NGI Teknisk notat

Til:	Miljødirektoratet
v/	Vanja Alling og Kine Martinsen
Kopi til:	
Dato:	2018-10-03
Rev.nr. / Rev.dato:	1 /2019-03-07
Dokumentnr.:	20180207-01-TN
Prosjekt:	Utlekkingsfare av heksavalent krom i gjenbrukt betong
Prosjektleder:	Cathrine Eckbo
Utarbeidet av:	Cathrine Eckbo
Kontrollert av:	Sarah Hale og Gudny Okkenhaug

Utlekking av treverdig og seksverdig krom fra betong

Innhold

1 Sammendrag 3
2 Executive Summary 4
3 Innledning 5
4 Bakgrunn for problemstillingen 5
4.1 Oppførsel av krom i natur 5
4.2 Norges regelverk om gjenbruk av betong 7
4.3 Regelverk om gjenbruk av betong i andre land 7
4.4 Krom i betong 7
4.5 Hindringer for økt gjenbruk av betong som inneholder seksverdig krom 8
5 Metoder 9
5.1 Ringtest 9
5.2 Labtester 10
6 Resultater 13
6.1 Ringtest 13
6.2 Ristetester 14
6.3 pH-titreringstest 17
7 Vurdering av resultater 18
7.1 Ringtest 18
7.2 Labtester: Innledende ristetest 19
7.3 Labtester: Trinn 1 19
7.4 Labtester: Trinn 2 19
8 Supplerende tester utført høsten 2018 20
8.1 Metode 20
8.2 Resultater 22
8.3 Vurdering av resultater 23
9 NGIs videreformidling av resultatene 25

10 Videre arbeider **25**
11 Litteratur **27**

Vedlegg

Vedlegg A	NGI-notat 20180060-01-TN Ringtest kjemisk analyse av krom i betong
Vedlegg B	Analyserapporter totalanalyser
Vedlegg C	Analyserapporter innledende ristetest
Vedlegg D	Analyserapport ristetest
Vedlegg E	Analyserapport supplerende tester

Kontroll- og referanseside

1 Sammendrag

Norges Geotekniske Institutt (NGI) har på oppdrag fra Miljødirektoratet sett på utlekkingsfare av heksavalent krom fra betong for å se hvor tilgjengelig seksverdig krom vil være ved gjenbruk. Det ble gjennomført i) en litteraturstudie for å hente inn informasjon om eksisterende data, ii) ristetester av ny og forurenset betong i ulik fraksjon blandet med organisk jord og sand for å se effekten av organisk materiale på utlekking av krom, iii) pH-titrering for å se effekten av pH på spesieringen av krom samt iiii) statisk ristetest for å se på effekten av DOC på utlekkingen av krom. Det ble også gjennomført en ringtest med to kjemiske laboratorier for å se om resultatene fra samme analytiske metode for bestemmelse av seksverdig krom i betong varierer mellom ulike laboratorier.

Resultatene fra ristetestene viste at det er lav utlekking av krom fra ny betong, og at det som lekker foreligger som treverdig krom. Den forurensede betongen har utlekking av krom, og alt dette krommet foreligger som seksverdig krom. Det er høyere utlekking fra fin fraksjon enn fra grov fraksjon. Testene viste at organisk materiale reduserte utlekkingen av krom fra den forurensede betongen med opp til 99,9 %. Det organisk jord reduserte pH i utlekkingsvannet fra 12 til 6. Mineralsk materiale med lavt organisk innhold hadde ingen påvirkning på pH i utlekkingsvannet eller utlekkingen av krom fra betongen.

Ringtesten mellom de to kjemiske laboratoriene viste at det er variasjon i rapporterte resultater på innhold av seksverdig krom i betong mellom laboratoriene. Den viste også at det kan være variasjon i rapporterte resultater ved bruk av ulike metoder. Prøver fra samme betongkonstruksjon kan ha svært ulikt innhold som kan gi store variasjoner i analyseresultatene, noe som gjenspeiler dagens problemstilling ved prøvetaking og analyse av betong. Det anbefales å gå dypere inn i de analytiske utfordringene for analyse av seksverdig krom i betong og finne en prøvetakings-, opparbeidings- og analysemetode som gir mest mulig konkrete resultater.

