

# Revidert miljørisikovurdering av metaller i utslipp av rensset avløpsvann til sjø fra Elkem Solar Kristiansand



# RAPPORT

**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 Revidert miljørisikovurdering av metaller i utslipp av rensset avløpsvann til sjø fra Elkem Solar Kristiansand	Løpenr. (for bestilling) 6440-2012	Dato 26.11.2012
	Prosjektnr. Undernr. O-12327	Sider Pris 30
Forfatter(e) Jonny Beyer Morten Thorne Schaanning	Fagområde Miljøgifter marint	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Kristiansandsfjorden	Trykket NIVA

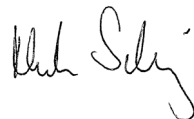
Oppdragsgiver(e) Elkem Solar AS (Kristiansand)	Oppdragsreferanse Terje Mellingsæter
---	---

<p>Sammendrag</p> <p>I denne rapporten gis en revidert miljørisikovurdering for et fremtidig utslipp av et utvalg tungmetaller i rensset avløpsvann fra Elkem Solar AS. Vurderingen er basert på nye utslippsanslag gitt en økt produksjon på 7500 tonn per år. En sum (additiv) PEC/PNEC for Ni, Cu, Zn og Cr ble beregnet og lagt til grunn for risikokarakteriseringen. I vurderingen konkluderes det at 38x fortykning av utslippet må til for å oppnå en PEC/PNEC på 1 eller mindre. Beregninger viser at denne fortykningen vil nås ca. 10-15 m fra utslippspunktet i perioder med typiske resipientbetingelser, eller ca. 200 m nedstrøms ved spesielle betingelser. Ved forrige miljørisikovurdering av avløpsvannet fra Elkem Solar ble det konservativt anslått et indre influensområde på 25 m horisontalt nedstrøms og et ytre influensområde ca. 250 m nedstrøms for utslippspunktet. Det nye datagrunnlaget som nå er forelagt tilsier derfor ikke noen økning av influensområdet i vannforekomsten selv om en både tar høyde for en viss økning av mengden tungmetaller i utslippet og en additiv risiko knyttet til disse kontaminantene.</p>
---

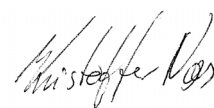
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>spormetaller</li> <li>vannkvalitet</li> <li>miljøeffekter</li> <li>marine sedimenter</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>tracemetals</li> <li>water quality</li> <li>environmental effects</li> <li>marine sediments</li> </ol>
---	--



**Jonny Beyer**  
Prosjektleder



**Morten Thorne Schaanning**  
Forskningsleder



**Kristoffer Næs**  
Forskningsdirektør

**Revidert miljørisikovurdering av metaller  
i utslipp av rensset avløpsvann til sjø  
fra Elkem Solar Kristiansand**

## **Forord**

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra Elkem Solar AS avdeling Kristiansand og inneholder en revidert miljørisikovurdering av metallkomponenten i bedriftens utslipp av rensed avløpsvann til Fiskåbukta i Kristiansandsfjorden. Flere miljørisikovurderinger av dette utslippet har blitt utført av NIVA og disse tidligere arbeidene danner et naturlig fundament og utgangspunkt også for denne rapporten. Denne reviderte miljørisikovurderingen er avgrenset til metallkomponenten i utslippet fra Elkem Solar og bygger på nye data for målte konsentrasjoner av et utvalg tungmetaller i avløpsvannet, samt anslag av fremtidig utslipp av disse metallene gitt en økning av bedriftens produksjon fra 5000 tonn til 7500 tonn ferdig produkt per år. Alle nye grunnlagsdata som er benyttet i vurderingen er forelagt fra oppdragsgiver.

Oslo, 26.11. 2012

*Jonny Beyer*

---

## **Innhold**

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>5</b>
<b>1. Kort beskrivelse av oppdrag:</b>	<b>6</b>
<b>2. Beskrivelse av lokaliteten:</b>	<b>6</b>
<b>3. Tidligere sjøresipientvurderinger ved Elkem Solar:</b>	<b>9</b>
<b>4. Spredning og fortykning av avløpsvann i vannforekomsten:</b>	<b>9</b>
<b>5. Datagrunnlag for revidert miljørisikovurdering:</b>	<b>13</b>
<b>6. Diskusjon og revisjon av risikovurdering</b>	<b>15</b>
<b>7. Oppsummering og konklusjon</b>	<b>20</b>
<b>8. Referanser:</b>	<b>21</b>
<b>9. Vedlegg:</b>	<b>23</b>

---

## Sammendrag

Denne rapporten inneholder en revidert miljørisikovurdering av utslippet av rensset avløpsvann fra Elkem Solar AS (Kristiansand). Vurderingen er gjort på basis av nye utslippsdata for et mindre utvalg av tungmetaller (Zn, Cr, Cu, As, Ni, og Fe) som er blitt forelagt fra oppdragsgiver. Andre komponenter som tidligere har blitt utredet (andre metaller, partikler, pH og fluorid) er ikke behandlet i denne revisjonen.

Datagrunnlaget viser at utslippet inneholder noe høyere konsentrasjoner av de aktuelle metallene (bortsett fra Zn) enn hva som lå til grunn for forrige miljørisikovurdering. Disse høyere konsentrasjonene bidrar til en viss økning av risikokvotienten (PEC/PNEC) for flere metaller i utslippet. Ni og Cu ble funnet å ha de høyeste PEC/PNEC verdier basert på de nye data, henholdsvis med PEC/PNEC verdier på 20 og 5,1.

Det er i denne rapporten tatt høyde for et mulig fremtidig krav til inkludering av potensielle samvirke-effekter av kontaminanter ved at en sum (additiv) PEC/PNEC for Ni, Cu, Zn og Cr ble beregnet og lagt til grunn for den videre risikokarakteriseringen.

Denne strengere tilnærmingen gjorde at den fortytning av utslippet som må til for å oppnå en PEC/PNEC på 1 eller mindre ble på 38x, istedenfor en fortytning på 26x, som ellers ville vært resultatet dersom kun Ni kontamineringen (som var den som kom ut høyest) ble lagt til grunn.

Fortynningssimuleringer viser at 38x fortytning i de aller fleste tilfellene gjennom en årssyklus nås innenfor en horisontal distanse på 10-15 m fra utslippspunktet, men i perioder med spesielle hydrografiske betingelser (tidlig/dypere innlagring) kan fortytningen forløpe langsommere og bidra til at det tilstrekkelige fortynningsnivå nås først ca. 200 m nedstrøms for utslippspunktet.

Ved forrige miljørisikovurdering ble det anslått et indre influensområde på 25 m horisontalt nedstrøms for utslippet (da hovedsakelig på basis av potensielle pH stress og sink kontaminering i vannforekomsten) og et ytre influensområde på ca. 250 m horisontalt nedstrøms for utslippspunktet. Dette fremstår som et miljøkonservativt anslag med relativt gode sikkerhetsmarginer.

De nye data for metallinnhold og bedriftens nye anslag for fremtidig utslippsmengder (ut fra en produksjonsøkning opp til 7500 tonn per år) tilsier ikke noen forverring av utslippets miljørisiko, sammenlignet med de vurderinger som ligger til grunn for den eksisterende reguleringen av dette utslippet fra Elkem Solar, dette selv om en tar høyde for mulige samvirkende (additive) effekter av tungmetall kontaminantene i utslippet.

## Summary (title only)

Title: Revised Environmental risk assessment of metals in discharges from Elkem Solar Kristiansand

Year: 2012

Author: Jonny Beyer & Morten Thorne Schaanning

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6175-2

## 1. Kort beskrivelse av oppdraget:

Elkem Solar fremstiller super-rent silisium for solcelleindustrien og normal drift ved anlegget startet i 2009. Produksjonen ved bedriftens anlegg i Kristiansand har en øvre produksjonsramme på 5000 tonn sluttprodukt per år. I tilvirkingsprosessen benyttes en luteprosess der saltsyre og flussyre benyttes for å fjerne forurensende sporelementer. Avløpsvannet fra denne prosessen renses ved felling av faste faser etter justering av pH til 7-9 ved tilsetning av lut. Det rensede avløpsvannet blandes deretter 1:1 med inntatt sjøvann fra 27 m dyp før det slippes ut på 23 m dyp ved Kjeholmen i den ytre delen av Fiskåbukta.

NIVA har utført flere miljørisikovurderinger i sammenheng med dette utslippet (Schaanning and Næs 2006; Schaanning and Molvær 2010; Molvær et al. 2011). Utviklingen for miljøtilstanden i Fiskåbukta følges dessuten opp i miljøovervåkingsundersøkelser som utføres i samme område i sammenheng med myndighetenes generelle overvåking av Kristiansandsfjorden (Næs et al. 2011; Næs et al. 2012). Den viktigste miljørisikovurderingen av utslippet ble utført av Schaanning & Næs i (2006) og var basert på data fra prediksjoner og kjøring av et testanlegg. Det foreligger nå et bedre datagrunnlag for det kjemiske innholdet i det aktuelle utslippsvannet basert på målinger utført over tid ved normal drift av produksjonsanlegget. Bedriften planlegger nå å øke produksjonsrammen for sitt silisium-sluttprodukt til 7500 tonn/år. I denne sammenheng vil bedriften søke KLIF om nye utslippsgrenser for sin produksjonsaktivitet og i denne søknaden ønsker bedriften å vedlegge en revidert miljørisikovurdering av virksomhetens økte fremtidige utlipp til Fiskåbukta.

NIVA har med denne bakgrunn tatt på seg å gjøre en revisjon av miljørisikovurderingen av det fremtidige utslippet av rensed avløpsvann fra Elkem Solar. Vurderingen er fokusert på innholdet av et prioritert utvalg av elementer i det rensede avløpsvannet. Med basis i data fra bedriftens eget måleprogram for dagens utlipp er det gjort et anslag av hvilke konsentrasjoner og mengder som kan forventes i det fremtidige utslippet til vannforekomsten. Relevant informasjon som NIVA sitter på fra tidligere vurderinger og rapporter (for eksempel simuleringer av fortykning av avløpsvannet i sjøresipienten) vil benyttes eller refereres til når og så langt dette er nødvendig.

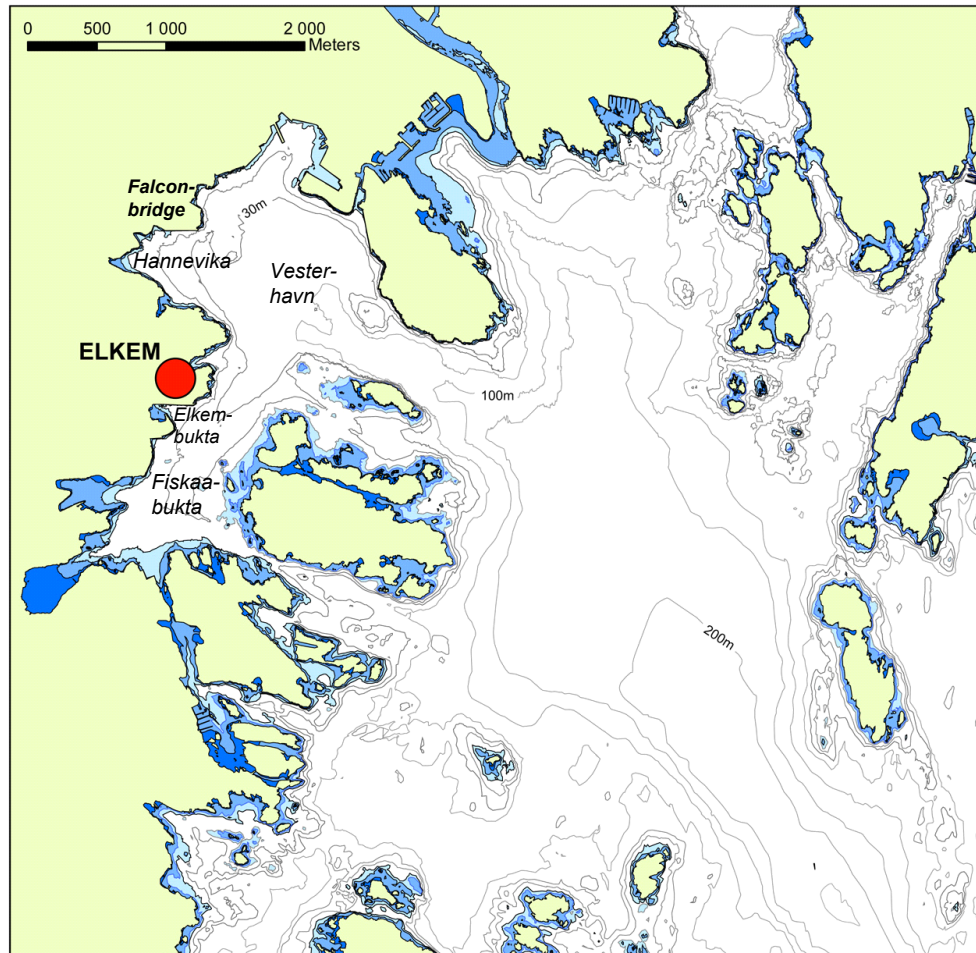
## 2. Beskrivelse av lokaliteten:

Forurensningssituasjonen i Kristiansandsfjorden har blitt studert og kartlagt over lengre tid (Rygg 1985; Knutzen et al. 1986; Knutzen and Martinsen 1986; Knutzen et al. 1988; Knutzen et al. 1991; Næs 1992). Undersøkelsene viser at sedimentene i Kristiansandsfjorden har tidligere inneholdt meget høye konsentrasjoner av en rekke miljøgifter som dioksiner, heksaklorbenzen (HCB), tjærestoffer (polyaromatiske hydrokarboner, PAH), nikkel (Ni), kobber (Cu), arsen (As), PCB og tinnorganiske forbindelser (TBT) (Figur 2). Hovedkildene for miljøbelastningen er avdekket og takket være implementering av avbøtende tiltak er miljøtilstanden i Kristiansandsfjorden nå sakte i ferd med å bedres (Knutzen et al. 1994; Knutzen et al. 1998; Næs et al. 2000; Næs and Rygg 2001; Skei et al. 2002; Oug et al. 2004; Ruus et al. 2005; Berge et al. 2007; Schøyen et al. 2010). Lokale hovedkilder til forurensningen i Kristiansandsfjorden har vært industrielle aktiviteter ved Falconbridge nikkelverk (nå Xstrata) (dioksiner, furaner, PCB, HCB og tungmetaller som Ni, Cu, m.fl.), og Elkem Carbon på Fiskå (PAH). Stor maritim aktivitet i fjorden har dessuten bidratt til forurensningen i området.

Fiskåbukta er området i Kristiansandsfjorden som ligger mellom Vestre Havn og Andøya, avgrenset med en linje mellom Steinsund og Storenes i syd, og mellom nordvestspissen av Svensholmen og Fiskåtangen i nord (Figur 1). Det meste av Fiskåbukta har dybder på 10 til 25 meter og undersøkelser har vist at sedimentene i hele bukta har vært og er sterkt til meget sterkt forurensset av ulike miljøgifter (Figur 2), særlig gjelder dette for dioksiner og dioksinlignende forbindelser, PAH, nikkel, HCB og til dels PCB. Det forurensede laget av sedimentet er 10-50 cm tykt. Elkem Carbon på Fiskå regnes som

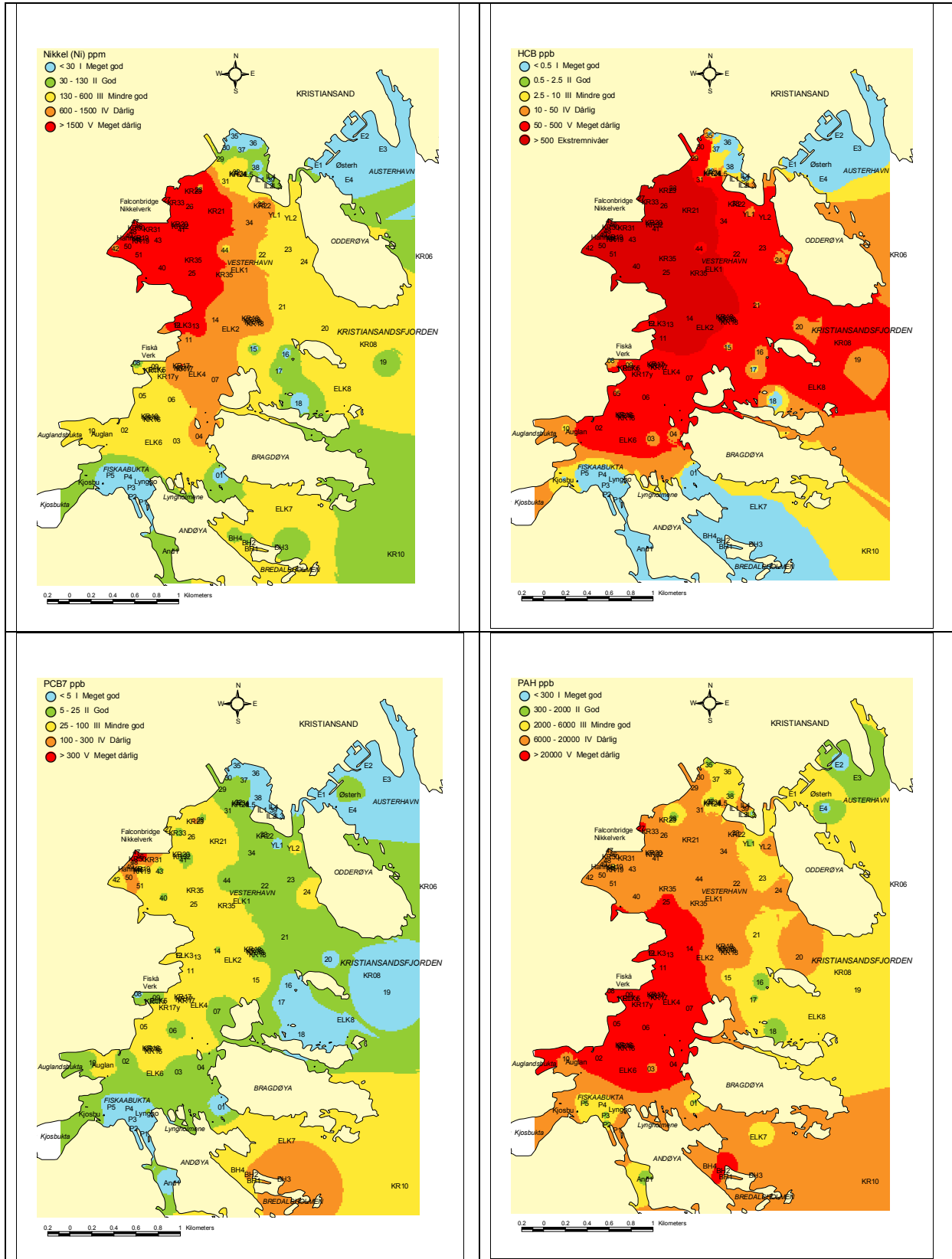


en hovedkilde for PAH-forurensningen av Fiskåbukta, mens Falconbridge nikkelverk (nå Xstrata) anses som den største kilden for nikkel, HCB og dioksiner/dioksinlignende forbindelser.



Figur 1. Lokalisering av Elkem Solar ved Fiskåbukta i Kristiansandsfjorden.





Figur 2. Tidligere målinger av nikkel, HCB, PCB og PAH i overflatesedimenter (0-2 cm) i Kristiansandsfjorden basert på SFTs klassifisering av miljøtilstand. (Fra Næs & Rygg (2001)).

### 3. Tidligere sjøresipientvurderinger ved Elkem Solar:

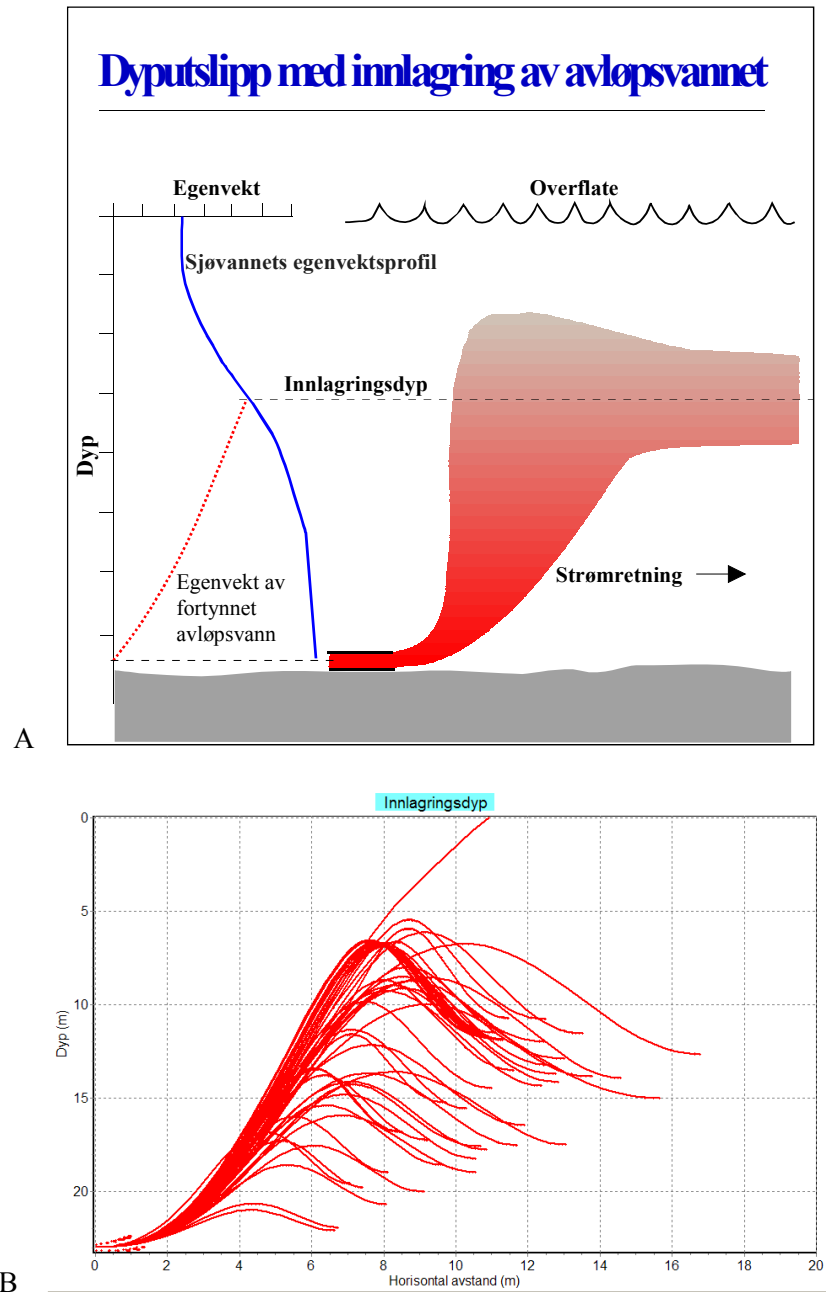
I rapporten til Schaanning & Næs (2006) gis det en bred miljørisikovurdering av det fremtidige utslippet av rensset avløpsvann fra Elkem Solar, basert på analyser av prøver fra et forsøksanlegg og teoretiske vurderinger. Det industrielle anlegget ved Elkem Solar kom ikke i drift før i 2009. Miljørisikovurderingen konkluderer at utslippet vil innlagres i et 1-3 m tykt vannlag på 10-25 m dyp i Fiskåbukta; at det i utgangspunktet vil ha en pH verdi på 7.1; at det vil inneholde noe mer fluor, bly, kobber, sink og nikkel enn vannet i resipienten. Rask fortykning vil bidra til at risiko for skader på organismer vil foreligge kun i et indre influensområde med avstand på <25 m fra utslippspunktet; mens det i et ytre influensområde 25-250 m fra utslippspunktet vil forekomme overkonsentrasjoner av kjemiske komponenter fra utslippet, først og fremst fluorid og bly. Utenfor det ytre influensområdet >250 m fra utslippet vil alle elementer i utslippet være fortyknet til konsentrasjoner mindre enn 2x antatt lavt bakgrunnsnivå i sjøvann. Rapportens hovedkonklusjon ble at utslippet ikke ville bidra til skadelige effekter av betydning på miljøet i Fiskåbukta (Schaanning and Næs 2006). Det foreligger også avgrensede miljørisikovurderinger av utslippet fra Elkem Solar hvor resultatene er rapportert i tekniske notater (Schaanning and Molvær 2010; Molvær et al. 2011). Avløpsvannet fra Elkem Solar vil periodevis ha en variabel pH som er svært avvikende fra sjøvannets normale pH verdi. Målinger viser at typisk variasjon ligger mellom pH 3,5-8,5 (Schaanning and Molvær 2010). I 2010 ble det gjort en simulering av hvordan det periodevis svært sure avløpsvannet ville kunne påvirke sjøresipientens pH. Konklusjonen i vurderingene er at primærfortynningen som skjer innenfor 15 m fra utslippspunktet i de aller fleste tilfellene vil være tilstrekkelig for å øke pH verdien i utslippsskyen til >7,5 slik at skadelige effekter på organismer unngås (Schaanning and Molvær 2010). Det er også gjort miljøvurdering for utslipp av suspendert stoff fra Elkem Solar. I den konkluderes det som usannsynlig at suspendert stoff vil føre til skader på organismer i vannmiljøet, men det foreslås at situasjonen følges nærmere opp med toksisitetvurderinger av avløpsvannet når bedriftens produksjon har nådd full kapasitet og driften av renseanlegget har stabilisert seg (Molvær et al. 2011).

