



RAPPORT LNR 5463-2007

Miljøundersøkelser  
av ACT  
betongelementer  
Utlekking av metaller



**ACT**<sup>®</sup>  
Advanced Cuttings Treatment AS  
Org. No. 990 275 858

**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 18 51 00  
Telefax (47) 55 23 24 95

**Akvaplan-niva**

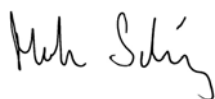
9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Miljøundersøkelser av ACT betongelementer. Utlekking av metaller.	Løpenr. (for bestilling) LNR 5463-2007	Dato 07.09.2007
	Prosjektnr. Undernr. O-27142	Sider Pris 14
Forfatter(e) Morten Thorne Schaanning og Sigurd Øxnevad	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område	Trykket NIVA

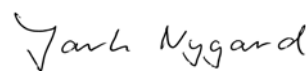
Oppdragsgiver(e)  <b>ACT</b> <sup>®</sup> Advanced Cuttings Treatment AS Org. No. 990 275 858	Oppdragsreferanse Matheus Christensen
---	--

<p>Sammendrag</p> <p>Målet med dette prosjektet var å bestemme utlekking av metaller fra en prøveproduksjon av betongsylindre basert på ilmenitt-holdig borekaks. Dette ble gjort ved å plassere hele og knuste sylindre i bokser med gjennomstrømmende brønnvann, mettet med oksygen (O<sub>2</sub>) og nøytral pH. Konsentrasjonen av metaller ble målt i bokser med og uten betong og differensen ble benyttet til å beregne utlekking og opptak av metaller. Ilmenitt-holdig borekaks inneholder lite kvikksølv. Prøvene ble derfor ikke analysert for dette metallet. Resultatene viste opptak av bly, kobber og sink fra vann til betong og utlekking av arsen, krom, vanadium, mangan og nikkel fra knust betong til vann. Utlekkingen fra knust betong var større enn fra hel betong, men også fra knust betong ble utlekking vurdert å være liten.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. metaller</li> <li>2. borekaks</li> <li>3. miljøvurdering</li> <li>4. betong</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. metals</li> <li>2. drill cuttings</li> <li>3. environmental assessment</li> <li>4. concrete</li> </ol>
---	---

  
Morten Schaanning  
Prosjektleder

  
Kristoffer Næs  
Forskningsleder

  
Jarle Nygard  
Fag- og markedsdirektør

## **Miljøundersøkelser av ACT betongelementer**

### **Utlekking av metaller**

## Forord

Dette prosjektet er utført på oppdrag fra Advanced Cutting Treatments AS (ACT) v/ Matheus Christensen i henhold til prosjektforslag 18.01.07 utarbeidet av Morten Schaanning og Hartvig Christie og kontrakt 22.02.07. Begroingsforsøk skissert i prosjektforslaget er i henhold til avtale utsatt til et senere tidspunkt. Sigurd Øxnevad har hatt hovedansvar for prosjektet og den praktiske gjennomføring av utlekkingsforsøket ved NIVA's Marine Forskningstasjon på Solbergstrand.

Oslo, 07.09.2007

*Morten Thorne Schaanning*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>8</b>
2.1 Testmateriale	8
2.2 Forsøksoppsett	8
2.3 Prøvetaking og analyser	9
2.4 Beregning av utlekking/opptak av metaller	9
<b>3. Resultater</b>	<b>10</b>
<b>4. Vurdering</b>	<b>13</b>
<b>5. Konklusjon</b>	<b>13</b>
<b>Vedlegg A.</b>	<b>15</b>

---

# Sammendrag

Målet med dette prosjektet var å bestemme utlekking av metaller fra en prøveproduksjon av betongsylindre basert på ilmenitt-holdig borekaks. Dette ble gjort ved å plassere hele og knuste sylindre i bokser med gjennomstrømmende brønnvann. Vannet hadde pH 7.3-7.5, temperatur 7-8 °C og var mettet med oksygen (O<sub>2</sub>). Konsentrasjonen av metaller ble målt i bokser med og uten betong og differensen ble benyttet til å beregne utlekking og opptak av metaller. Ilmenitt-holdig borekaks inneholder lite kvikksølv. Prøvene ble derfor ikke analysert for dette metallet.