I dag er det ofte overskridelser av grenseverdien på 2 mg/kg seksverdig krom i betong ved analyse for mulig gjenbruk. Da dette hindrer gjenbruk av store mengder betong er det viktig å vurdere denne verdien opp imot human helse og økologisk risiko for å komme opp med et forslag som beskytter helse og miljø, men også tillater økt gjenbruk.

I denne revisjonen er det inkludert resultater fra supplerende tester som ble gjort for å identifisere om det er sorpsjon eller reduksjon som er hovedmekanismen som reduserer utlekkingen av seksverdig krom fra betong. Det ble gjennomført en statisk ristetest med utlekkingsvann fra betong blandet med ulik andel vann med høyt innhold av løst organisk materiale (DOC). Resultatene viste at uten sorpsjonsfasen var det fortsatt en stor andel krom i betongvannet som forelå som seksverdig. pH var relativt konstant og virket ikke å ha noen nevneverdig påvirkning på utlekkingen av krom. Det er derfor mest sannsynlig at det er sorpsjon som er den dominerende faktoren for reduksjonen av seksverdig krom i utlekkingsvann fra betong blandet med organisk materiale (torv).

2 Executive Summary

The Norwegian Geotechnical Institute (NGI) has, on behalf of the Norwegian Environment Agency investigated leaching of hexavalent chromium from concrete in order to assess how this leaching may impact the reuse of concrete. The project comprised: i) a literature review to identify existing information related to the topic; ii) batch shake tests of new and contaminated concrete crushed to different size fractions and mixed with organic soil and sand to decipher the effect of organic matter on chromium leaching; iii) pH titration to investigate the effect of pH on the speciation of chromium; and iiii) a static shake test to look at the effect of DOC on the leaching of chromium. A ring test with two commercial chemical laboratories was also carried out to see whether analytical results vary between laboratories and methods when determining the total concentration of hexavalent chromium in concrete.

The results from the shake tests showed very little leaching of chromium from new concrete and the small amount leach out is in trivalent state. Contaminated concrete had much higher leaching and everything leached was hexavalent chromium. Leaching was greater for the smaller particle size than the larger particle size of the concrete. The tests showed that mixing the contaminated concrete with organic matter reduced the leaching of chromium by up to 99.9%. The organic matter also reduced pH of the leachate water from 12 to 6. Mineral material with low organic content had no effect on the amount of chromium that was leached from the concrete or the pH of the leachate water.

The ring test showed that there can be large variations in the total concentration of hexavalent chromium in concrete depending on the laboratory carrying out the analysis. Results supported that there can be variation in results when different methods are used and highlight the current problem of carrying out representative sampling and analysis of concrete. To investigate this further, emphasis should be placed on the analytical challenges to determine concentrations of hexavalent chromium in concrete, as well as identifying the most optimal sampling, processing and analysis method.

The limit value for hexavalent chromium in concrete for reuse is set at 2 mg/kg today. This value is often exceeded, and prevents the reuse of large amounts of concrete which instead is sent to landfill. To properly assess whether this limit value is protective, human health and ecological risk should be considered and weighed up against desired increase reuse of concrete.

In this revision, results from additional tests has been included to identify if sorption or reduction is the main mechanism reducing leakage of hexavalent chromium from concrete. A static shake test was carried out mixing concrete leachate with water with high content of dissolved organic material (DOC). Results showed that with no sorption most of the chromium in the concrete water was in the hexavalent form. The pH did not have much effect on the chromium leaching. Based on these results, sorption is most likely the dominant factor reducing the hexavalent chromium leaching from concrete mixed with organic soil.