De nyere miljøovervåkingsundersøkelsene ved Elkem Solar er utført av NIVA (Næs et al. 2011; Næs et al. 2012). Undersøkelsen i 2010 omfattet analyser av vannmasser, blåskjell, sedimenter og økologisk tilstand av bløtbunnsfaunaen. Resultatene viste at oppløst metallinnhold i vannmassene for nikkel, kobber og kobolt kunne være opp mot 2 ganger høyere enn ved referansestasjonen (Flekkerøygapet). I blåskjell var innholdet av metaller generelt lavt til svakt forhøyet. I sediment ble det funnet varierende metallinnhold. Et økt innhold av kalsium i sedimentene antas å kunne stamme fra utslippet fra Elkem Solar mens den økologiske tilstanden til bløtbunnsfaunaen vurderes som god til svært god (Næs et al. 2011). I feltarbeidet fra 2011 ble metaller og PAH i vannmasser og blåskjell undersøkt (Næs et al. 2012). Metallinnholdet i vannmassene og blåskjell var relativt lavt mens metallkonsentrasjonene i vann ved Lumber hadde økt noe i forhold til 2010 nivået. Det påpekes at observasjonene i 2011 er basert på kun en prøveinnsamling og at utslippsopplysninger fra Elkem ikke skulle tilsi en økning i konsentrasjonene. Det spekuleres i om utslipp til sjø i forbindelse med et veiarbeid nær Elkem kan ha hatt betydning for de observerte økte verdiene i 2011. Alt i alt anses miljøforholdene ved lokaliteten ved Elkem for å være i en forbedringsfase nå ettersom måledata fra en nærliggende stasjon i 2002 lå betydelig høyere enn i 2010 og 2011 (Næs et al. 2012).

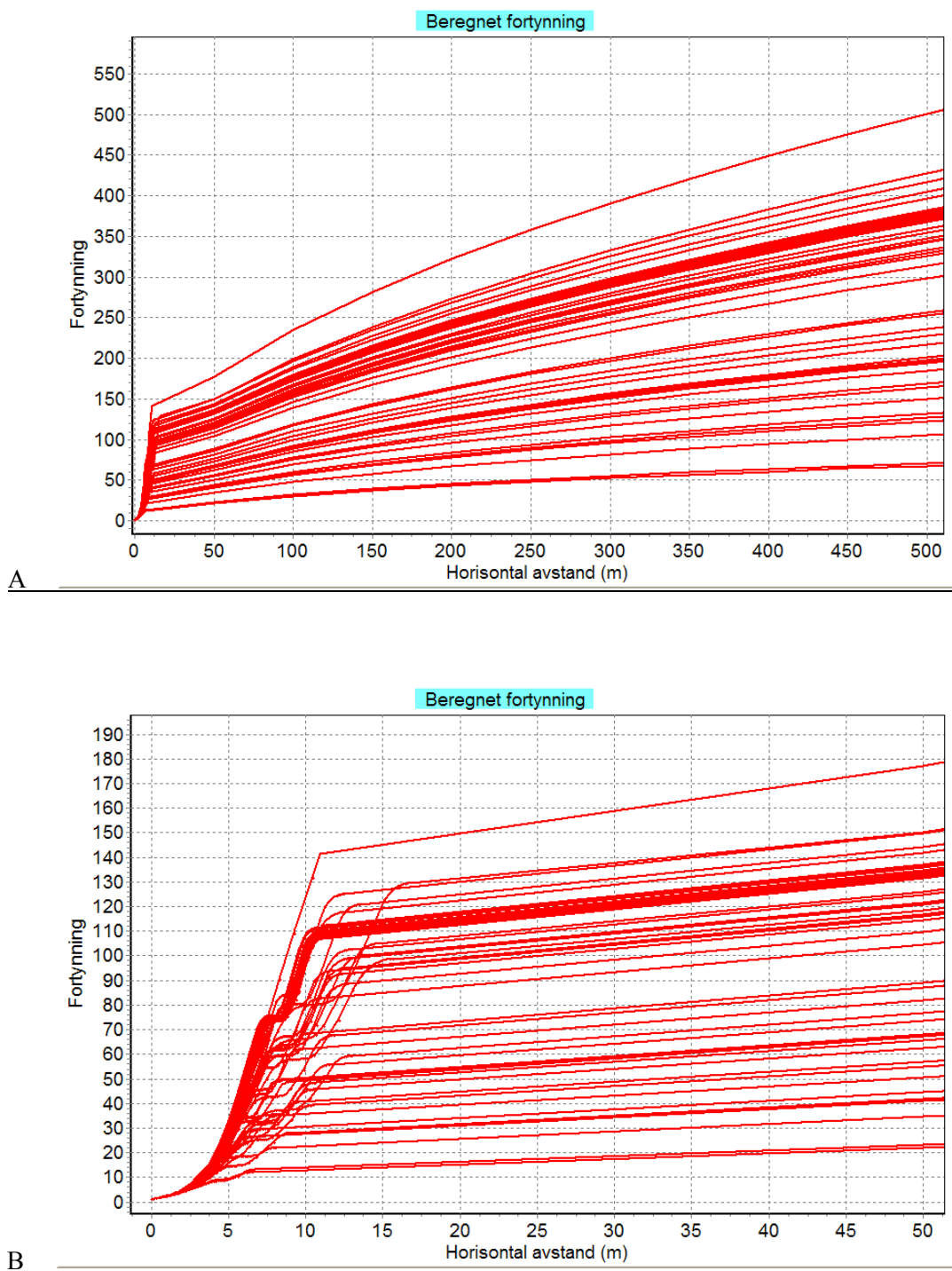
### 4. Spredning og fortykning av avløpsvann i vannforekomsten:

Utslippet av rensset avløpsvann fra Elkem Solar i Fiskåbukta skjer på 23 m dyp. Det vil da vanligvis ha en lavere egenvekt enn sjøvannet i resipienten. I forbindelse med miljørisikoevalueringen i 2006 (Schaanning and Næs 2006) ble det gjort simuleringer av utslippets innlagringsdyp ved typiske varierende betingelser gjennom en årssyklus (Figur 3) og av fortykningsprosessen til spredningsskyen (plumen) i vannforekomsten nedstrøms for utslippspunktet (Figur 4). I den samme undersøkelsen ble

et større utvalg av metaller og andre elementer målt i prøver av avløpsvann som ble generert fra et forsøksanlegg ettersom dette var før oppstarten av regulær produksjon ved Elkem Solar. Disse spredningsberegningene og analysene av det kjemiske innholdet i test-prøvene av avløpsvann var sentrale i miljørisikovurderingen og estimeringen av influensområdet for utslippet av rensset avløpsvann fra Elkem Solar. Resultatene fra analysene blir vist også i denne rapporten (Tabell 1) for å forenkle en sammenligning mot de nye måledata og de nye anslåtte data for det fremtidige utslippet.



**Figur 3. A. Prinsippkisse som viser hvordan et dyputslipp av avløpsvann fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dybde (vertikal stabil sjiktning). B. Simulering av innlagringsdyp for utslippsvannet ved utslipp i 23 m dyp. Data fra (Schaanning and Næs 2006).**



**Figur 4. Beregnet fortynning av avløpsvannet for de 50 simulerte situasjoner ved en strømhastighet på 3 cm/s. A: Resultatet for 0-500 m. B: Resultatet for 0-50 m. Data fra (Schaanning and Næs 2006).**

Tabell 1: Element konsentrasjoner i avløpsvann i vurderingen fra 2006, vanlige konsentrasjoner i sjøvann med saltholdighet 35, og beregnet konsentrasjon i selve utslippet (PEC). PEC/PNEC og overkonsentrasjon (utslipp/sjøvann) gjelder plumen ved utslippspunktet. Utslipp (kg/år) er beregnet som tilførselene fra rensed avløpsvann og omfatter ikke innholdet i sjøvann som blandes inn før utslipp til sjø. Data fra (Schaanning and Næs 2006).

		Avløpsvann (µg/l)	Sjøvann <sup>4</sup> (SW35) (µg/l)	Utslipp (PEC) (µg/l)	PNEC (µg/l)	Kil -de	PEC/ PNEC	PEC/ SW35	Utslipp (kg/år)
Cl	klor	3 587 000	1 987 000	2 787 000	<naturlig			1.4	2 331 207
Na	natrium	2 471 000	11 050 000	6 760 500	<naturlig			0.6	1 605 914
F	fluor	145 000	1 400	73 200	<naturlig			52.3	94 236
Si	silisium	30 500	1 000	15 750	<naturlig			15.8	19 822
Ca	kalsium	11 800	422 000	216 900	<naturlig			0.5	7 669
K	kalium	3 180	416 000	209 590	<naturlig			0.5	2 067
Mg	magnesium	410	1 326 000	663 205	<naturlig			0.5	266
S	svovel	380	928 000	464 190	<naturlig			0.5	247
Fe	jern	319	2.5	161	400		0.40	64.3	207.3
Sr	strontium	101	8 500	4 301	<naturlig	1		0.5	66
Zn	sink	27	2	14.3	3.5	2	4.09	9.5	18
B	bor	20	4 500	2 260	<naturlig		0.32	0.5	13
Ba	barium	8.3	30.0	19.2	220	1	0.09	0.6	5.4
Mo	molybden	8.1	10.0	9.1	290	1	0.03	0.9	5.3
Al	aluminium	8.0	5.0	6.5	<naturlig			1.3	5.2
Mn	mangan	7.5	2.5	5	65		0.08	2.0	4.9
Se	selen	6.3	0.5	3.4	5.3	1	0.64	7.5	4.1
Cu	kobber	5.5	0.3	2.9	8.2	2	0.35	9.7	3.6
Ni	nikkel	5.4	0.5	3.0	2.1	2	1.43	5.9	3.5
As	arsen	<10	2.0	<3.5	12.5	1	0.28	<1.8	<3.2
V	vanadium	<5	1.5	<2.0	4.3	1	0.47	<1.3	<1.6
Cr	krom	<5	0.2	<1.4	4.3	1	0.33	<6.8	<1.6
Pb	bly	1.76	0.03	0.90	8.3	2	0.11	29.8	1.14
Ti	titan	1.50	1.00	1.25	7.3	3	0.17	1.3	0.97
Sb	antimon	0.69	0.20	0.45	6.5	3	0.07	2.2	0.45
W	tungsten	0.60	0.12	0.36	no data			3.0	0.39
Nb	niobium	0.39	0.01	0.20	2	3	0.10	20.0	0.25
Zr	zirkonium	0.32	0.03	0.17	1.8	3	0.09	6.7	0.21
Bi	bismut	0.23	0.02	0.13	3.6	3	0.04	6.3	0.15
Co	kobolt	0.20	0.08	0.14	2.8	1	0.05	1.8	0.13
Be	beryllium	<0.25	0.0006	<0.063	0.18	1	0.35	<104.7	<0.081
U	uran	<0.1	3.30	1.68	<naturlig			0.5	0.032
Sn	tinn	<0.1	0.010	<0.030	18	1	0.00	<3.0	<0.032
Tl	thallium	0.03	1.00	<0.51	1.6	1	0.32	<0.5	<0.016
Cd	kadmium	<0.05	0.03	<0.028	0.19	2	0.15	<0.9	<0.016
Hg	kvikksølv	<0.005	0.0010	<0.0018	0.11	1	0.02	<1.8	<0.0016
Te	tellurium	<0.25	no data	-	no data			-	-

1) (Crommentuijn et al. 1997)

2) EU Risk Assessment Report in accordance with council regulation 793/93, updated June 2004

3) Se tekst i (Schaanning and Næs 2006)

4) (Riley and Chester 1971; Molvær et al. 1997) og <http://www.marscigrp.org/ocperts.html#12>.