Resultatene viste opptak av bly, kopper og sink fra vann til betong og utlekking av arsen, krom, vanadium, mangan og nikkel fra knust betong til vann. Opptaket av bly var statistisk signifikant. Utlekking av arsen, krom, vanadium og mangan var statistisk signifikant. Utlekkingen fra knust betong var større enn fra hel betong, men utlekking målt i dette forsøket var liten sammenlignet med tidligere målt utlekking fra sedimenter.

Det ble konkludert at:

- Utsetting av betongsøyler i oksygenholdig, nøytralt ferskvann vil gi en miljø-gevinst ved lite/ingen utlekking av metaller og et betydelig opptak av Pb.
- Selv om eventuell mekanisk erosjon vil gi noe utlekking av arsen, krom og vanadium, er det vår vurdering at dette oppveies av opptaket av bly, kopper og sink. (Forutsatt at knusingen er representativ for naturlig, mekanisk erosjon.)

## Summary

Title: Environmental assessment investigations of ACT concrete products. Release of metals.

Year: 2007-09-07

Author: Sigurd Øxnevad and Morten Thorne Schaanning

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5198-2

Release of metals was determined by placement of concrete columns and crushed concrete in boxes flushed with water from a drilled well. The water was saturated with O<sub>2</sub>, had a pH of 7.3-7.5 and temperature 7-8°C. The results showed uptake of lead from water to concrete and some release of arsen, chromium, vanadium and manganese from crushed concrete to water. The release was small compared to previously determined fluxes of metals from marine and lake sediments. It was concluded that placement of concrete columns in pH-neutral, oxic water will benefit the environment by considerable uptake of lead and little or no release of other metals.

# 1. Innledning

På grunnlag av patentsøkt metode for produksjon av betong fra borekaks planlegger firmaet Advanced Cuttings Treatment AS (ACT) å utnytte borekaks som råstoff til betongprodukter for ulike formål.

Borekaks er en blanding av et boreslam og knust stein fra boreformasjonene. Boreslam tilsettes bl.a. for å stabilisere hullet og optimalisere selve boringen. Av førstnevnte grunn inneholder slammet størrelsesorden 30 – 50 % vektmaterialer, vanligvis mineraler med høy tetthet som f.eks. baritt (hovedsakelig  $\text{BaSO}_4$ ) eller ilmenitt (hovedsakelig  $\text{FeTiO}_3$ ). Mineralene kan være mer eller mindre forurenset med tungmetaller (Pb, Hg, Cd, Ni, Cr, Cu, Zn) og en begrunnelse for å benytte ilmenitt-basert slam har vært dette mineralets lavere innhold av bl.a. Pb og Hg.

På oppdrag fra ACT har NIVA undersøkt utlekkingspotensialet av metaller fra betongproduktet. Utlekkingsforsøket ble gjennomført på NIVAs marine forskningsstasjon på Solbergstrand, ved Drøbak.



## 2. Materiale og metoder

### 2.1 Testmateriale

Testmaterialet ble levert til NIVA fra en prøveproduksjon basert på 4 blandinger med ilmenittbasert borekaks (Tabell 1). Det ble støpt ut sylindre fra hver blanding med diameter 10 cm og høyde 20 cm. I utlekkingsforsøket ble det benyttet 3 sylindre fra hver blanding og masse fra 2 sylindre som var blitt knust til grus. Knuste og hele sylindre var merket med samme blandingsnummer og hadde identisk sammensetning.