3 Innledning

Norges geotekniske institutt (NGI) har på oppdrag fra Miljødirektoratet sett på utlekkingsfare av heksavalent krom fra betong i realistiske gjenbruksscenarioer for å se hvor tilgjengelig seksverdig krom vil være ved gjenbruk. Prosjektet inkluderte:

- Litteraturstudie for å hente inn informasjon om eksisterende data, finne ut hva slags tester som er gjort samt å finne ut hvor det kreves mer data
- Laboratorieprogram der det ble gjennomført ristetester av betong i ulik fraksjon blandet med organisk jord og sand for å se effekten av organisk materiale på utlekking av krom.
- pH titrering med syre for å se på krom-spesieringen ved ulik pH.
- Ringtest organisert av NGI og utført av ALS og Eurofins på faststoffanalyse av seksverdig krom i betong.
- Statisk ristetest for å se på effekten av DOC på utlekking av krom fra betong

Denne rapporten inneholder resultatene fra de tre første delene av prosjektet, samt en oppsummering av de viktigste resultatene fra ringtesten. Ringtesten er rapportert i sin helhet i separat rapport og vedlagt i vedlegg A.

4 Bakgrunn for problemstillingen

Det ble utført en litteraturstudie som del en av prosjektet som hadde følgende mål:

- Hente inn informasjon fra vitenskapelige kilder om hvordan krom oppfører seg i naturen.
- Bli kjent med regelverket i Norge om gjenbruk av betong som inneholder seksverdig krom.
- Sammenligne regelverket om gjenbruk av betong med innhold av seksverdig krom i Norge med regelverk i andre land.
- Finne ut konsentrasjoner av krom i betong og hvordan denne endrer seg over tid.
- Identifisere hindringer for økt gjenbruk av betong som inneholder seksverdig krom.

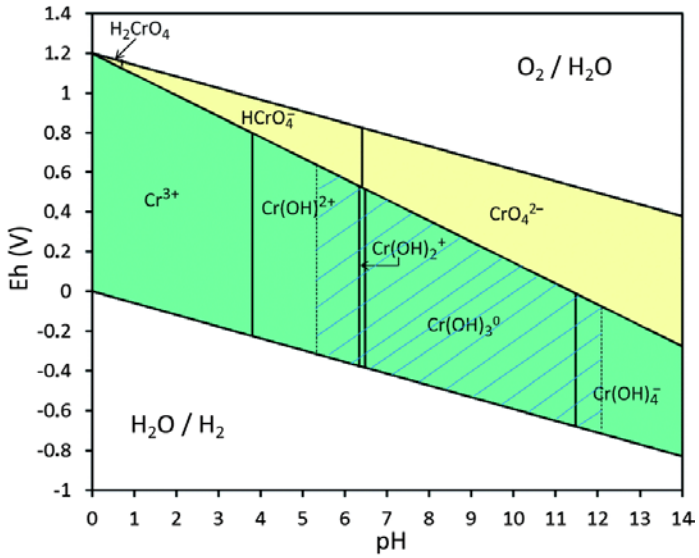
4.1 Oppførsel av krom i natur

Krom (Cr) kan forekomme i to ulike oksideringsformer i miljøet, som Cr(III) eller Cr(VI). Seksverdig krom er skadelig for både helse og miljø og forekommer under oksiderende forhold der pH er høy (Figur 1). Dessverre er det lite kunnskap om spredningsprosesser av utlekket seksverdig krom fra betong og hvordan den opptrer i naturen. Krom finnes naturlig i jord i konsentrasjoner mellom 10-150 mg/kg (Xiao, 2012). Treverdig krom er et viktig sporelement i pattedyr, men er lite biotilgjengelig da den har

veldig lav vannløselighet. Seksverdig krom er meget vannløselig og finnes hovedsakelig som oksyanionene CrO_4^{2-} (kromat), $HCrO_4^-$ (hydrogenkromat) og $Cr_2O_7^{2-}$ (dikromat). Den har flere negative helseeffekter og er klassifisert som kreftfremkallende og allergifremkallende. I tillegg kan vannløselig krom forårsake etseskader ved kontakt med hud. Enkelte forbindelser kan også være arvestoffskadelige og reproduksjonsskadelige.