## 5. Datagrunnlag for revidert miljørisikovurdering:

**Tabell 2: Utslippsmengder av tørrstoff og metallene i prøver i avløpsvann fra Elkem Solar på ukebasis målt i bedriftens måleprogram i 2011 og 2012.**

År	Uke	Tørrstoff (kg/uke)	Al (kg/uke)	Cr (kg/uke)	Cu (kg/uke)	Fe (kg/uke)	Ni (kg/uke)	As (kg/uke)	Mg (kg/uke)
2011	1	428	1,425	0,304	0,195	1,129	0,394	0,214	34,579
2011	3	194	1,682	0,262	0,161	0,694	0,347	0,173	16,966
2011	4	439	1,828	0,281	0,169	1,234	0,441	0,354	20,981
2011	5	389	1,538	0,268	0,153	0,687	0,401	0,375	35,259
2011	6	275	2,065	0,257	0,060	0,257	0,368	0,296	31,559
2011	8	217	1,559	0,273	0,120	0,473	0,369	0,055	31,836
2011	11	1107	1,308	0,218	0,284	1,433	0,337	0,087	36,757
2011	12	1962	0,611	0,218	0,288	5,800	0,313	0,051	23,674
2011	13	520	0,816	0,218	0,155	1,433	0,309	0,094	43,049
2011	14	1267	1,168	0,236	0,312	2,843	0,369	0,063	34,819
2011	15	323	0,121	0,242	0,194	0,946	0,367	0,048	34,064
2011	16	263	0,124	0,248	0,174	0,467	0,419	0,064	20,201
2011	17	167	0,091	0,182	0,162	0,529	0,266	0,050	25,118
2011	18	727	0,111	0,222	0,527	2,095	0,457	0,068	34,680
2011	19	638	0,118	0,235	0,352	1,637	0,480	0,047	37,310
2011	20	540	0,117	0,234	0,503	2,348	0,507	0,047	32,051
2011	21	354	0,149	0,298	0,193	1,169	0,464	0,060	24,204
2011	22	320	0,150	0,300	0,491	2,666	0,591	0,060	33,099
2011	24	427	0,141	0,282	0,095	1,228	0,307	0,200	24,158
2011	25	282	0,158	0,317	0,145	1,825	0,576	0,304	34,710
2011	26	643	0,110	0,220	0,141	1,136	0,371	0,203	22,257
2011	31	941	0,210	0,030	0,182	3,202	0,381	0,231	9,127
2011	32	207	0,144	0,029	0,076	1,114	0,404	0,206	19,726
2011	33	244	0,159	0,032	0,123	1,204	0,455	0,117	11,129
2011	34	326	0,145	0,029	0,047	0,967	0,374	0,058	5,976
2011	35	484	0,157	0,031	0,065	1,421	0,470	0,074	6,230
2011	36	751	0,145	0,029	0,096	0,646	0,403	0,058	8,184
2011	37	816	0,155	0,031	0,101	1,185	0,424	0,073	7,387
2011	38	656	0,156	0,031	0,106	2,202	0,498	0,062	16,445
2011	39	896	0,145	0,029	0,116	1,583	0,392	0,058	8,277
2011	40	658	0,126	0,025	0,239	3,034	0,382	0,050	12,732
2011	41	317	0,158	0,032	0,163	0,406	0,412	0,063	4,768
2011	42	258	0,141	0,028	0,092	1,286	0,409	0,056	7,454
2011	43	145	0,163	0,033	0,096	1,275	0,465	0,065	15,952
2012	16	272	0,153	0,031	0,131	1,457	0,143	0,061	20,183
2012	18	440	0,174	0,057	0,233	2,416	0,311	0,070	22,470
2012	19	207	0,192	0,038	0,241	1,732	0,342	0,077	17,272
2012	20	435	0,165	0,045	0,688	1,800	0,495	0,121	22,264
2012	21	141	0,179	0,036	0,872	2,575	0,566	0,131	25,200
2012	23	357	0,176	0,035	0,263	1,948	0,436	0,187	16,405
2012	24	1288	0,174	0,035	0,404	1,904	0,636	0,093	21,387
2012	25	1003	0,155	0,038	0,399	2,665	0,525	0,076	23,348

**Tabell 3: Beregnede fremtidige maksimale volummengder av flow fra renseanlegg og av total flow til sjø fra Elkem Solar Kristiansand basert på betingelsene ved en økt produksjon tilsvarende 7500 tonn per år.**

Flow avløpsvann fra renseanlegget		Total flow til sjø	
55	m <sup>3</sup> /hr	116	m <sup>3</sup> /hr
1320	m <sup>3</sup> /døgn	2784	m <sup>3</sup> /døgn
9240	m <sup>3</sup> /uke	19488	m <sup>3</sup> /uke
481800	m <sup>3</sup> /år	1016160	m <sup>3</sup> /år

**Tabell 4: Oversikt over eksisterende tillatelse for utslipp av syv utvalgte metaller og de nye utslippsgrensene som det skal søkes om for disse. Tabellen viser også beregnede konsentrasjoner for disse elementene i det fremtidige utslippet til sjø fra Elkem Solar Kristiansand basert på erfaringsdata fra dagens produksjon.**

	Al	Cr	Cu	Zn	As	Ni	Fe
Utslippstillatelse 2007 (kg/år)	15	10	15	10	5	10	40
Nye grenser 7500 t ESS/år (kg/år)	50	10	50	15	20	50	250
Konsentrasjon ut av renseanlegg (mg/l)	0,1	0,015	0,1	0,02	0,02	0,1	0,6
Konsentrasjon til sjø (mg/l) (PEC data)	0,042	0,0063	0,042	0,008	0,008	0,042	0,254
Konsentrasjon til sjø (µg/l) (PEC data)	42	6,3	42	8	8	42	254

**Tabell 5: Konsentrasjoner av metaller i avløpsvann ut fra renseanlegget benyttet for miljørisikovurderingen i 2006 sammenlignet med anslåtte konsentrasjoner i avløpsvannet ut av renseanlegg ved en økt produksjon.**

	Al	Cr	Cu	Zn	As	Ni	Fe
2006 data for konsentrasjon ut av renseanlegg (mg/l)	0,008	0,005*	0,0055	0,027	0,01*	0,0054	0,319
Anslag av fremtidig konsentrasjon ut av renseanlegg (mg/l)	0,1	0,015	0,1	0,02	0,02	0,1	0,6
Relativ endring	12,5	3	18,2	0,7	2	18,5	1,9

(\*) Der data fra 2006 er angitt som «mindre enn» er den øvre grense lagt til grunn i sammenligningen

**Tabell 6: PEC/PNEC verdier fra miljørisikovurderingen i 2006 sammenlignet med PEC/PNEC verdier som er kalkulert med basis i anslåtte konsentrasjoner i utslipp til sjø ved en økt produksjon på 7500 tonn per år. Kalkuleringer for Al kan ikke gjøres på grunn av manglende PNEC verdier.**

	Al	Cr	Cu	Zn	As	Ni	Fe
PEC/PNEC 2006	-	0,33	0,35	4,09	0,28	1,43	0,40
Fremtidig PEC/PNEC	-	1,47	5,1	2,28	0,64	20	0,64

(\*) Der data fra 2006 er angitt som «mindre enn» er den øvre grense lagt til grunn i sammenligningen



## 6. Diskusjon og revisjon av risikovurdering

### Innhold av elementer i utslipp av rensed avløpsvann fra Elkem Solar

For avløpsvannet fra Elkem Solar presenteres det i denne rapporten nye data for ukebaserte utslippstall for tørrstoff og metallene Al, Cr, Cu, As, Ni, Fe og Mg (Tabell 2). Med utgangspunkt i betingelsene ved en fremtidig økt produksjon på 7500 tonn per år gis også anslåtte volummengder av avløpsvann ut fra rensenanlegget og av utslippet til sjø (Tabell 3), og anslåtte årsgjennomsnittdata for konsentrasjonen av syv utvalgte metaller (Al, Cr, Cu, Zn, As, Ni og Fe) i avløpsvannet og utslippsvannet (Tabell 4). Alt datagrunnlag ble forelagt fra Elkem Solar.

Sammenlignet med vurderingsgrunnlaget for miljørisikovurderingen i 2006 gir analyseresultatene av metaller i utslippet (Tabell 2) et bedre bilde av det faktiske innholdet i utslippet, ettersom de er basert på målinger av avløpsvannet under reell drift av anlegget. Dataene fra 2006 ble på sin side basert på analyser av avløpsvann fra et forsøksanlegg og visse teoretiske vurderinger. Ved sammenligning av utslippsanslaget fra 2006 med det nye anslaget for fremtidig utslipp (Tabell 5) ser en at konsentrasjonene av Al, Cr, Cu, As, Ni og Fe i det fremtidige utslippet ligger høyere, mens nivået av Zn ligger noe lavere enn det tidligere anslaget. Forskjellen er mest markant for Cu og Ni som ligger mer enn 18 ganger høyere, forskjellen for Al er også relativt markant med mer enn 12 ganger høyere verdier, mens endringene for Cr, As og Fe er mindre markerte med henholdsvis 3, 2 og 1,9 ganger økning. Det må her tas et forbehold for bruk av avrundede tallverdier i de tilsendte data samt manglende informasjon om måleusikkerhet. At anslaget for konsentrasjon og utslippsmengde av metallene øker kan forklares dels av den planlagt økte produksjonen og dels av at analysegrunnlaget for beregningene nå er vesentlig bedre enn ved beregningene i 2006. For Cu og Ni betyr det nye anslaget at det behøves å tas høyde for et årlig utslipp på i overkant av 48 kg. Elkem Solar vil derfor komme til å søke om en oppjustering av utslippsgrensen for disse metallene til 50 kg/år (Tabell 4).

I revideringen av miljørisikovurderingen av det rensede avløpsvannet ville det vært ønskelig at datasettene fra 2006 og det som ligger til grunn nå var like komplette. Det regulære måleprogrammet for det rensede avløpsvannet fokuserer imidlertid på et avgrenset og selektert utvalg av elementer. De metaller som det prøvetas og måles etter i avløpsvannet er sannsynligvis bestemt ut fra en kombinasjon av forventet konsentrasjon og miljørisikorelevans. Visse andre miljø-relevante komponenter (for eksempel bly og kadmium) inngår ikke i det regulære analyseprogrammet, selv om de i 2006 ble påvist i moderat lave konsentrasjoner i avløpsvannet (Tabell 1). Bly-komponenten i avløpsvannet ble i risikovurderingen til Schaanning og Næs (2006) antatt å bidra vesentlig til resipientmessige overkonsentrasjoner i både det indre og ytre influensområdet nedstrøms for utslippet. Det virker derfor litt ulogisk at Pb ikke er inkludert i det regulære analyseprogrammet. Det samme kan sies om Cd. Både bly og kadmium er på listen over spesielt prioriterte miljøgifter fra KLIF. Pb og Cd inngår altså ikke i det regulære analyseprogrammet hos Elkem Solar men blir istedenfor målt i daglige stikkprøver av avløpsvannet. Analysedata fra slike stikkprøver ble forelagt fra Elkem Solar etter forespørsel, og disse resultatene er vist i vedlegget. En tolking av disse analyseresultatene forvanskes imidlertid av at analyseteknikken som er blitt benyttet for disse målingene åpenbart har ugunstig høy deteksjonsgrense. Den høye deteksjonsgrensen for de forelagte dataene indikerer at analysene er utført med en vanlig ICP (Inductively Coupled Plasma) analyse uten massespektrometer (MS). ICP-MS har vesentlig bedre målenøyaktighet og lavere deteksjonsgrenser for metaller i komplekse prøveblandinger. De oppgitte deteksjonsgrensene for Elkems Pb og Cd analyser er henholdsvis mer enn 60x og 50x høyere enn PNEC verdiene for disse to toksiske elementene i sjøvann. Disse resultatene må derfor tolkes som for usikre til å brukes for miljørisikovurdering. Miljørisikovurderingen fra 2006 viser at også flere andre miljørisikorelevante elementer utover de som er vurdert i denne rapporten ble påvist i relativt lave men likevel godt målbare konsentrasjoner i det

rensede avløpsvannet; som for eksempel Se, V, Ti, Sb, Nb, Zr etc. Det blir derfor et uavklart spørsmål i denne revisjonen hvorvidt noen av disse (for eksempel Pb og Cd) kan tenkes å bidra merkbart til den totale miljørisiko av utslippet. På nåværende tidspunkt presiseres det derfor at denne reviderte risikovurderingen ikke kan ta stilling til andre elementer enn de som er vist i Tabell 2, Tabell 4 og Tabell 6.