**Tabell 1. Betongreseptene for de fire blandningene som ble benyttet i forsøket (iflg. Hedda Vikan, Sintef).**

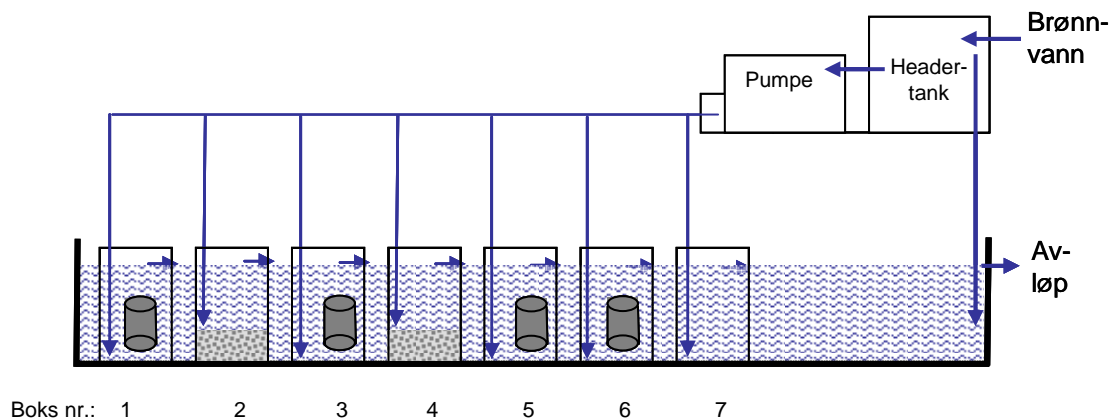
	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4
Total Volume (l)	30.0	30.0	35.0	35.00
w/p	0.51	0.51	0.53	0.53
Årdal natur 0-2 mm (kg/m <sup>3</sup> )	151.5	151.5	-	-
Årdal natur 0-8 mm(kg/m <sup>3</sup> )	1023.9	1023.9	997.7	997.7
Årdal 8-11 mm (kg/m <sup>3</sup> )	332.8	332.8	408.0	408.0
Årdal 11-16 mm (kg/m <sup>3</sup> )	332.8	332.8	349.7	349.7
Årdal 16-25 mm(kg/m <sup>3</sup> )	-	-	61.7	61.7
Industri cement (kg/m <sup>3</sup> )	166.7	133.3	171.4	142.9
Additive 1 (kg/m <sup>3</sup> )	-	33.3	-	28.6
Drill Cutting Mud (kg/m <sup>3</sup> )	400.0	400.0	285.7	285.7
Dry Drill Cutting Mud (kg/m <sup>3</sup> )	271.2	271.2	193.7	193.7
Total Dry materials (kg/m <sup>3</sup> )	437.9	437.9	365.1	365.1
Additive 2 (kg/m <sup>3</sup> )	-	0.40	0.34	0.69
Additive 2 (% by powder)	-	0.09	0.09	0,19
Additive 3 (kg/m <sup>3</sup> )	15.14	9.20	7.26	7.11
Additive 3 (% by powder)	3.46	2.10	1.99	1.99
Water Drill Cutting Mud (kg/m <sup>3</sup> )	128.8	128.8	92.0	99.0
Water in aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	33.9	33.9	31.4	26.9
Water SP (kg/m <sup>3</sup> )	12.4	7.5	5.9	5.8
Added water (kg/m <sup>3</sup> )	49.3	50.0	65.7	62.6
Total water (kg/m <sup>3</sup> )	224.5	224.3	194.0	194.2

### 2.2 Forsøksoppsett

Utlekkingsforsøket ble utført med bokser med gjennomstrømmende vann fra borebrønn. Boksene hadde målene 33.0 x 27.5 x 39.3 cm (innvendige mål). Boksene var plassert i et større kar med gjennomstrømmende vann for å holde stabil temperatur i forsøksperioden. Boksene fikk tilført nøyaktig 2 ml ferskvann pr. minutt ved hjelp av en Watson-Marlowe peristaltisk pumpe. Det ble boblet luft til vannet i boksene for å sørge for god omblanding av vannet.

Det ble benyttet 7 bokser i forsøksoppsettet. Tre sylindre av hver blanding ble plassert i fire bokser, knust masse av bl. 3 og bl. 4 ble samlet i en boks, og masse fra bl. 1 og bl. 2 ble samlet i en annen

boks. I forhold til overflateform og kaksinnhold kunne boksene grupperes i fire grupper LS, LK, HS og HK, som vist i tabell 2.



Figur 1. Skjematisk tegning av forsøksoppsettet. Luftbobling i alle bokser.

Tabell 2. Innhold i de ulike boksene. H=høyt kaksinnhold. L=Lavt kaksinnhold. S=Sylindere. K=Knust.

Boks	Behandling	Betongform	Betongtype (se tab. 1)
1	LS	Sylindere	Mix 3
2	LK	Knust	Mix 3 og 4
3	HS	Sylindere	Mix 1
4	HK	Knust	Mix 1 og 2
5	LS	Sylindere	Mix 4
6	HS	Sylindere	Mix 2
7	Blank	-	-

## 2.3 Prøvetaking og analyser

Forsøket ble satt igang 26.mars. Det ble tatt vannprøver (100 ml) fra hver av boksene og fra headertanken. Vannprøvene ble tatt etter 7 dager, 28 dager, 49 dager og 70 dager.