Skjebnen til krom i miljøet påvirkes av flere forskjellige reaksjoner som utfelling, sorpsjon og kompleksering, som alle kan påvirke mobiliteten av tilgjengeligheten til seksverdig krom (Butera et al. 2015). Reduksjon til treverdig krom er en effektiv måte å binde krom i jorda på. Selve redoksreaksjonen er avhengig av ulike jordegenskaper som organisk materiale, pH og konsentrasjonen av jern (Fe^{2+}), sulfider og lett reduserende mangan i jorda (Xiao 2012, Pantsar-Kallio, 2001). Forskning har vist at økt innhold av lett reduserende mangan i jorda øker oksideringen av treverdig krom til seksverdig krom (Xiao, 2012, Pantsar-Kallio, 2001). Mangan og oksygen er de eneste agentene som kan oksidere treverdig krom. Jernoksider har vist seg å være positivt korrelert med reduksjon av selsverdig krom, da de ofte opptrer som elektrondonorer og slipper Fe^{2+} i nærheten av organiske ligander. Fe^{2+} reduserer da seksverdig krom til treverdig krom. pH spiller en viktig rolle i oppførselen til krom i miljøet ved å blant annet øke adsorpsjon av $HCrO_4^-$ eller øke elektronbytte raten for adsorbert $HCrO_4^-$ relativt til adsorbert CrO_4^{2-}. Reduksjon av seksverdig krom til treverdig øker også med lavere pH grunnet økt protonering av seksverdig krom (Xiao, 2012). Tester gjort på korrelasjonen mellom løst organisk materiale (dissolved organic matter, DOM) og seksverdig krom har vist en signifikant positiv korrelasjon mellom reduksjon av seksverdig krom og innhold av DOM (Xiao, 2012).

Figur 1 viser spesiering av krom som viser at krom hovedsakelig foreligger som seksverdig ved høy pH og oksiderende forhold.



Figur 1: Eh/pH-diagram for krom

4.2 Norges regelverk om gjenbruk av betong

EUs handlingsplan for sirkulær økonomi oppgir et mål om 70% materialgjenvinning av BA-avfall innen 2020. Ved riving og rehabilitering av byggmasser produseres store mengder tunge rivemasser som for eksempel betong. Betong- og teglavfall utgjør 22% av BA-avfallet levert til deponi i Norge i dag (SSB, 2017), og det er ønskelig å kunne gjenbruke mest mulig av disse massene dersom det er miljømessig forsvarlig. De siste årene har det blitt mer fokus på å analysere for heksavalent krom (Cr(VI)) i betong, da dette er anbefalt av Miljødirektoratet i faktaarket om disponering av betong- og teglavfall (M-14, 2013). I faktaarket og i forslag til nytt kapittel i avfallsforskriften om betong- og teglavfall (2013/5028), settes normverdi på 2 mg/kg som grenseverdi for gjenbruk.

4.3 Regelverk om gjenbruk av betong i andre land

For å kunne sammenligne grenseverdien for gjenbruk i Norge er det hensiktsmessig å gjøre en nøye gjennomgang av grenseverdien for gjenbruk av betong i andre land i Europa som også følger målet om 70 % materialgjenvinning av BA-avfall innen 2020. Det er ulike måter å håndtere problematikken på i ulike land. Sverige har blant annet vurdert at andelen seksverdig krom ikke skal overskride 1 % av det totale krominnholdet i avfallet. Om den gjør det, må det gjennomføres en risikovurdering (Naturvårdsverket, 2010) Dette bør være en del av arbeidet når dagens grenseverdi for seksverdig krom i betong for gjenbruk skal vurderes. Arbeidet anses som noe omfattende da det ligger lite informasjon tilgjengelig om grenseverdier for gjenbruk av betong.

4.4 Krom i betong

Krom foreligger naturlig i både sement og tilslagsstoffer i betongen. En Sintef rapport fra 2000 om utlekking av tungmetaller fra sement viste krom innhold i kalkstein på 60 mg/kg krom (SINTEF, 2000). Seksverdig krom i sement foreligger som kromtrioksid, ammoniumdikromat, natriumdikromat, sinkkromat, kalsiumkromat, blykromat, bariumkromat og trontiumkromat. De er sterke oksiderende midler og svært ustabile. Avhengig av ulike faktorer foreligger dette kromet som treverdig eller seksverdig.