### **PEC/PNEC basert miljørisikovurdering**

PEC (Predicted Environmental Concentration) og PNEC (Predicted No Effect Concentration) utgjør fundamentale størrelser i miljørisikovurdering av kjemikalier og utslipp. Både PEC og PNEC bestemmes vanligvis i forhold til enkelt-kjemikalier. PEC verdien avhenger av utslippsmengden av et kjemikalium, dets oppførsel i miljøet (for eksempel grad av biotilgjengelighet), samt av forhold som er knyttet til det miljøet hvor kjemikaliumet spres i (resipientfaktorer). PNEC verdien på sin side bestemmes kort sagt av giftigheten til det aktuelle kjemikalium. Jo mer giftig et stoff er desto lavere PNEC verdi har det. Giftighetstester av ulike slag danner et empirisk grunnlag for bestemmelse av et stoffs toksiske virkningspotensiale, målt som den høyeste test-konsentrasjon som ikke gir effekt (NOEC) og den laveste test-konsentrasjon som gir effekt (LOEC). Slike giftighetsdata brukes for å fastlegge et stoffs PNEC verdi og det tas da høyde for gjenværende usikkerhet ved at laveste LOEC verdi divideres på en sikkerhetsfaktor (også kalt assessment factor eller safety factor). Størrelsen på sikkerhetsfaktorer kan være 10, 50, 100, eller 1000 (eller mer) avhengig av mengden og kvaliteten på tilgjengelig giftighets-informasjon. Når både PEC og PNEC verdier er fastsatt benyttes de for å beregne PEC/PNEC ratioen (også kalt risikokvotienten, RQ). Hvis PEC/PNEC ratioen for et bestemt stoff i et bestemt miljø, for eksempel en gitt vannforekomst, er  $> 1$  betyr det at stoffet (i alle fall teoretisk) foreligger i høy nok konsentrasjon til at det kan utløse en målbar skade i biologiske målorganismer som lever i vannforekomsten. Hvis derimot PEC/PNEC er  $< 1$  betyr det at konsentrasjonen kort sagt er for lav til å utløse en målbar skade/effekt.

### **Fortynning og innlagring av utslipp**

En rekke detaljer for hvordan et utslipp (og de kjemiske komponentene i det) spres, innlagres, blandes og fortynnes i vannforekomsten har betydning for miljørisikoen av utslippet. Hydrografiske modelleringsprogram brukes for beregninger av innlagringsdyp og hastigheten av fortynningsprosessen i marine vannforekomster, og slike modellsimuleringer baseres da på lokale empiriske hydrografiske input data som temperatur, saltholdighet og strømforhold. Vesentlige data for selve utslippet er data for innhold og egenvekten til blandingen, flowdata og diameteren til utslippsrøret. En koeffisient for turbulent blanding av de to typene vannmasser (utslippsvann og resipientvannet) blir beregnet ut fra de lokale forholdene ved utslippet. Den numeriske modellen Visual Plumes (Frick et al. 2001) ble benyttet for beregning av innlagringsdyp og fortynningsprosessen ved miljørisikovurderingen i 2006.

Et industrielt avløpsvann er typisk en blanding av mange kjemiske komponenter. Ved utslipp til sjø vil de ulike komponentene i avløpsvannet spres og fortynnes i den omkringliggende vannforekomsten (Figur 3). Etter hvert som et utslipp fortynnes så synker den relative konsentrasjonen for de ulike kjemiske komponentene/kontaminantene fra utslippet, og samtidig synker den PEC/PNEC verdi som kontaminant(e) gir til den influerte vannforekomsten som de spres i. Et vanlig hovedkriterium for beregning/avgrensning av et utslipps influensområde er grenselinjen/fortynningstidspunktet i tid og rom da terskelverdien PEC/PNEC = 1 nås. Vannvolumet som er innenfor denne konsentrasjonsbaserte grenselinjen utgjør det teoretiske risikovolumet eller influensområdet for utslippet. På et kart angis influensområdet vanligvis som den todimensjonale/horisontale avstanden mellom selve utslippspunktet og risikovolumets yttergrense. Selve fortynningsprosessen deles gjerne inn i to hovedfaser, en primærfase umiddelbart nedstrøms for utslippspunktet der fortynningen av utslippet går raskt og som deretter er fulgt av en sekundærfase (innlagringsfasen) hvor den videre fortynningen av spredningsskyen går vesentlig langsommere. Primærfasens raske fortynning blir gjerne fremdrevet av

turbulente bevegelser og tetthetsforskjeller mellom selve utslippet og det omkringliggende sjøvannet (resipienten) som utslippet spres i. For avløpsvannet fra Elkem Solar viser resultatene fra fortynningsmodelleringen som ble rapportert av Schaanning og Næs (2006) at det under de fleste hydrologiske forhold vil skje en svært rask fortynningsprosess i primærfasen (før innlagringen), med en medial fortykning på ca. 100x allerede 10 meter horisontalt sett nedstrøms fra utslippet og deretter vil den videre fortykningen gå vesentlig saktere (Figur 4). Resultatene indikerer imidlertid også at det ved spesielle forhold kan skje en tidlig innlagring som gjør at spredningsskyen fortyknes mye langsommere. Det at utslippsvannet fra Elkem Solar ved de fleste forhold har lavere tetthet/egenvekt enn sjøvannet på 23 m dyp gjør at det vil stige mot overflata i primærfortynningsfasen for deretter i sekundærfortynningsfasen bli innlagret i et gitt vanddyb når forskjellen i egenvekten til plumen og det omkringliggende sjøvannet er utlignet (Figur 3A). Resultatene av innlagringsberegningene av avløpsvannet fra Elkem Solar (Figur 3B) viste at utslippsskyen med ett unntak av totalt 50 simuleringer ble innlagret ved et vanddyb mellom 10-22 m. Av resultatene fra fortynningsberegningene fremgår det dessuten at en svært hurtig primærfortynning av utslippsskyen vil skje de første 25 meterne før en langt mer langsom sekundærfortynning skjer etter at utslippsskyen har nådd innlagringsfasen (Figur 4A,B). De nyeste tallene for totale flow til sjø av utslippet fra Elkem Solar 116 m<sup>3</sup>/hr (Tabell 3) representerer et volum som er noe mindre enn de 153 m<sup>3</sup>/hr som ble lagt til grunn av Schaanning og Næs (2006). Det relative forholdet mellom delvolumet fra renseanlegget og delvolumet fra det sjøvannsbaserte scrubberanlegget er imidlertid rimelig likt nå som i 2006 rapporten. Det kan således anses som sannsynlig at beregningene i Schaanning og Næs (2006) for hvordan utslippet vil oppføre seg i resipienten er gyldige også for det utslippsscenarioet som de nye flowdataene presenterer.

### **Revidert PEC/PNEC beregning av rensed avløpsvann fra Elkem Solar**

Hvorvidt avløpsvannutslippet fra Elkem Solar utgjør en miljørisiko i Fiskåbukta avhenger først og fremst av avløpsvannets innhold av miljøgiftige komponenter og hvordan disse komponentene spres og fortyknes i den nedstrøms vannforekomsten. På basis av de forelagte data fra Elkem Solar ble reviderte PEC/PNEC verdier kalkulert for de seks elementene Cr, Cu, Zn, As, Ni og Fe (Tabell 6). Det ble ikke tatt hensyn til elementene Al og Mg ettersom disse kan regnes som mindre relevante i denne sammenhengen. I utregningen ble de nye tallene for gjennomsnittlig konsentrasjon av de seks elementene i avløpsvannet ved utslippspunktet (Tabell 4) dividert med PNEC verdiene som ble brukt i Schaanning & Næs (2006). PEC/PNEC verdiene viser således risikokvotienten (RQ) for hvert element i utslippspunktet, dvs. før den videre fortykning i vannforekomsten skjer. For sammenligning er også PEC/PNEC beregningene fra 2006 tatt med i Tabell 6. Vi ser da at RQ verdiene blir endret relativt mye når de nye dataene legges til grunn. Størst endring ses for Ni og Cu som går opp fra henholdsvis 1,43 og 0,35 til henholdsvis 20 og 5,1. Også for Cr ser vi nesten en femdobling fra 0,33 til 1,5. For As og Fe ser vi bare en mindre økning og for begge disse elementene ligger dessuten RQ under 1. Zn fremstår som avvikende i dette bildet med en reduksjon av RQ fra 4,09 til 2,28 (Tabell 6). I miljørisikovurderingen til Schaanning & Næs (2006) fremkom den høyeste PEC/PNEC verdien for Zn (PEC/PNEC på 4,09) og denne RQ verdien for Zn fikk som «worst case» PEC/PNEC representere alle metall kontaminantene i den videre drøfting/beregning av utbredelsen til influensområdet. I det påfølgende avsnittet blir det kort drøftet om denne enkelt-komponent tilnærmingen er tilstrekkelig eller om en her også bør ta høyde for mulige samvirkende effekter av de ulike tungmetallene i utslippet.

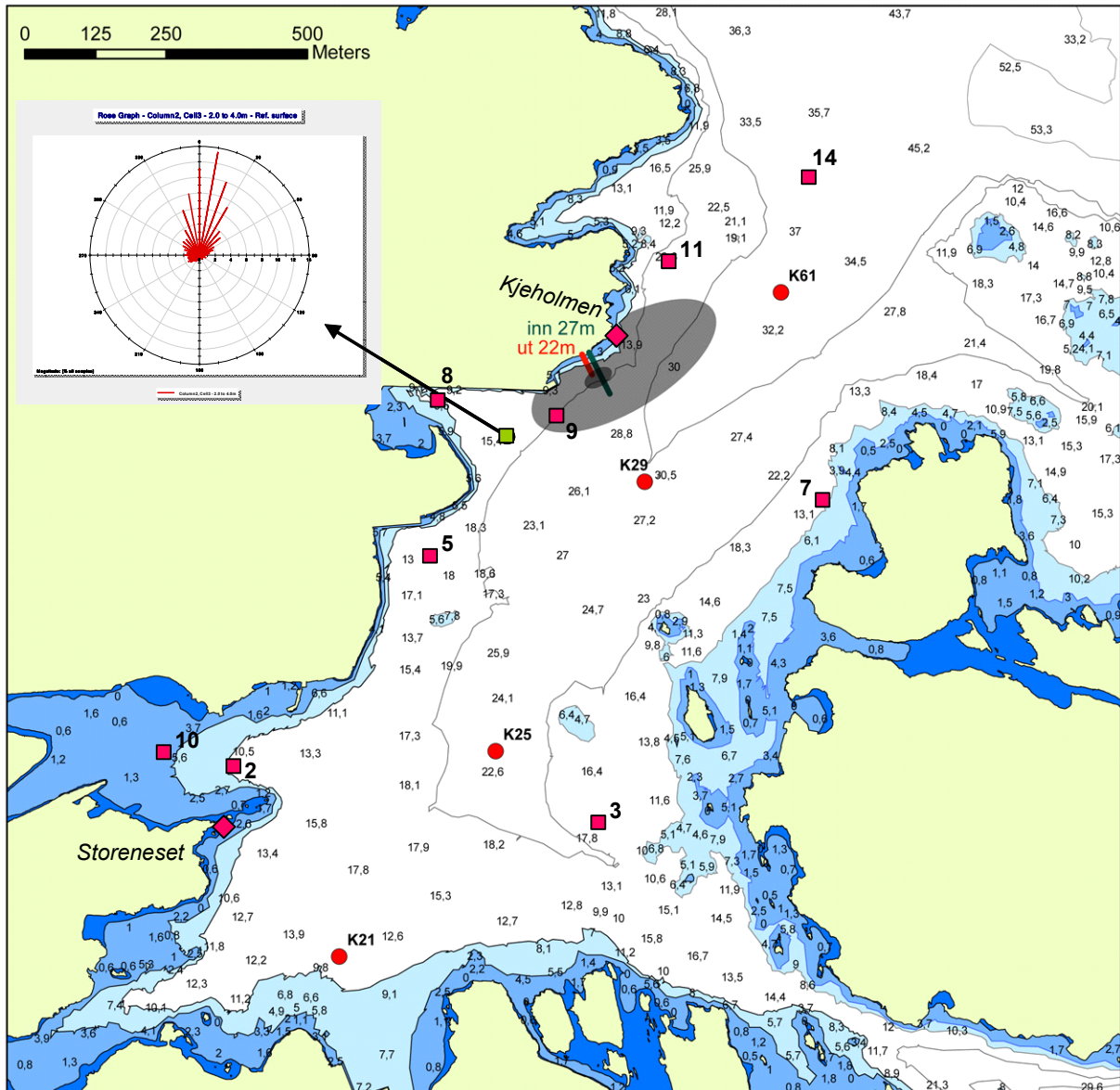
PEC/PNEC baserte risikovurderinger brukes for å gi prediktive estimat av miljørisikoen til (toksiske) enkelt-kjemikalier i utslippssituasjoner, selv også når utslippet inneholder en blanding av miljøgifter. Den utslippskomponent som utfra beregningene fremkommer med størst PEC/PNEC verdi har typisk vært ansett som «worst case», og legges gjerne til grunn for beregning av utslippets influensområde i miljøet. Problemstillingen om mulige samvirke-effekter av flere miljøgifter som opptrer sammen får imidlertid stadig mer oppmerksomhet, både i Norge og internasjonalt. Det er nå kjent at miljøgifter i gitte situasjoner kan addere til hverandres effekt (når de har samme virkningsmåte), eller på andre