Vannprøvene ble analysert for bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), sink (Zn), nikkel (Ni), arsen (As), vanadium (V), jern (Fe) og mangan (Mn). De kjemiske analysene (ICP-MS) ble utført på NIVAs laboratorium.

## 2.4 Beregning av utlekking/opptak av metaller

Utlekking eller opptak av metaller fra betongen i boksene måles ved å la vann strømme langsomt gjennom boksene. Hvis konsentrasjonen av metaller måles i  $\mu\text{g L}^{-1}$  ved innløp ( $C_i$ ) og utløp ( $C_u$ ), kan utlekking beregnes etter ligningen

Ligning 1: 
$$F' = (C_u - C_i) * Q$$

der

$Q$  = gjennomstrømningshastigheten av vannet i boksen ( $L h^{-1}$ ) og

$F'$  = tilførsel eller opptak i hver boks ( $\mu g h^{-1}$ )

Selve utstyret, dvs innvendige overflater i slanger og bokser kan ta opp eller avgi metaller fra det gjennomstrømmende vannet. For å korrigere for dette inkluderte oppsettet en boks uten betong. Tilførselen (eller opptaket) i denne boksen er:

Ligning 2: 
$$F'_{bl} = (C_{bl} - C_i) * Q$$

Utlekking (eller opptak) fra betongen i boksene blir da differensen mellom Ligning 1 og 2:

Ligning 3: 
$$F = F' - F'_{bl}$$

som gir

Ligning 4: 
$$F = (C_u - C_{bl}) * Q / A$$

$C_{bl}$  = konsentrasjonen i utløpet fra blank-boksen

$A$  = arealet av materialet eksponert mot vannet ( $m^2$ )

$F$  = arealspesifikk utlekking (positiv  $F$ ) eller opptak (negativ  $F$ ) av metaller ( $\mu g m^{-2} h^{-1}$ )

Overflate (topp og side) av 3 eksponerte sylindre ble beregnet til  $0.12 m^2$ . Arealet av knust materiale på bunnen av boksene med areal  $0.09 m^2$  vil være større enn  $0.09 m^2$  på grunn av ruheten. I beregningene ble det benyttet et eksponert betongareal på  $0.1 m^2$  i alle boksene.

### 3. Resultater

Alle analyseresultatene er gitt i Vedlegg A.

pH i tilførselsvannet (målt i "header tank") og blankboksen var henholdsvis 7,37 og 7,39 som var noe lavere enn 7,41-7,46 målt i boksene med betong sylindre og 7,51-7,53 målt i boksene med knust betong. Dette viser at betongen hadde en svakt basisk effekt på vannet.

Flukser i hver enkelt boks samt beregnet middelvei ("grand mean") og standardavviket som for uttrykk variasjonen over hele forsøket (både mellom betongtyper, overflateformer og over tid) er vist i **Tabell 3**. Til sammenligning viser tabellen også typiske flukser målt i tilsvarende forsøk utført både i ferskvann og sjøvann med forskjellige typer forurensete og "rene" sedimenter.

**Tabell 3** viser utlekking fra betong til vann av arsen (As), krom (Cr), vanadium (V) og mangan (Mn) og opptak fra vann til betong av bly (Pb), kopper (Cu) og sink (Zn).

Vanadium ble ikke undersøkt i de tidligere forsøkene. Utlekkingen av krom var større enn målt tidligere, men likevel ikke mer enn det dobbelte av utlekking målt fra antatt rene masser (såkalt "gytegrus" levert fra Franzefoss bruk). Utlekkingen av arsen og mangan var liten sammenlignet med

**Tabell 3. Utlekking og opptak av metaller fra betongsylindre og knust betong. Enhet =  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Positiv fluks betyr utlekking fra betong til vann. Negativ fluks betyr opptak fra vann til betong.**