Sement består av 90% kalkstein og 10% sand og leire. Råmaterialet blir knust og tilsatt ulike tilsetninger som bauxitt, kvarts og kisavbrann, før råmelet går inn i en rotérovn som danner sementklinker. Temperaturen i rotérovnen er 1450 ºC og det er her mye av det treverdige kromet i råmaterialet blir oksidert til seksverdig krom. NGI har analysert sementklinker fra Norcem for innhold av krom som viste et innhold på 46 mg/kg seksverdig krom (se vedlegg B for analyserapport). Det er per i dag ikke lov å selge sement med konsentrasjoner høyere enn 2 ppm vannløselig seksverdig krom grunnet fare for etseskader på huden (regulert under REACH Annex XVII Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, Regulation (EC) No 1907/2006). For å redusere innholdet av seksverdig krom tilsettes et reduksjonsmiddel, ofte jernsulfat, for

å overholde kravet. Det er lovpålagt å opplyse på emballasjen til sementen holdbarheten til dette reduksjonsmiddelet.

Det er gjort feltforsøk på bruk av knust betong som bærelag i ny vei i Norge (Engelsen, 2011, 2012, 2017). Forsøkene viste blant annet at betongens pH synker gradvis over tid grunnet karbonatisering som igjen kan påvirke avrenningskjemien til betongen. Ytre påvirkning som grunnvann og nedbør vil også påvirke avrenningen fra betongen grunnet påvirkning på pH, bufferkapasitet og vannkontakt. Engelsen, 2012 rapporterte om høy pH i porevannet som hadde vært i kontakt med betong, samt registrerte konsentrasjoner av krom på µg/l-nivå i utlekkingsvannet.

4.5 Hindringer for økt gjenbruk av betong som inneholder seksverdig krom

4.5.1 Manglende markedsaksept

Et mulig gjenbruksområde for betongavfall er bruk av knust betong som bærelag i vei. Dessverre er aksepten for denne typen bruk av betongavfall lav i markedet. Hovedgrunnen til dette er variasjoner i de fysiokjemiske egenskapene (tetthet, kornstørrelse, sementinnhold, utlekking osv.) og de mekaniske egenskapene (bæreevne, slitasje, motstand osv.) grunnet variasjon i kildematerialet, manglende tilgang på materialet og stor tilgang på jomfruelig materiale med god kvalitet. Det har også vist seg at i mange tilfeller er det dyrere å gjenbruke materialer i konstruksjoner enn å anskaffe nye materialer.

4.5.2 Overskridelse av normverdien

Det har i de siste årene blitt mer fokus på å analysere for seksverdig krom i betong, da dette er anbefalt av Miljødirektoratet i faktaarket om disponering av betong- og teglavfall (M-14, 2013). I faktaarket settes normverdi på 2 mg/kg som grenseverdi for gjenbruk. Normverdien har vist seg å ofte bli overskredet ved analyse, noe som fører til redusert gjenbruk av betongen. Ofte er også dette det eneste hinderet for nyttiggjøring iht. faktaark M-14. Per i dag er det mye usikkerhet og skepsis i markedet til grenseverdien i og med at den fører til store kostnader da betong må leveres til mottak istedenfor å nyttiggjøres, samtidig som man ikke vet om grenseverdien er reell for de materialene som håndtereres.

4.5.3 Uklarhet i analysemetoden for krom i betong

Analyse av seksverdig krom i betong er en utfordring. Tester har vist at ulike standarder for analyse av seksverdig krom i betong gir ulike svar. Dette kan resultere i at hvilken betong som gjenbrukes og hvilken som deponeres er noe tilfeldig og avhengig av prøvetakings- og analysemetode.

Den prefererte analysemetoden for analyse av seksverdig krom i betong er standarden ISO EN 15192. Denne metoden ble valgt på bakgrunn av samtaler med ulike analyselaboratorier som mente at denne metoden er mer oversiktlig og detaljert en øvrige metoder. Metoden gir også en god instruksjon på opparbeiding av prøvemateriale som er viktig for å minimere variasjon i analyseresultater.