måter påvirke effekten til hverandre. Slik samvirke-toksisitet av kjemiske blandinger kalles ofte «cocktail effekter» eller «combined effects». Tradisjonell miljørisikovurdering av kjemikalieutslipp har manglet gode prosedyrer for å håndtere slike samvirke-effekter og dette har av mange vært ansett som en generell mangel. Det har derfor i en årrekke pågått en faglig og regulatorisk prosess internasjonalt for å utarbeide prosedyrer og rutine for miljørisikovurderinger som kan fange opp mulige samvirke-effekter i utslippssituasjoner der det er relevant (SCCS et al. 2012). I utslippssituasjoner der de gitte miljørelevante kjemikalier i en blanding har rimelig lik toksikologisk virkningsmåte (Mode of Action, MoD) kan det være aktuelt å anvende en additiv tilnærming til miljørisikovurderingen. I det aktuelle tilfellet med avløpsvannet fra Elkem Solar kan det argumenteres at det kan være relevant å se de forskjellige tungmetallene som utslippet inneholder i sammenheng. Betegnelsen tungmetaller brukes om metalliske grunnstoffer med en tetthet som er høyere enn  $5 \text{ g/cm}^3$ . Av de seks elementene i denne miljørisikovurderingen er fem tungmetaller (Cr, Cu, Zn, As, Ni og Fe), men også arsen (As) regnes som regel med til tungmetallene på grunn av sin tetthet på  $5,73 \text{ g/cm}^3$ , til tross for at det er et halvmetall (metalloid). Tungmetallers giftighet er et komplekst fagfelt som det ikke er naturlig å gå detaljert inn på i denne rapporten. Helt kort kan det likevel sies at et typisk fellestrekk ved mange tungmetaller er at de er nødvendige (biologisk essensielle) i spormengder men virker toksisk når konsentrasjonen deres kommer over en viss øvre grense. Av de seks elementene i denne miljørisikovurderingen er Cr, Cu, Zn, og Fe biologisk essensielle for alle livsformer, mens As og Ni regnes som essensielle for planter og lavere livsformer. Et annet typisk og giftighetsmessig fellestrekk ved disse tungmetallene er at de ved forhøyet konsentrasjon kan utkonkurrere andre essensielle metaller i deres binding som ligander til ulike enzymer og andre viktige biologiske molekyler. Dette forårsaker gjerne hemming eller tap av funksjon for det aktuelle biologiske molekyl, noe som i verste fall kan være letalt for den eksponerte organismen. Ulike tungmetaller har dessuten sterke fellestrekk når det gjelder opptaksveier fra miljøet og inn i organismene. Ut fra fellestrekkene som kan beskrives for elementene Cr, Cu, Zn, As, Ni og Fe kan det i denne sammenheng virke rimelig å anse dem som tilstrekkelig toksikologisk beslektet til at deres miljørisiko, i det minste ut fra en «worst case» vinkling, kan ses i sammenheng. Den enkleste måten å ta høyde for additiv samvirke-effekt av disse spesifikke metallene vil være å foreta en enkel addering av deres respektive RQ verdier. Da tas det automatisk hensyn til forskjeller i relativ toksisitet de seks elementene imellom, ettersom dette kommer til uttrykk i deres respektive PNEC verdi. Ved å bruke en ren additiv summering av de forskjellige PEC/PNEC får vi en samlet PEC/PNEC verdi for blandingen på 30,16. En slik sum-PEC/PNEC vil være å anse som et miljømessig konservativt alternativ i forhold til å bruke PEC/PNEC verdien til Ni (RQ=20), som var den kom ut som den høyeste utfra det forelagte datagrunnlaget. Det å velge en sådan additiv tilnærming vil være mer i pakt med den økende oppmerksomheten som tillegges mulige samvirke-effekter av miljøgifter i kontaminerte vannforekomster. I denne sammenheng er det etter NIVAs syn fornuftig å legge et føre-var prinsipp til grunn og ta høyde for mulige samvirkende effekter i miljørisikovurderingen, selv om det ikke ennå foreligger regulatorisk gyldige prosedyrer fra KLIF for hvordan dette skal gjøres. Konkret for Elkem Solar's utslipp til sjø så vil de ulike tungmetallene i avløpsvannet kunne anses for å være tilstrekkelig like toksikologisk sett til at en enkel additiv PEC/PNEC kan anvendes for beregning av utslippets teoretiske influensområde.

### **Beregning av influensområdet for tungmetaller i utslippet**

Den mediale fortynningskurven vist i Figur 4 brukes til å beregne det teoretiske utbredelsesområdet. Influensområdet i vannforekomsten defineres som området hvor  $PEC/PNEC > 1$ . Utfra en målsetning om å ta høyde for potensielle samvirke-effekter av tungmetallene i utslippet blir en sum-RQ på 30,16 for utslippet lagt til grunn, denne ble kalkulert på basis av en ren addert RQ for de seks elementene Cr, Cu, Zn, As, Ni og Fe. I beregningen av den utslippsfortynning som må til for å oppnå en PEC/PNEC på 1 eller lavere tas det i denne vurderingen også hensyn til kontaminantenes bakgrunnsverdier i sjøvann (SW35 data, Tabell 1) for de elementene som ved utslippspunktet har  $PEC/PNEC > 1$ . Utregningstabellene for de fire tungmetallene som hadde  $PEC/PNEC > 1$  er vist i vedlegget. Det ble på dette grunnlaget beregnet at utslippet av rensset avløpsvann må fortynnes 38 ganger for å komme

ned i  $PEC/PNEC = 1$  eller lavere med hensyn til blandingen av tungmetaller. Ut fra fortynningskurven vil en slik fortynningsgrad i de aller fleste tilfeller nås allerede i primærfortynningsfasen innenfor en horisontal avstand på 10-15 m fra utslippet. Ved de vanligste hydrografiske betingelsene i vannsøylen vil primærfortynningsfasen være karakterisert av en turbulent og tetthetsforskjeldrevet miksing av utslippsvannet og sjøvannet i resipienten inntil forskjellen utlignes og utslippsvannet innlagres, noe som vil skje ved et gitt dyp mellom 10 og 20 m avhengig av den vertikale tetthetssjiktningen i vannsøylen. Dersom vannsøylen under spesielle hydrografiske forhold skulle være tilnærmet homogen med minimal vertikal tetthetssjiktning, vil utslippsvannet i primærfortynningsfasen teoretisk kunne nå helt opp til overflaten. Slike forhold vil mest sannsynlig kunne inntreffe i korte perioder i vinterhalvåret og utfra fortynningssimuleringen vil i så fall utslippsvannet være fortynnet ca. 140x før overflaten nås. Ved et fåtall tilfeller gjennom en årssyklus når det foreligger en bestemt vertikal tetthetssjiktningen som medfører en mer eller mindre umiddelbar innlagring av utslippsvannet i et relativt tynt sjikt av vannsøylen kan influensområdet ha en noe større horisontal utstrekning, maksimalt ca. 200 m nedstrøms for utslippspunktet. Dette på grunn av at fortynningen av plumen/utslippsskyen vil forløpe langsommere før  $PEC/PNEC = 1$  grenseverdien oppnås. Miljøriskovurderingen fra 2006 konkluderte at det ytre influensområdet for utslippet fra Elkem Solar ville ha en horisontal utstrekning på maksimalt 250 m nedstrøms for utslippspunktet i korte perioder ved spesielle (ekstremt ugunstige) hydrografiske betingelser i vannforekomsten, mens i mer typiske perioder vil influensområdet ha en horisontal utstrekning på mindre enn 25 m eller mindre nedstrøms for utslippspunktet (Schaanning and Næs 2006). Beregningen fremstår som relativt miljøkonservativ gitt at betraktningene og simuleringene for hvordan utslippet og dets komponenter typisk vil oppføre seg i vannforekomsten er korrekte. Vurderingen som er gjort i den inneværende reviderte risikovurdering av metallkomponenten i utslippet, der en både har tatt hensyn til en viss økning av metallutslippet som følge av en fremtidig økt produksjon fra 5000 til 7500 tonn per år, tilsier IKKE at det kan forventes en økning av utslippets influensområde i vannforekomsten selv gitt de økte utslippsmengdene. Det til tross for at det i denne risikovurderingen ble lagt en strengere (additiv)  $PEC/PNEC$  tilnærming til grunn for beregningen av en samlet toksisk påvirkning fra de ulike skadelige metallene i utslippet. Ut fra disse forhold synes det ikke å være grunnlag i denne reviderte miljørisikovurderingen for å endre den figurative fremstillingen av influensområdet for utslippet av rensed avløpsvann fra Elkem Solar som ble kommunisert i rapporten fra forrige miljørisikovurdering (Figur 5).



Figur 5. Kart fra (Schaanning and Næs 2006) over Fiskåbukta med posisjonen for utslippet av rensert avløpsvann fra Elkem Solar. Utslippets anslåtte influensområde er markert med grå farge. Kartet viser også omtrentlig plassering av prøvepunkter for SPI-bilder (sirkler), sedimentprøver for bløtbunnsfauna og kjemiske analyser (firkanter) og hardbunn/gruntvann (ruter) i sammenheng med tidligere eller pågående undersøkelser. Innfelt rose viser retningsfordeling av strøm 2-4 m under overflaten, målt i febr-mars, 2005.

## 7. Oppsummering og konklusjon

Denne reviderte miljørisikovurderingen av utslippet av rensert avløpsvann fra Elkem Solar AS er laget på basis av nye utslippstall for et mindre utvalg av tungmetaller (Zn, Cr, Cu, As, Ni, og Fe) som er blitt forelagt fra oppdragsgiver. Andre komponenter i avløpsvannutslippet som tidligere har blitt utredet (partikler, pH og fluorid) er ikke behandlet i denne revisjonen. Det påpekes på generelt grunnlag at det ville vært ønskelig for revisjonen med data fra et tilsvarende utvalg av elementer som ble analysert ved forrige miljørisikovurdering i 2006. Datagrunnlaget i vurderingen viser at utslippet

inneholder høyere konsentrasjoner av de forelagte metallene (bortsett fra Zn) enn hva som lå til grunn for forrige miljørisikovurdering. Økningen i metallkonsentrasjon bidrar til en økt risikokvotient (PEC/PNEC) for utslippet. Ni og Cu ble funnet å ha de høyeste PEC/PNEC verdier, henholdsvis på 20 og 5,1. Det forutsettes at det i fremtidig miljøregulering og miljørisikovurdering vil måtte tas hensyn til samvirke-effekter av kontaminanter som har mer eller mindre samme virkningsmåte, noe som vil kunne gjelde for en tungmetallblanding lik den som slippes ut i dette tilfelle. Det ble tatt høyde for et slikt mulig krav til utvidet risikovurdering ved at en sum (additiv) PEC/PNEC ble beregnet og lagt til grunn for risikokarakteriseringen. Denne strengere tilnærmingen gjorde fortynningen av utslippet for å oppnå en PEC/PNEC på 1 eller mindre ble på 38x, istedenfor for en fortynning på 26x som ville vært resultatet dersom kun dataene for Ni kontamineringen (som var den som kom ut høyest) ble lagt til grunn. Fortynningssimuleringer for utslippet i vannforekomsten i Fiskåbukta viser at slik 38x fortynning nås innenfor en horisontal distanse på 10-15 m fra utslippspunktet i de aller fleste tilfellene gjennom en årssyklus, men i perioder med spesielle hydrografiske betingelser (tidlig/dypere innlagring) vil fortynningen gå langsommere og bidra til at det tilstrekkelige fortynningsnivå nås først ca. 200 m nedstrøms for utslippspunktet.

En samlet vurdering av den nye dokumentasjonen som er forelagt NIVA for innholdet av tungmetaller i utslippet av rensed avløpsvann fra Elkem Solar AS tilsier ikke at utslippet vil forårsake et økt miljøstress av betydning for vannforekomsten i Fiskåbukta i Kristiansandsfjorden. Dette til tross for at kriteriene som er benyttet i denne reviderte vurderingen utgjør en strengere tilnærming enn det som ble benyttet ved forrige miljørisikovurdering av utslippet, ved at det nå er tatt høyde for en mulig samvirkende (additive) effekt av tungmetall kontaminantene.