Kode	Boks	Dag	As	Cr	V	Mn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn
HK	4	7	0.31	0.99	1.00	1.64	0.00	0.000	-0.75	-6.83	-7.4
HS	3	7	0.04	0.09	0.10	0.20	0.00	0.000	-0.79	-6.87	-8.4
HS	6	7	0.03	0.11	0.07	0.21	0.00	0.000	-0.80	-6.92	-8.6
LK	2	7	0.19	0.59	0.60	0.99	0.00	0.000	-0.62	-6.21	-6.3
LS	1	7	0.05	0.32	0.07	2.04	0.00	0.000	-0.79	-6.97	-8.0
LS	5	7	0.05	0.32	0.32	0.17	0.00	0.000	-0.82	-6.83	-7.4
HK	4	28	0.17	0.29	0.54	0.75	0.00	0.000	-0.71	-2.85	-5.5
HS	3	28	0.04	0.01	0.03	0.00	0.00	0.000	-0.77	-3.05	-6.7
HS	6	28	0.01	0.00	0.01	0.13	0.00	0.000	-0.60	-2.96	-6.3
LK	2	28	0.04	0.23	0.32	0.47	0.00	0.000	-0.52	-1.73	-3.7
LS	1	28	0.04	0.12	0.05	0.13	0.00	0.000	-0.77	-3.09	-6.9
LS	5	28	0.04	0.00	0.02	0.48	0.00	0.023	-0.73	-3.24	-5.7
HK	4	49	0.13	0.41	0.46	0.88	0.00	0.000	-0.60	-4.71	-15.4
HS	3	49	0.00	-0.03	0.01	-0.05	0.00	0.000	-0.61	-3.33	-14.6
HS	6	49	0.00	0.03	-0.01	-0.05	0.00	0.000	-0.45	-3.15	-14.2
LK	2	49	0.20	0.31	0.62	0.69	0.00	0.000	-0.48	-3.84	-10.9
LS	1	49	0.13	0.07	0.05	-0.05	0.00	0.007	-0.62	-3.25	-15.1
LS	5	49	0.00	0.00	0.01	-0.05	0.00	0.009	-0.73	-5.16	-18.5
HK	4	70	0.13	0.43	0.40	0.97	0.00	-0.005	-1.84	-11.64	-30.4
HS	3	70	0.13	0.07	0.07	0.07	0.03	-0.010	-1.57	-3.47	-15.7
HS	6	70	0.00	0.11	0.01	-0.16	0.00	-0.010	-1.32	-3.20	-15.5
LK	2	70	0.19	0.64	0.66	0.71	0.83	-0.005	-1.58	-7.87	-16.4
LS	1	70	0.13	0.33	0.08	-0.15	0.00	-0.001	-1.92	-7.73	-29.7
LS	5	70	0.00	0.43	0.03	-0.15	0.51	-0.010	-2.12	-10.69	-31.2
<b>Middelverdi</b>			<b>0.09</b>	<b>0.24</b>	<b>0.23</b>	<b>0.41</b>	<b>0.06</b>	<b>0.000</b>	<b>-0.94</b>	<b>-5.23</b>	<b>-12.9</b>
Standardavvik <sup>5</sup>			0.08	0.25	0.28	0.58	0.20	0.007	0.49	2.61	8.0
<i>Sammenlignbare undersøkelser, sedimenter i ferskvann</i>											
Lite forurenset sed. <sup>1</sup>			0.01	0.12	-	-1.00	-0.09	-0.004	-0.09	-0.43	-3.3
Forurenset sediment <sup>1</sup>			1.40	-0.05	-	17.02	0.91	0.322	0.05	12.32	197.5
<i>Tidligere undersøkelser, sedimenter i sjøvann</i>											
Lite forurenset sed. <sup>2</sup>			-	-	-	-	0.68	0.159	0.01	0.13	1.8
Ikke forurenset sed. <sup>3</sup>			-	0.09	-	-1.81	0.54	0.043	0.02	0.35	2.65
Ikke forurenset sed. <sup>4</sup>			-	0.16	2.88	-	0.25	0.138	-0.78	-2.68	1.03
Ilmenitt-basert kaks <sup>3</sup>			-	0.26	-	-2.80	4.68	0.027	-0.05	1.18	1.13
Forurenset sed. sjø <sup>2</sup>			-	-	-	-	3.91	1.402	0.07	2.46	134.0

<sup>1</sup>Schaanning, M., Aanes K.J., Røyset, O., 2005. Clark Island Sediment Remediation -Effects of a granular cap on metal fluxes. NIVA report 5096-05. 37 pp.

<sup>2</sup>Schaanning, M., 2002. Opprydding av forurensete sedimenter – Utlekking av miljøgifter fra tildekkete sedimenter. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA). O-21362 Teknisk Notat, 12.11.02, 10 pp.

<sup>3</sup>Schaanning, M., H.C. Trannum, T.F. Holth, S. Øxnevad 2007. Trace metal mobility and faunal effects of weight materials in water-based drilling muds. NIVA-rapportutkast, 2007.