Den internasjonale standarden ISO EN 15192 spesifiserer en metode for å bestemme seksverdig krom i fast avfallsmateriale og jord ved bruk av baseoppslutning og ionekromatografi med spektrofotometrisk deteksjon. Standarden er utviklet for å unngå omdannelse av treverdig og seksverdig krom under prøvepreparering og analyse. Metoden REFLAB 2000 er en annen metode som ofte har blitt brukt på analyse av seksverdig krom i betong. Dette er en metode som analyserer vannløselig seksverdig krom. Denne har vist seg å gi betydelig lavere konsentrasjon av seksverdig krom en ISO EN 15192.

5 Metoder

5.1 Ringtest

NGI har i samarbeid med miljødirektoratet samt to uavhengige laboratorier (Eurofins og ALS), gjennomført en ringtest for å se på analyse av seksverdig krom i betong og mulig variasjon i analyseresultater fra ulike laboratorier grunnet ulik metodebruk. Selve ideen for ringtesten ble skapt på oppstartsmøte for vurdering av utlekking av seksverdig krom fra betong hos Miljødirektoratet, der flere kjemiske laboratorier var tilstede. NGI sa seg villig til å ta på seg koordineringsarbeidet for ringtesten. Resultatene er rapportert i NGI-notat 20180060-01-TN datert 14. mars 2018 og er også vedlagt i vedlegg A.

Det ble sendt to prøver av samme materiale til hvert av laboratoriene. En av prøvene var ferdig knust og opparbeidet av NGI. Den andre prøven var en betongmonolitt som laboratoriene skulle opparbeide selv. Disse to prøvene ble valgt for å se hvorvidt prøveopparbeiding kan påvirke resultatene fra analysen. Betongprøven som ble opparbeidet ved NGI ble kjørt igjennom en kjeftknuser og en kulemølle og deretter siktet for å få ønsket kornstørrelse på 0,25 mm. Prøvematerialet ble blandet godt og delt inn i to prøver på 200 g. Monolitten ble delt i to like store biter ved hjelp av en steinsag. Figur 2 viser et tverrsnitt av betongmonolitten.

Figur 2: Tverrsnitt av betongmonolitten som ble sendt inn til laboratoriene for analyse av seksverdig krom

5.2 Labtester

Målsetningen med labtestene var å se på:

- Utlekking av krom fra ny og gammel betong i en reell gjenbrukssituasjon.
- Forskjellen i utlekking av krom fra ny og gammel betong.
- Forskjellen i utlekking av krom fra betong i ulik fraksjonsstørrelse.
- Hvordan innhold av organisk materiale påvirker utlekkingen av krom.

Dette ble utforsket ved bruk av ristetester i to ulike faser samt pH titering:

- Innledende ristetest for å se på endringer i forholdet mellom treverdig og seksverdig krom i utlekkingsvannet over tid.
- Ristetest trinn 1: det ble gjennomført en ristetest av kun betong blandet med deionisert vann. Dette ble gjort for å simulere utvasking fra selve betongen uten påvirkning av iblandet materiale.

- Ristetest trinn 2: utlekkingsvannet fra betongen ble blandet med organisk jord eller sand for å se hvordan organisk materiale påvirker utlekkingen av seksverdig krom.
- pH-titrering med tilsetting av syre i utlekkingsvann for å se på kromspesieringen ved ulik pH. Prøver skulle bli tatt ut ved pH 11, 10, 9 og 8 for å gjenspeile redusert pH som følge av kontakt med naturlig materiale. Disse pH-verdiene ble valgt da betong i utgangspunktet har høy pH (ofte mellom 11-13). Det var dessverre ikke mulig å ta ut alle disse prøvene, grunnet vanskeligheter med å titrere løsningen.

Det ble brukt to typer betong i ristetesten, der en var forurenset og en var nylig støpt. Den forurensede prøven er betong fra Rjukan i Tinn kommune i Telemark. Betongen er anslått til å være fra mellom 1928-1950-tallet. Betongen ble analysert for innhold av seksverdig krom med analysemetoden REFLAB 2000. Denne metoden ble brukt da det på analysetidspunktet ikke var klart at det var så stor forskjell mellom analysemetoder. NGI kjørte reanalyse av betongen med analysemetoden ISO EN15192 slik at analysen ble gjort på riktig måte. Den rene/nye betongen ble støpt av Norcem i februar 2018. Betongen ble analysert for innhold av seksverdig krom med analysemetoden ISO EN15192. Det ble også analysert for krom-innhold i sementklinker, som er materialet som kommer ut av rotérovnen i sementproduksjonen. Resultatene fra faststoffanalysene er presentert i Tabell 1.

