pb, Cd, Cr og Zn fra sedimentene til vannmassene i indre basseng, samt de gjennomsnittlig beregnede tilførslene fra overvann fra ENS (**Tabell 2** og **Tabell 3**), og hvilken andel tilførsler fra overvann utgjør i forhold til utlekkingen fra sedimentene. I avrenningen fra overflatevann er det korrigert for utskiftning av vannmassene som vil fortynne forurensningene. Utskiftningen av vannmassene er beregnet til å være 3 dager, slik at verdiene fra **Tabell 2** og **Tabell 3** ble multiplisert med en faktor på 0.0082 (3/365). Denne korreksjonen er også gjort for utlekkingen fra sedimentene.

**Tabell 8.** Gjennomsnittlig overflateavrenning fra ENSs tomt og beregnede utlekkninger av metaller og PAH<sub>16</sub> fra sedimentene i indre basseng. Verdier er omregnet fra mg til kg.

Forbindelse	Overflateavrenning fra ENSs tomt (kg/år)	Utlekking fra sedimentene (kg/år)	Overflateavrenning i forhold til utlekking fra sedimentene (%)
Pb	0.006	18.8	0.033
Cd	0.001	1.2	0.094
Cr	0.077	1.7	4.538
Zn	0.255	117	0.218
PAH <sub>16</sub>	2.322	1445493	0.0002

Fra **Tabell 8** ser vi at overflateavrenningen av metaller og PAH<sub>16</sub> var betydelig lavere enn utlekkingen fra sedimentene til bassenget. Dette indikerer at tilførselen av metaller og PAH<sub>16</sub> er lav fra overvannet i forhold til det som lekker ut fra sedimentene. Tilførslene fra overvannet vil da ha marginal effekt på resipienten. Det forventes en videre positiv utvikling for miljøgiftssituasjonen i sedimentene fra indre basseng, da eldre og mer forurensede sedimenter vil tildekkes med sedimenterende materiale. Avrenningen av overflatevann fra ENS forventes å avta ytterligere, da det ble installert nytt sedimentasjonsbasseng i 2009 (S-OVFLR). De lave funnene av PAH<sub>16</sub> i blåskjell tyder på at konsentrasjonen av PAH<sub>16</sub> i vannmassene har avtatt. Beregninger fra ENS viser også at utslipp av PAH til sjøen ble redusert i 2006 med ca 30 % etter installasjon av sandfilter og aktivt kull (Hunsbedt et al., 2007).

Med bakgrunn i beregningene gjort av tilførsler av Cr, Zn, Cd, Pb og PAH<sub>16</sub> fra overflatevann til indre basseng mot utlekking fra sedimentene, mener vi at tilførslene fra overflatevann fra ENS-tomta er ubetydelig i forhold til det som utlekket fra sedimentene.



## 8. Referanser

- Bakke, T., H. Nilsson, J. Skei, and A. Sundfjord. 2007a. Risiko- og tiltaksvurdering av forurenset sediment i Saudafjorden NIVA-rapport OR-5481. s. 43.
- Bakke, T., G. Breedveld, T. Kallkvist, A. Oen, E. Eek, A. Ruus, A. Kibsgaard, A. Helland, and K. Hylland. 2007b. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. TA-2230/2007:65.
- ERAMET NORWAY. 2005. Miljørapport 2005, 12 s.
- ERAMET NORWAY. 2009. Miljørapport 2009, s. 12.
- Hanssen – Bauer, I., H. Drange, E.J. Førland, L.A. Roald, K.Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandsven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog, and B. Ådlandsvik. 2009. Klima I Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU klimatilpassning. Norsk klimasenter, september 2009, Oslo.
- Howe, P.D., H.M. Malcolm, and S. Dobson. 2004. Manganese and its compounds: Environmental aspects. WHO Concise International Chemical Assessment Document 63.
- Hunsbedt, L., P.M. Cox, R. Flatabø, K.-E. Johansen, and J.A. Bustnes. 2007. Environmental challenges for Norwegian Mn-industry. Proceedings of the Eleventh International Congress on Ferroalloys (INFACON 11), New Dehli, India.
- Kjos-Hansen, O., and K. Myhre. 2003. Forurensete sedimenter fra Saudafjorden, Rogaland - Rapport fra fase 1- I arbeidet med fylkesvise tiltaksplaner. Fylkesmannen i Rogaland, s. 40.
- Knutzen, J. 1974. Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Foreløpig karakteristik av biologiske forhold i fjordens indre basseng. NIVA-report OR1609.
- Knutzen, J., B. Rygg, and J. Skei. 1979. Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt Saudafjorden. Observasjoner 1974 - 1976. NIVA-rapport OR-1098.
- Miljøstatus Norge. 2010. [www.miljostatus.no](http://www.miljostatus.no).
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei, and J. Sørensen. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann - Veiledning. Klif-rapport TA-1467/1997.
- Moy, F., K. Næs, and J. Knutzen. 2001. Miljøtilstanden i Saudafjorden 2001. NIVA-rapport OR-4446. s. 33.
- Næs, K. 1999. Miljøtilstanden i Saudafjorden. Utvikling 1974-1997 NIVA-rapport OR-3984. s. 25.
- Olsen, S.E., M. Tangstad, and T. Lindstad. 2007. Production of manganese ferroalloys. Tapic Academic press, ISBN 978-82-519-2191-6, s. 247.
- Uriansrud, F. 2004. Kartlegging av miljøtilstanden i indre deler av Saudafjorden. NIVA-notat O-24141, s. 11.
- 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.
- Øxnevad, S., and M. Schøyen. 2010. Overvåking av miljøgifter i blåskjell og sedimenter i Saudafjorden 2009. NIVA-rapport OR-5937. s. 34.