<sup>4</sup>NIVA, intern-prosjekt 2006, upublisert

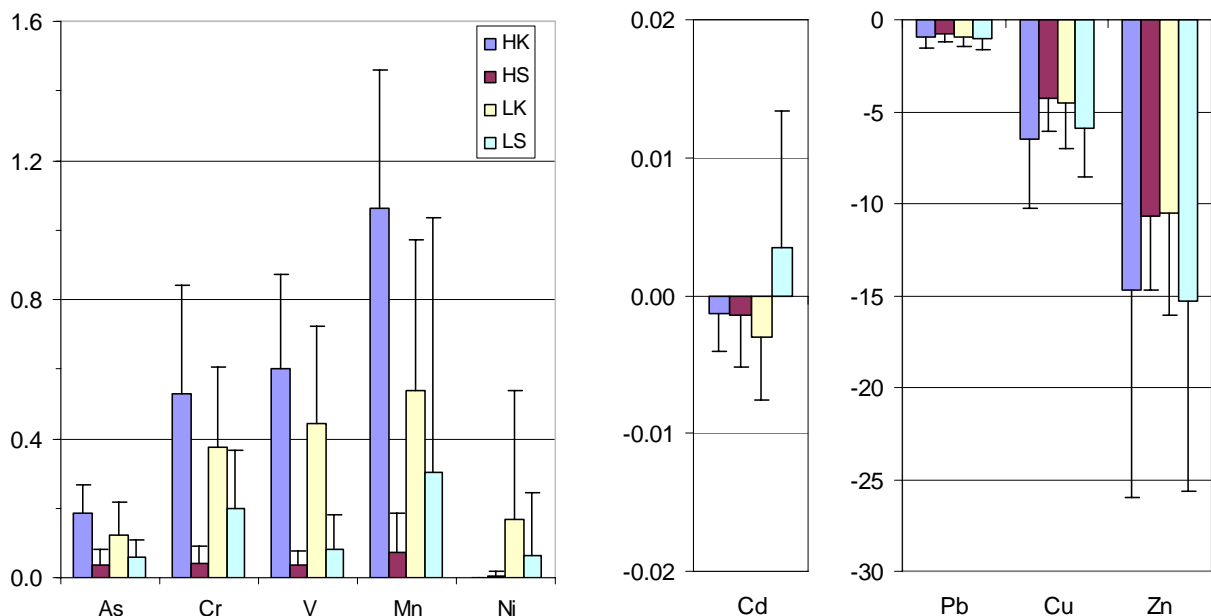
<sup>5</sup>Statistisk mål for variasjonen for hele forsøket. Måleusikkerheten vil være mindre enn dette standardavviket, fordi forventet utlekking vil variere mellom de ulike oppsettene (HK, LK, HS og LS) og tidspunktene.

**Tabell 4. Konsentrasjonsforskjellen ( $C_u - C_{bl}$ ) mellom bokser med ulike betongprodukter og blankboks. Positiv differanse viser utlekking, negativ differanse viser opptak. Uthevete tall viser tilfeller med signifikant opptak eller utlekking (ANOVA, Dunnett's metode, 95% signifikansnivå). H=høyt kaksinnhold. L=lavt kaksinnhold. K=knust betong. S=betongsyndre. Enhet =  $\mu\text{g L}^{-1}$ .**

Behandlin	As	Cr	V	Mn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn
g									
HK	<b>0.14</b>	<b>0.40</b>	<b>0.45</b>	<b>0.80</b>	0.000	-0.0010	<b>-0.73</b>	-4.9	-11.0
HS	0.02	0.04	0.03	0.03	0.003	-0.0019	<b>-0.65</b>	-3.1	-8.4
LK	<b>0.12</b>	<b>0.33</b>	<b>0.41</b>	0.54	0.156	-0.0010	-0.60	-3.7	-7.0
LS	0.04	0.15	0.06	0.23	0.048	0.0026	<b>-0.80</b>	-4.4	-11.5

utlekking målt i tidligere forsøk med forurenset innsjøsediment, og tilsvarende opptak av bly, kopper og sink er ikke tidligere målt i våre forsøk.

Med unntak av opptaket av bly (Pb) og sink (Zn) som økte noe mot slutten av forsøket, var det ingen entydige endringer av fluksene i løpet av forsøket. Gjennomsnittlig fluks for hver enkelt behandling er vist i **Figur 1**.