## 8. Referanser:

- Berge, J. A., B. Bjerkgeng, K. Næs, E. Oug and A. Ruus (2007). Undersøkelse av miljøtilstanden i Kristiansandsfjorden 2006. Miljøgifter i sediment og organismer og sammensetning av bløtunnfauna. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 179.
- Crommentuijn, T., M. D. Polder and E. J. van der Plassche (1997). Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals taking background concentrations into account. Bilthoven, The Netherlands, National Institute of public health and the environment: 260.
- Frick, W. E., P. J. W. Roberts, L. R. Davis, J. Keyes, D. J. Baumgartner and K. P. George (2001). Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Athens Georgia, USA, Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency.
- Knutzen, J., G. Becher, A. Kringstad and M. Oehme (1994). Overvåking av miljøgifter i organismer fra Kristiansand 1992. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Knutzen, J., B. Enger and K. Martinsen (1986). Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport 4. Miljøgifter i fisk og andre organismer 1982-1984. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Knutzen, J. and K. Martinsen (1986). Tiltaksorientert overvåking av miljøgifter i fisk og andre organismer fra Kristiansandsfjorden 1985. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Knutzen, J., K. Martinsen, K. Næs, E. Oug and M. Oehme (1991). Tiltaksorientert overvåking av miljøgifter i organismer og sedimenter fra Kristiansandsfjorden 1988 og 1990. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Knutzen, J., K. Martinsen and M. Oehme (1988). Tiltaksorientert overvåking av miljøgifter i organismer og sedimenter fra Kristiansandsfjorden 1986-1987. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.



- Knutzen, J., K. Næs, L. Berglind, E. M. Brevik, N. Følsvik, A. Biseth and M. Schlabach (1998). Overvåking av miljøgifter i sedimenter og organismer fra Kristiansandsfjorden 1996. . Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Molvær, J., E. Farnen and A. Lillicrap (2011). Resipientvurdering knyttet til utslipp av suspendert stoff fra Elkem Solar i Kristiansand. . Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 23.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei and J. Sørensen (1997). Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Oslo, Norway, SFT: 34.
- Næs, K. (1992). PAH i sedimentene utenfor Elkem Fiskaa, Kristiansand, 1991. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Næs, K., J. Håvardstun, E. Oug and I. Allan (2011). Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem i Kristiansand i 2010. Undersøkelse av konsentrasjoner av metaller og PAH i vann, blåskjell og sedimenter samt sammensetningen av dyrelivet på bløtbunn. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 35.
- Næs, K., J. Håvardstun, E. Oug and I. Allan (2012). Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem i Kristiansand i 2011. Metaller og PAH i vann og blåskjell. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 27.
- Næs, K., J. Knutzen, J. Håvardstun, T. Kroglund, M. C. Lie, J. A. Knutsen and W. M.L. (2000). Miljøgiftundersøkelse i havner på Agder 1997-1998. PAH, PCB, tungmetaller og TBT i sedimenter og organismer. Statlig program for forurensningsovervåking 799/00. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Næs, K. and B. Rygg (2001). Tiltaksplan for opprydding i forurensede sedimenter i Kristiansandsfjorden. Kartlegging av konsentrasjoner i sedimentet i 2001 samt kartfremstilling av resultater fra tidligere undersøkelser. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Oug, E., A. Ruus and J. Håvardstun (2004). Miljøtilstanden i Hanneviksbukta og Vesterhavn, Kristiansandsfjorden, før tildekking av forurensede bunnsedimenter. Bunnfauna og miljøgifter i organismer. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning.
- Riley, J. and R. Chester (1971). Introduction to marine chemistry. London, UK, Academic Press.
- Ruus, A., J. Molvær, F. Uriansrud and K. Næs (2005). Risikovurderinger av PAH-kilder i nærområdet til Elkem i Kristiansand. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 118.
- Rygg, B. (1985). Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport I. Bløtbunnsfaunaundersøkelser 1983. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 60.
- SCCS, SCHER and SCENIHR (2012). Opinion on the toxicity and assessment of chemical mixtures. European Commission & Directorate-General for Health & Consumers, Scientific Committees on Consumer Safety (SCCS), on Health and Environmental Risks (SCHER) and on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR): 49.
- Schaanning, M. and J. Molvær (2010). Vurdering av pH i utslipp fra Elkem Solar AS' renseanlegg. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 10.
- Schaanning, M. and K. Næs (2006). Miljørisikovurdering av utslipp til Kristiansands-fjorden fra Elkem Solars renseanlegg. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 47.
- Schøyen, M., J. Håvardstun, S. Øxnevad, I. Allan and K. Næs (2010). Overvåking av miljøgifter i Kristiansandsfjorden i 2010. Undersøkelse av blåskjell, taskekrabber og passive prøvetakere i vann. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 167.
- Skei, J., F. Olsgard, A. Ruus, E. Oug and B. Rygg (2002). Risikovurderinger knyttet til forurensede sedimenter med fokus på Kristiansandsfjorden. Oslo, Norway, SFT.

## 9. Vedlegg:

På de påfølgende sider vises beregningstabeller for massebalanse for fire metaller (Ni, Cu, Zn og Cr) med utvikling av PEC/PNEC risikokvotienten i forhold til den primære resipientfortynningen av utslippet fra rensenanlegget for avløpsvann ved Elkem Solar AS (Kristiansand). Fortynningsnivået i tabellene der en oppnår  $PEC/PNEC = 1$  er markert med oransje farge. Eventuell grønn markering angir fortynning som gir 2x bakgrunn i forhold til normalinnholdet i sjøvann.

Nikkel (Ni): Konsentrasjon ut fra renseanlegg = 100 µg/l									Fortynningsrekke		PNEC Ni
Fra sjøvann (SW35)			Bidrag fra utløp			PLUME			step	1	2,1
Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Fortynning	PEC/PNEC	PEC/SW35
0	0,5	0	1	42	42	1	42,00	42	1	20,00	84,0
1	0,5	0,5	1	42	42	2	21,25	42,5	2	10,12	42,5
2	0,5	1	1	42	42	3	14,33	43	3	6,83	28,7
3	0,5	1,5	1	42	42	4	10,88	43,5	4	5,18	21,8
4	0,5	2	1	42	42	5	8,80	44	5	4,19	17,6
5	0,5	2,5	1	42	42	6	7,42	44,5	6	3,53	14,8
6	0,5	3	1	42	42	7	6,43	45	7	3,06	12,9
7	0,5	3,5	1	42	42	8	5,69	45,5	8	2,71	11,4
8	0,5	4	1	42	42	9	5,11	46	9	2,43	10,2
9	0,5	4,5	1	42	42	10	4,65	46,5	10	2,21	9,3
10	0,5	5	1	42	42	11	4,27	47	11	2,03	8,5
11	0,5	5,5	1	42	42	12	3,96	47,5	12	1,88	7,9
12	0,5	6	1	42	42	13	3,69	48	13	1,76	7,4
13	0,5	6,5	1	42	42	14	3,46	48,5	14	1,65	6,9
14	0,5	7	1	42	42	15	3,27	49	15	1,56	6,5
15	0,5	7,5	1	42	42	16	3,09	49,5	16	1,47	6,2
16	0,5	8	1	42	42	17	2,94	50	17	1,40	5,9
17	0,5	8,5	1	42	42	18	2,81	50,5	18	1,34	5,6
18	0,5	9	1	42	42	19	2,68	51	19	1,28	5,4
19	0,5	9,5	1	42	42	20	2,58	51,5	20	1,23	5,2
20	0,5	10	1	42	42	21	2,48	52	21	1,18	5,0
21	0,5	10,5	1	42	42	22	2,39	52,5	22	1,14	4,8
22	0,5	11	1	42	42	23	2,30	53	23	1,10	4,6
23	0,5	11,5	1	42	42	24	2,23	53,5	24	1,06	4,5
24	0,5	12	1	42	42	25	2,16	54	25	1,03	4,3
25	0,5	12,5	1	42	42	26	2,10	54,5	26	1,00	4,2
26	0,5	13	1	42	42	27	2,04	55	27	0,97	4,1
27	0,5	13,5	1	42	42	28	1,98	55,5	28	0,94	4,0
28	0,5	14	1	42	42	29	1,93	56	29	0,92	3,9
29	0,5	14,5	1	42	42	30	1,88	56,5	30	0,90	3,8
30	0,5	15	1	42	42	31	1,84	57	31	0,88	3,7
31	0,5	15,5	1	42	42	32	1,80	57,5	32	0,86	3,6
32	0,5	16	1	42	42	33	1,76	58	33	0,84	3,5
33	0,5	16,5	1	42	42	34	1,72	58,5	34	0,82	3,4
34	0,5	17	1	42	42	35	1,69	59	35	0,80	3,4
35	0,5	17,5	1	42	42	36	1,65	59,5	36	0,79	3,3
36	0,5	18	1	42	42	37	1,62	60	37	0,77	3,2
37	0,5	18,5	1	42	42	38	1,59	60,5	38	0,76	3,2
38	0,5	19	1	42	42	39	1,56	61	39	0,74	3,1
39	0,5	19,5	1	42	42	40	1,54	61,5	40	0,73	3,1
40	0,5	20	1	42	42	41	1,51	62	41	0,72	3,0

Kobber (Cu) konsentrasjon ut fra renseanlegg = 100 µg/l									Fortynningsrekke		PNEC Cu
Fra sjøvann (SW35)			Bidrag fra utløp			PLUME			step	1	8,2
Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Fortynning	PEC/PNEC	PEC/SW35
0	0,3	0	1	42	42	1	42,00	42	1	5,12	140,0
1	0,3	0,3	1	42	42	2	21,15	42,3	2	2,58	70,5
2	0,3	0,6	1	42	42	3	14,20	42,6	3	1,73	47,3
3	0,3	0,9	1	42	42	4	10,73	42,9	4	1,31	35,8
4	0,3	1,2	1	42	42	5	8,64	43,2	5	1,05	28,8
5	0,3	1,5	1	42	42	6	7,25	43,5	6	0,88	24,2
6	0,3	1,8	1	42	42	7	6,26	43,8	7	0,76	20,9
7	0,3	2,1	1	42	42	8	5,51	44,1	8	0,67	18,4
8	0,3	2,4	1	42	42	9	4,93	44,4	9	0,60	16,4
9	0,3	2,7	1	42	42	10	4,47	44,7	10	0,55	14,9
10	0,3	3	1	42	42	11	4,09	45	11	0,50	13,6
11	0,3	3,3	1	42	42	12	3,78	45,3	12	0,46	12,6
12	0,3	3,6	1	42	42	13	3,51	45,6	13	0,43	11,7
13	0,3	3,9	1	42	42	14	3,28	45,9	14	0,40	10,9
14	0,3	4,2	1	42	42	15	3,08	46,2	15	0,38	10,3
15	0,3	4,5	1	42	42	16	2,91	46,5	16	0,35	9,7
16	0,3	4,8	1	42	42	17	2,75	46,8	17	0,34	9,2
17	0,3	5,1	1	42	42	18	2,62	47,1	18	0,32	8,7
18	0,3	5,4	1	42	42	19	2,49	47,4	19	0,30	8,3
19	0,3	5,7	1	42	42	20	2,39	47,7	20	0,29	8,0
20	0,3	6	1	42	42	21	2,29	48	21	0,28	7,6
21	0,3	6,3	1	42	42	22	2,20	48,3	22	0,27	7,3
22	0,3	6,6	1	42	42	23	2,11	48,6	23	0,26	7,0
23	0,3	6,9	1	42	42	24	2,04	48,9	24	0,25	6,8
24	0,3	7,2	1	42	42	25	1,97	49,2	25	0,24	6,6
25	0,3	7,5	1	42	42	26	1,90	49,5	26	0,23	6,3
26	0,3	7,8	1	42	42	27	1,84	49,8	27	0,22	6,1
27	0,3	8,1	1	42	42	28	1,79	50,1	28	0,22	6,0
28	0,3	8,4	1	42	42	29	1,74	50,4	29	0,21	5,8
29	0,3	8,7	1	42	42	30	1,69	50,7	30	0,21	5,6
30	0,3	9	1	42	42	31	1,65	51	31	0,20	5,5
31	0,3	9,3	1	42	42	32	1,60	51,3	32	0,20	5,3
32	0,3	9,6	1	42	42	33	1,56	51,6	33	0,19	5,2
33	0,3	9,9	1	42	42	34	1,53	51,9	34	0,19	5,1
34	0,3	10,2	1	42	42	35	1,49	52,2	35	0,18	5,0
35	0,3	10,5	1	42	42	36	1,46	52,5	36	0,18	4,9
36	0,3	10,8	1	42	42	37	1,43	52,8	37	0,17	4,8
37	0,3	11,1	1	42	42	38	1,40	53,1	38	0,17	4,7
38	0,3	11,4	1	42	42	39	1,37	53,4	39	0,17	4,6
39	0,3	11,7	1	42	42	40	1,34	53,7	40	0,16	4,5
40	0,3	12	1	42	42	41	1,32	54	41	0,16	4,4