## **9. Vedlegg**

## **9.1 Analyser av metaller og PAH fra NIVAs laboratorium.**

NIVA 6010-2010

Rekvisisjonsnr : 2010-01435 Mottatt dato : 20100705 Godkjent av : BEL Godkjent dato: 20100816  
 Prosjektnr : O 10333  
 Kunde/Stikkord : Eramet Sauda  
 Kontaktp./Saksbeh. : SRA

Analysevariabel	TESTNO	Cd/ICP mg/l E 9-5	Cr/ICP mg/l E 9-5	Mn/ICP mg/l E 9-5	Pb/ICP mg/l E 9-5	Zn/ICP mg/l E 9-5	NAP-V ng/l H 2-2	ACNE-E-V ng/l H 2-2	FLE-V DBTHI-V ng/l H 2-2	PA-V ng/l H 2-2
PrNr PrDato Merking	TESTNO									
1 20100703 Sed.basseng	2010-01435	<0.001	<0.002	0.0026	<0.01	0.005	4.2	<2	8.9	5.3 <2
2 20100703 Kjølevann	2010-01435	<0.001	<0.002	5.74	<0.01	0.0066				14
3 20100703 Sed.basseng	2010-01435	<0.001	<0.002	0.337	<0.01	0.0079				
4 20100703 Sovfl.D	2010-01435	<0.001	<0.002	0.588	<0.01	0.025				
5 20100703 Sovfl-E	2010-01435	<0.001	<0.002							

Analysevariabel	DETHI-V ng/l H 2-2	PA-V ng/l H 2-2	ANT-V ng/l H 2-2	FLU-V ng/l H 2-2	PYR-V ng/l H 2-2	BAA-V ng/l H 2-2	CHR-V ng/l H 2-2	BBJF-V ng/l H 2-2	BEP-V BAP-V ng/l H 2-2	PER-V ng/l H 2-2
PrNr PrDato Merking	DETHI-V	PA-V	ANT-V	FLU-V	PYR-V	BAA-V	CHR-V	BBJF-V	BEP-V	PER-V
1 20100703 Sed.basseng	<2	14	2.6	30	25	10	11	14	5.3	9.2 6.7
2 20100703 Kjølevann										<2
3 20100703 Sed.basseng										
4 20100703 Sovfl.D										
5 20100703 Sovfl-E										

Analysevariabel	BAP-V ng/l H 2-2	PER-V ng/l H 2-2	ICDP-V ng/l H 2-2	DBA3A-V ng/l H 2-2	BGHIP-V ng/l H 2-2	Sum PAH ng/l Beregnet	Sum PAH16 ng/l Beregnet	Sum KPAH ng/l Beregnet
PrNr PrDato Merking	BAP-V	PER-V	ICDP-V	DBA3A-V	BGHIP-V	Sum PAH	Sum PAH16	Sum KPAH
1 20100703 Sed.basseng	6.7	<2	5.3	<2	6.7	<166.2	<153	<58.5
2 20100703 Kjølevann								
3 20100703 Sed.basseng								
4 20100703 Sovfl.D								
5 20100703 Sovfl-E								

Informasjon om analyseusikkerhet finnes på K:\Kvalitet\Godkjente\_dokumenter\Akkreditering\diversedokumenter\Y3Usikker.doc, eller kan fås ved henvendelse til laboratoriet.