**Figur 1. Flukser av metaller fra knust (K) og hel (S) betong med høyt (H) og lavt (L) innhold av borekaks. HK=høy, knust. HS=høy, sylindere. LK=lav, knust. LS=lav, sylindere. Søylen viser middelverdi og standardavvik for forsøksperioden. Enhet x-akse =  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ .**

For å vurdere kvaliteten på målingene ble det undersøkt om konsentrasjonen ved utløpet fra hver enkelt boks var vedvarende forskjellig fra konsentrasjonen ved utløpet fra blankboksen. Ved hjelp av statistikkprogrammet Jump, ble det gjennomført en ANOVA (analyses of variance) der konsentrasjonene i hver av de fire behandlingene ble sammenlignet med konsentrasjonene i blankboksen (Dunnett's metode,  $\alpha=0.05$ ). Resultatet av analysen (**Tabell 4**) viste at konsentrasjonene av As, Cr og V i begge behandlingene med knust betong var signifikant høyere enn i blankboksen. I tillegg var konsentrasjonen av Mn signifikant høyere i boksen med knust betong med høyt innhold av kaks. Konsentrasjonen av bly var signifikant lavere i tre av de fire behandlingene sammenlignet med konsentrasjonen i blankboksen.

## 4. Vurdering

Variasjoner i pH, redoks-forhold og saltholdighet vil kunne påvirke utvekslingen av metaller mellom betong og vannmasse. Det må tas forbehold om at forsøket kun er utført i ferskvann mettet med O<sub>2</sub> og med nøytral pH.

I dette forsøket er det ikke med 95% sikkerhet påvist noen utlekking av metaller fra støpte betongsyndre, mens knust betong lekker noe As, Cr, V og Mn til vannet. I motsetning til As og Cr, er det ikke forbundet noen spesiell helserisiko med metallene Mn og V.

Den høyeste målte utlekking av arsen fra betongen i dette forsøket var ca 1/5 sammenlignet med tidligere målt utlekking fra forurensete sedimenter (**Tabell 3**). Utlekking av krom fra knust betong var noe høyere enn utlekking tidligere målt fra ilmenitt-basert kaks. Det er foreløpig få data å sammenligne disse fluksene med og det er vanskelig å vurdere om den målte utlekking av krom skal anses stor eller liten. Ved å sammenligne med grenseverdier for konsentrasjoner i for eksempel drikkevann, er det mulig å gjøre en indirekte vurdering. Drikkevannforskriftene i Norge tillater således 5x mer krom enn arsen, mens målt utlekking fra betongen var typisk 3x større. Siden utlekking av arsen ikke ble vurdert stor sammenlignet med flukser målt fra forurenset og ikke forurenset sediment, er det derfor heller ikke rimelig å anse utlekkingen av krom for å være stor.

Analysene gir ikke grunnlag for å si noe om utlekkingen av krom er dominert av treverdig Cr(III) eller den mer helseskadelige seksverdige formen Cr(VI). Ifølge oppdragsgiver tilsettes vanlig sement jern(II)sulfat slik at Cr(VI) reduseres til Cr(II/III). Cr(II/III) er også dominerende form i ilmenitt.

## 5. Konklusjoner

Forsøk utført i ferskvann mettet med O<sub>2</sub> og med nøytral pH viste utlekking av arsen, krom, vanadium, mangan og nikkel fra knust betong til vann. Sammenlignet med tidligere målt utlekking fra rene og forurensete sedimenter og ilmenittholdig borekaks, ble den målte utlekkingen vurdert som liten. Utlekking av nikkel var ikke statistisk signifikant. Utlekking fra betongsøyler var ubetydelig.

Forsøket viste opptak av bly, kopper og sink. Opptaket av bly var statistisk signifikant. Opptaket av metaller var lite påvirket av om betongen var knust eller i hele søyler. Kadmium viste opptak i tre av fire behandlinger.

Betongen ga en svak økning av pH i vannet.

I forhold til miljø-effekter kan det på grunnlag av resultatene fra dette forsøket forventes at:

- Utsetting av betongsøyler i oksygenholdig, nøytralt ferskvann vil gi en miljø-gevinst ved lite/ingen utlekking av metaller og et betydelig opptak av Pb.
- Selv om eventuell mekanisk erosjon vil gi noe utlekking av arsen, krom og vanadium, er det vår vurdering at dette oppveies av opptaket av bly, kopper og sink. (Forutsatt at knusingen er representativ for naturlig, mekanisk erosjon.)