Sink (Zn): Konsentrasjon ut fra renseanlegg = 20 µg/l									Fortynningsrekke		PNEC Zn
Fra sjøvann (SW35)			Bidrag fra utløp			PLUME			step	1	3,5
Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Fortynning	PEC/PNEC	PEC/SW35
0	2	0	1	8	8	1	8,00	8	1	2,29	4,0
1	2	2	1	8	8	2	5,00	10	2	1,43	2,5
2	2	4	1	8	8	3	4,00	12	3	1,14	2,0
3	2	6	1	8	8	4	3,50	14	4	1,00	1,8
4	2	8	1	8	8	5	3,20	16	5	0,91	1,6
5	2	10	1	8	8	6	3,00	18	6	0,86	1,5
6	2	12	1	8	8	7	2,86	20	7	0,82	1,4
7	2	14	1	8	8	8	2,75	22	8	0,79	1,4
8	2	16	1	8	8	9	2,67	24	9	0,76	1,3
9	2	18	1	8	8	10	2,60	26	10	0,74	1,3
10	2	20	1	8	8	11	2,55	28	11	0,73	1,3
11	2	22	1	8	8	12	2,50	30	12	0,71	1,3
12	2	24	1	8	8	13	2,46	32	13	0,70	1,2
13	2	26	1	8	8	14	2,43	34	14	0,69	1,2
14	2	28	1	8	8	15	2,40	36	15	0,69	1,2
15	2	30	1	8	8	16	2,38	38	16	0,68	1,2
16	2	32	1	8	8	17	2,35	40	17	0,67	1,2
17	2	34	1	8	8	18	2,33	42	18	0,67	1,2
18	2	36	1	8	8	19	2,32	44	19	0,66	1,2
19	2	38	1	8	8	20	2,30	46	20	0,66	1,2
20	2	40	1	8	8	21	2,29	48	21	0,65	1,1
21	2	42	1	8	8	22	2,27	50	22	0,65	1,1
22	2	44	1	8	8	23	2,26	52	23	0,65	1,1
23	2	46	1	8	8	24	2,25	54	24	0,64	1,1
24	2	48	1	8	8	25	2,24	56	25	0,64	1,1
25	2	50	1	8	8	26	2,23	58	26	0,64	1,1
26	2	52	1	8	8	27	2,22	60	27	0,63	1,1
27	2	54	1	8	8	28	2,21	62	28	0,63	1,1
28	2	56	1	8	8	29	2,21	64	29	0,63	1,1
29	2	58	1	8	8	30	2,20	66	30	0,63	1,1
30	2	60	1	8	8	31	2,19	68	31	0,63	1,1
31	2	62	1	8	8	32	2,19	70	32	0,63	1,1
32	2	64	1	8	8	33	2,18	72	33	0,62	1,1
33	2	66	1	8	8	34	2,18	74	34	0,62	1,1
34	2	68	1	8	8	35	2,17	76	35	0,62	1,1
35	2	70	1	8	8	36	2,17	78	36	0,62	1,1
36	2	72	1	8	8	37	2,16	80	37	0,62	1,1
37	2	74	1	8	8	38	2,16	82	38	0,62	1,1
38	2	76	1	8	8	39	2,15	84	39	0,62	1,1
39	2	78	1	8	8	40	2,15	86	40	0,61	1,1
40	2	80	1	8	8	41	2,15	88	41	0,61	1,1

Krom (Cr): Konsentrasjon ut fra renseanlegg = 15 µg/l									Fortynningsrekke		PNEC Cr
Fra sjøvann (SW35)			Bidrag fra utløp			PLUME			step	1	4,3
Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Vol	C µg/l	µg	Fortynning	PEC/PNEC	PEC/SW35
0	0,2	0	1	6,3	6,3	1	6,30	6,3	1	1,47	31,5
1	0,2	0,2	1	6,3	6,3	2	3,25	6,5	2	0,76	16,3
2	0,2	0,4	1	6,3	6,3	3	2,23	6,7	3	0,52	11,2
3	0,2	0,6	1	6,3	6,3	4	1,73	6,9	4	0,40	8,6
4	0,2	0,8	1	6,3	6,3	5	1,42	7,1	5	0,33	7,1
5	0,2	1	1	6,3	6,3	6	1,22	7,3	6	0,28	6,1
6	0,2	1,2	1	6,3	6,3	7	1,07	7,5	7	0,25	5,4
7	0,2	1,4	1	6,3	6,3	8	0,96	7,7	8	0,22	4,8
8	0,2	1,6	1	6,3	6,3	9	0,88	7,9	9	0,20	4,4
9	0,2	1,8	1	6,3	6,3	10	0,81	8,1	10	0,19	4,1
10	0,2	2	1	6,3	6,3	11	0,75	8,3	11	0,18	3,8
11	0,2	2,2	1	6,3	6,3	12	0,71	8,5	12	0,16	3,5
12	0,2	2,4	1	6,3	6,3	13	0,67	8,7	13	0,16	3,3
13	0,2	2,6	1	6,3	6,3	14	0,64	8,9	14	0,15	3,2
14	0,2	2,8	1	6,3	6,3	15	0,61	9,1	15	0,14	3,0
15	0,2	3	1	6,3	6,3	16	0,58	9,3	16	0,14	2,9
16	0,2	3,2	1	6,3	6,3	17	0,56	9,5	17	0,13	2,8
17	0,2	3,4	1	6,3	6,3	18	0,54	9,7	18	0,13	2,7
18	0,2	3,6	1	6,3	6,3	19	0,52	9,9	19	0,12	2,6
19	0,2	3,8	1	6,3	6,3	20	0,51	10,1	20	0,12	2,5
20	0,2	4	1	6,3	6,3	21	0,49	10,3	21	0,11	2,5
21	0,2	4,2	1	6,3	6,3	22	0,48	10,5	22	0,11	2,4
22	0,2	4,4	1	6,3	6,3	23	0,47	10,7	23	0,11	2,3
23	0,2	4,6	1	6,3	6,3	24	0,45	10,9	24	0,11	2,3
24	0,2	4,8	1	6,3	6,3	25	0,44	11,1	25	0,10	2,2
25	0,2	5	1	6,3	6,3	26	0,43	11,3	26	0,10	2,2
26	0,2	5,2	1	6,3	6,3	27	0,43	11,5	27	0,10	2,1
27	0,2	5,4	1	6,3	6,3	28	0,42	11,7	28	0,10	2,1
28	0,2	5,6	1	6,3	6,3	29	0,41	11,9	29	0,10	2,1
29	0,2	5,8	1	6,3	6,3	30	0,40	12,1	30	0,09	2,0
30	0,2	6	1	6,3	6,3	31	0,40	12,3	31	0,09	2,0
31	0,2	6,2	1	6,3	6,3	32	0,39	12,5	32	0,09	2,0
32	0,2	6,4	1	6,3	6,3	33	0,38	12,7	33	0,09	1,9
33	0,2	6,6	1	6,3	6,3	34	0,38	12,9	34	0,09	1,9
34	0,2	6,8	1	6,3	6,3	35	0,37	13,1	35	0,09	1,9
35	0,2	7	1	6,3	6,3	36	0,37	13,3	36	0,09	1,8
36	0,2	7,2	1	6,3	6,3	37	0,36	13,5	37	0,08	1,8
37	0,2	7,4	1	6,3	6,3	38	0,36	13,7	38	0,08	1,8
38	0,2	7,6	1	6,3	6,3	39	0,36	13,9	39	0,08	1,8
39	0,2	7,8	1	6,3	6,3	40	0,35	14,1	40	0,08	1,8
40	0,2	8	1	6,3	6,3	41	0,35	14,3	41	0,08	1,7

## Supplerende analysedata av rensset avløpsvann forelagt fra Elkem Solar:

-----

Vedr. pH

1. pH: måles on-line hver sekund (eller oftere). Rådata analyser for ukemiddel 2012 er vedlagt.

pH -kontinuerlige online-målinger: Tett oppfølging!

Ukenr. 2012

pH - ukemiddel

	basert på 1 t-middel-prøver)
--	------------------------------

15	8,2
16	8,3
17	8,2
18	8,2
19	8,2
20	8,2
21	8,2
22	8,2
23	8,2



Vedr. Se, V, Pb, Ti, Sb, Nb, Zr :

Det foreligger ikke analyser av disse elementene med unntak av stikkprøver Pb (og Cd) i forbindelse med sjekk av egne analyser mot analyser foretatt av NIVA

Pb og Cd - kun stikkprøver

2011	Pb		Cd	
	Elkem mg/l	NIVA mg/l	Elkem mg/l	NIVA mg/l
15.03.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
16.03.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
17.03.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
18.03.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
19.03.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
20.03.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
21.03.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
26.04.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,001
27.04.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,002
28.04.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,001
29.04.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,001
30.04.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,002
01.05.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,002
02.05.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,002
31.10.2011	< 0,5	0,02	< 0,01	< 0,001
01.11.2011	< 0,5	0,01	< 0,01	0,002
04.11.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001
14.11.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	0,001
25.11.2011	< 0,5	0,02	< 0,01	0,001
28.11.2011	< 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,001

## Zn 2012

Dato	Flow RA (m <sup>3</sup> /døgn)	Zn, direkte prøve (mg/l)	Zn-utslipp (kg/døgn)
11.apr.12	263	0,008	0,002
12.apr.12	640	0,008	0,005
13.apr.12	851	0,02	0,017
14.apr.12	743	0,025	0,019
15.apr.12	787	0,016	0,013
16.apr.12	1803	0,0025	0,005
17.apr.12		0,005	0,000
18.apr.12	868	0,0025	0,002
19.apr.12	791	0,0025	0,002
20.apr.12	880	0,0025	0,002
21.apr.12	993	0,0025	0,002
22.apr.12	778	0,0025	0,002
23.apr.12	384	0,02	0,008
24.apr.12	164	0,039	0,006
25.apr.12	177	0,059	0,010
26.apr.12	999	0,05	0,050
27.apr.12	518	0,103	0,053
28.apr.12	1083	0,055	0,060
29.apr.12	876	0,01	0,009
30.apr.12	979	0,031	0,030
01.mai.12	1075	0,0025	0,003
02.mai.12	806	0,0025	0,002
03.mai.12	1015	0,0025	0,003
04.mai.12	980	0,0025	0,002
05.mai.12	1088	0,0025	0,003
06.mai.12	1025	0,0025	0,003
07.mai.12	1073	0,0025	0,003
08.mai.12	1046	0,0025	0,003
09.mai.12	1120	0,0025	0,003
10.mai.12	1184	0,0025	0,003
11.mai.12	1120	0,0025	0,003
12.mai.12	1046	0,0025	0,003
13.mai.12	1072	0,0025	0,003
14.mai.12	792	0,0025	0,002
15.mai.12	966	0,005	0,005
16.mai.12	851	0,016	0,014
17.mai.12	1114	0,02	0,022
18.mai.12	856	0,023	0,020
19.mai.12	961	0,015	0,014
20.mai.12	1074	0,01	0,011
21.mai.12	962	0,005	0,005
22.mai.12	1062	0,009	0,010
23.mai.12	1165	0,008	0,009
24.mai.12	875	0,009	0,008
25.mai.12	1014	0,01	0,010
26.mai.12	1045	0,012	0,013
27.mai.12	1021	0,005	0,005
28.mai.12	1071	0,0025	0,003
29.mai.12	1101	0,0025	0,003
30.mai.12	1123	0,007	0,008
31.mai.12	1008	0,0025	0,003
01.jun.12	1123	0,0025	0,003
02.jun.12	1059	0,0025	0,003
03.jun.12	1089	0,0025	0,003
04.jun.12	1068	0,0025	0,003
05.jun.12	1085	0,0025	0,003
06.jun.12	763	0,0025	0,002
07.jun.12	860	0,005	0,004
08.jun.12	1080	0,0025	0,003
09.jun.12	1109	0,0025	0,003
10.jun.12	1074	0,0025	0,003
11.jun.12	891	0,012	0,011
12.jun.12	1060	0,012	0,013
13.jun.12	980	0,015	0,015
14.jun.12	827	0,012	0,010
15.jun.12	1088	0,018	0,020
16.jun.12	1038	0,011	0,011
17.jun.12	1092	0,025	0,027
18.jun.12	1064	0,0025	0,003
19.jun.12	1003	0,0025	0,003
20.jun.12	998	0,0025	0,002
21.jun.12	1079	0,0025	0,003
22.jun.12	1008	0,0025	0,003
23.jun.12	759	0,079	0,060
24.jun.12	284	0,011	0,003

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)