variabel				Zn/MS
==>				µg/l
==>				E 8-3
PrDato	Merking		Prøvetype	
20100706	1	9.10 SOVFLA2	fersk	
20100708	2	11.30 SOVFLA2	fersk	
20100713	3	10.50 SOVFLA2	fersk	
20100713	4	15.30 S-OVFLD	fersk	
20100706	5	10.45 SOVFLR	fersk	
20100708	6	11.00 SOVFLR	fersk	
20100713	7	15.10 SOVFLR	fersk	
20100706	1	Avr. fra veg 13.00 S-OVFLE	fersk	60.9
20100706	2	10.00 S-OVFA2	fersk	s2.23
20100708	3	11.30 S-OVFLA2	fersk	s3.58
20100713	4	10.50 S-OVFA2	fersk	18.5
20100715	5	13.00 S-OVFLA2	fersk	6.10
20100706	6	13.00 S-OVFLB4	fersk	113
20100706	7	10.30 S-OVFLD	fersk	6.35
20100708	8	10.30 S-OVFLD	fersk	6.30
20100712	9	15.30 S-OVFLD	fersk	3.25
20100713	10	15.30 S-OVFLD	fersk	7.49
20100715	11	13.15 S-OVFLD	fersk	10.2
20100706	12	13.00 S-OVFLE	fersk	108
20100713	13	15.30 S-OVFLE	fersk	70.1
20100715	14	13.15 S-OVFLE	fersk	22.1
20100706	15	10.45 S-OVFLR	fersk	2.11
20100708	16	10.45 S-OVFLR	fersk	2.62
20100713	17	15.00 S-OVFLR	fersk	4.26
20100715	18	13.25 S-OVFLR	fersk	11.6

NIVA 6010-2010

Rekvisisjonsnr : 2010-01615 Mottatt dato : 20100712 Godkjent av : BEL Godkjent dato: 20100816  
 Prosjektnr : O 10333  
 Kunde/Stikkord : Eranet Sauda  
 Kontaktp./Saksbeh. : SEA

Analysevariabel	Prøvedato	Merkning	Prøvetype	AS/MS µg/l E 8-3	CG/MS µg/l E 8-3	Co/MS µg/l E 8-3	Cr/MS µg/l E 8-3	Cu/MS µg/l E 8-3	Mn/MS µg/l E 8-3	Mo/MS µg/l E 8-3	Ni/MS µg/l E 8-3	Pb/MS µg/l E 8-3	Zn/MS µg/l E 8-3	NAP-V ng/l H 2-2
Metode ==>	PrNr	PrNr	PrNr	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>	Metode ==>
	1	20100706 1	9.10 SOVFLA2											<3
	2	20100706 2	11.30 SOVFLA2											4.9
	3	20100713 3	10.50 SOVFLA2											46
	4	20100713 4	15.30 S-OVFLD											13
	5	20100706 5	10.45 SOVFLR											<3
	6	20100708 6	11.00 SOVFLR											3.3
	7	20100713 7	15.10 SOVFLR											8.0
	8	20100706 1	Avr. fra veg 13.00 S-OVFLR											
	9	20100706 2	10.00 S-OVFA2	80.35	0.222	8.29	2.6	9.07	5320	0.2	7.59	1.56	60.9	
	10	20100706 3	11.30 S-OVFLA2	54.5	0.706	0.355	81.6	80.977	42.7	285	80.35	0.041	82.23	
	11	20100713 4	10.50 S-OVFA2	43.8	0.565	0.469	81.9	81.34	1.23	236	80.38	0.237	83.58	
	12	20100715 5	13.00 S-OVFLB4	31.7	0.463	1.21	81.3	4.87	646	167	81.1	2.53	18.5	
	13	20100706 6	13.00 S-OVFLB4	38.1	0.479	0.1529	82.9	81.95	235	199	80.54	0.541	6.10	
	14	20100706 7	10.30 S-OVFLD	80.27	0.417	20.1	5.87	29.6	10600	3.0	22.3	0.503	11.3	
	15	20100708 8	10.30 S-OVFLD	0.07	0.02	0.13	0.2	0.673	369	0.88	0.23	0.18	6.35	
	16	20100712 9	15.30 S-OVFLD	0.09	0.021	0.12	<0.1	1.04	41.7	0.49	0.25	0.248	6.30	
	17	20100713 10	15.30 S-OVFLD	0.2	0.01	0.032	<0.1	0.581	61.6	0.63	0.1	0.083	3.25	
	18	20100715 11	13.15 S-OVFLD	0.1	0.02	0.068	<0.1	8.37	1.23	0.32	0.2	0.427	7.49	
	19	20100715 12	13.00 S-OVFLR	0.22	0.024	0.16	<0.1	1.07	159	0.39	0.36	0.224	10.2	
	20	20100713 13	15.30 S-OVFLR	80.24	0.20	9.69	10.2	15.0	8630	0.1	25.4	0.963	10.8	
	21	20100715 14	13.15 S-OVFLR	<0.05	0.064	2.90	<0.1	83.69	8500	0.83	5.30	0.801	70.1	
	22	20100706 15	10.45 S-OVFLR	80.28	0.03	2.06	81.5	2.93	2700	0.32	3.61	0.435	22.1	
	23	20100708 16	10.45 S-OVFLR	80.29	0.009	0.989	80.73	1.35	2270	0.97	80.72	0.18	2.11	
	24	20100713 17	15.00 S-OVFLR	<0.05	0.01	1.25	<0.1	81.37	2790	0.59	81.0	0.19	2.62	
	25	20100715 18	13.25 S-OVFLR	80.65	0.01	2.01	80.71	2.58	3640	0.52	1.6	0.313	4.26	
				80.43	0.04	8.50	86.80	8.29	6170	1.9	6.56	0.327	11.6	

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)