## Vedlegg A.

### Metallanalyser og pH etter 7 dager.

	pH	As µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	V µg/l	Zn µg/l
Tilførsel	7,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Boks 1	7,42	0.10	<0.005	0.60	2,79	<10	1,60	<0.05	0,073	0,351	1,50
Boks 2	7,53	0.20	<0.005	0.80	3,36	<10	0,81	<0.05	0,200	0,753	2,77
Boks 3	7,43	0.09	<0.005	0.43	2,87	<10	0,22	<0.05	0,069	0,373	1,20
Boks 4	7,51	0.29	<0.005	1.10	2,90	<10	1,30	<0.05	0,097	1,050	1,90
Boks 5	7,41	0.10	<0.005	0.60	2,90	<10	0,20	<0.05	0,051	0,543	1,90
Boks 6	7,46	0.08	<0.005	0.44	2,83	<10	0,23	<0.05	0,061	0,353	1,00
Boks 7	7,37	0.06	<0.005	0.36	8,02	<10	0,07	<0.05	0,663	0,301	7,48

### Metallanalyser etter 28 dager.

	As µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	V µg/l	Zn µg/l
Boks 1	0.10	<0.005	0.47	2,95	<10	0,20	<0.05	0,061	0,356	1,20
Boks 2	0.10	<0.005	0.55	3,97	<10	0,45	<0.05	0,250	0,553	3,55
Boks 3	0.10	<0.005	0.39	2,98	<10	0,10	<0.05	0,063	0,337	1,30
Boks 4	0.20	<0.005	0.60	3,13	<10	0,66	<0.05	0,110	0,717	2,20
Boks 5	0.10	0.02	0.38	2,84	<10	0,46	<0.05	0,090	0,329	2,07
Boks 6	0.08	<0.005	0.38	3,05	<10	0,20	<0.05	0,190	0,325	1,60
Boks 7	0.07	<0.005	0.38	5,27	<10	0,10	<0.05	0,640	0,315	6,34

### Metallanalyser etter 49 dager.

	As µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	V µg/l	Zn µg/l
Boks 1	0.20	0.008	0.48	5,55	<10	0,20	<0.05	0,225	0,391	6,66
Boks 2	0.25	<0.005	0.66	5,11	<10	0,76	<0.05	0,330	0,820	9,86
Boks 3	0.10	<0.005	0.41	5,49	<10	0,20	<0.05	0,234	0,357	7,05
Boks 4	0.20	<0.005	0.74	4,46	<10	0,90	<0.05	0,236	0,700	6,43
Boks 5	0.10	0.009	0.43	4,12	<10	0,20	<0.05	0,143	0,363	4,12
Boks 6	0.10	<0.005	0.45	5,63	<10	0,20	<0.05	0,351	0,342	7,33
Boks 7	0.10	<0.005	0.43	7,99	<10	0,24	<0.05	0,689	0,353	18,00
HT dag 43	0.10	0.010	0.47	16,60	<10	1,00	<0.05	0,310	0,394	43,80
HT dag 49	0.10	0.008	0.45	11,50	<10	0,10	<0.05	0,243	0,410	25,10

Prøve 5,6,7,9 Mn = 40 % usikkerhet p.g.a. høy Mg verdi, Ni = stor usikkerhet p.g.a. høy Ca verdi.

### Metallanalyser etter 70 dager.

	As µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	V µg/l	Zn µg/l
Boks 1	0.20	0.009	0.77	11,80	<10	0,26	<0.05	0,499	0,440	15,6
Boks 2	0.24	0.006	1.00	11,70	<10	0,90	0.65	0,758	0,876	25,6
Boks 3	0.20	<0.005	0.57	15,00	<10	0,42	0.05	0,766	0,427	26,1
Boks 4	0.20	0.006	0.84	8,87	<10	1,10	<0.05	0,559	0,679	15,1
Boks 5	0.10	<0.005	0.84	9,58	<10	0,26	0.41	0,352	0,399	14,5
Boks 6	0.10	<0.005	0.60	15,20	<10	0,25	<0.05	0,950	0,385	26,3
Boks 7	0.10	0.010	0.52	17,60	<10	0,37	<0.05	1,940	0,378	37,9
HT	0.10	0.005	0.53	22,60	<10	0,10	<0.05	3,960	0,371	45,1

Prøve 2,3,5 Ni = stor usikkerhet p.g.a. høy Ca verdi.