Tabell 1: Faststoffanalyser av betongprøver og sementklinker

Prøve	Krom-total (mg/kg)	Cr(III) (mg/kg)	CR(VI) (mg/kg)	Metode
Betong ny M60	22	20	1,7	ISO EN15192
Betong forurenset	53	46	7,3	REFLAB 2000
Betong forurenset	63	25	38	ISO EN15192
Sementklinker	98	52	46	ISO EN15192

Det ble utført en innledende ristetest med den forurensede betongen for å se på forholdet mellom utlekket treverdig og seksverdig krom fra betongen over tid og for å vurdere hvor lenge ristetestene i hovedforsøket skulle vare. Betongen ble knust til ≤ 2 mm og blandet med sand med lavt organisk innhold (1,6 % TOC). Blandingsforholdet var 80/20 mellom betong og sand og ristetesten ble utført med L/S = 10 i en periode på 24, 96 og 168 timer. Det ble tatt ut prøve ved hvert av disse tidspunktene. Prøvene stod urørt på benken i laboratoriet i 24 timer for partikkelsedimentering før filtrering med 0,45 µm filter. Prøvene som skulle analyseres for seksverdig krom ble tilsatt konserveringsmiddel ($(NH_4)2SO_2$ + NH_4OH) før analyse som er standard metoden brukt av ALS.

Hovedristetesten ble gjort i to trinn (Tabell 2) for å simulere en reel gjenbrukssituasjon. I denne situasjonen er det sannsynlig at betongen og andre fyllmasser vil ligge lagdelt med betongen i øvre lag og et lag med fyllmasser under. Laget med fyllmasser vil påvirke utlekkingen som kommer fra betongen før det eventuelt når grunnvann.

Betongen ble knust til to ulike fraksjoner, 4mm og 40 mm ved bruk av kjeftknuser. Minste fraksjonen ble valgt da 4 mm er standard størrelsen for bruk i utlekkingstester. Største fraksjon ble valgt for å illustrere at ved gjenbruk vil det mest sannsynlig være høyere fraksjoner med kornstørrelse større enn 4 mm. Den nye betongen ble kun testet i minste fraksjon (4 mm) da ulik fraksjonsstørrelse ikke ville ha betydning for sammenligning mellom krom-utlekking fra gammel og ny betong.

Ristetest i trinn 2 ble utført med triplikater med unntak av ny betong der det ikke var nok analysemateriale til tre prøver. Ristetestene ble utført i henhold til standard NS-EN-12457/1-3 med L/S = 10 med risting i syv dager og 1 dag for henholdsvis trinn 1og 2 av ristetesten. Temperaturen i rommet var standard romtemperatur mellom 20-25 ºC. Flaskene var ikke dekket til, slik at de ble eksponert for lys under forsøket, men lys er ikke ansett å påvirke resultatene.

Etter risting, ble prøvene filtrert med 0,45 µm filter i en høytrykks filteroppsats før analyse. Alle prøver ble analysert for treverdig og seksverdig krom av det akkrediterte analyselaboratoriet ALS laboratory Group Norway AS. Prøvene som skulle analyseres for seksverdig krom ble tilsatt konserveringsmiddel ($(NH_4)2SO_2$ + NH_4OH) før analyse som er standard metoden brukt av ALS.

Resultatene fra ristetestene ble rapportert i µg/l og ble regnet om til mg/kg for å lettere kunne sammenligne med dagens grenseverdi for gjenbruk av betong. Utregningen er vist under:

Formelen for omregning fra µg/l til mg/kg er da:

$$\mu g/l * 0{,}001 = mg/l = mg/kg$$

Siden L/S forholdet i ristetesten var 10 så gjelder følgende:

$$mg/kg_{L/S10} * 10 = mg/kg_{betong}$$

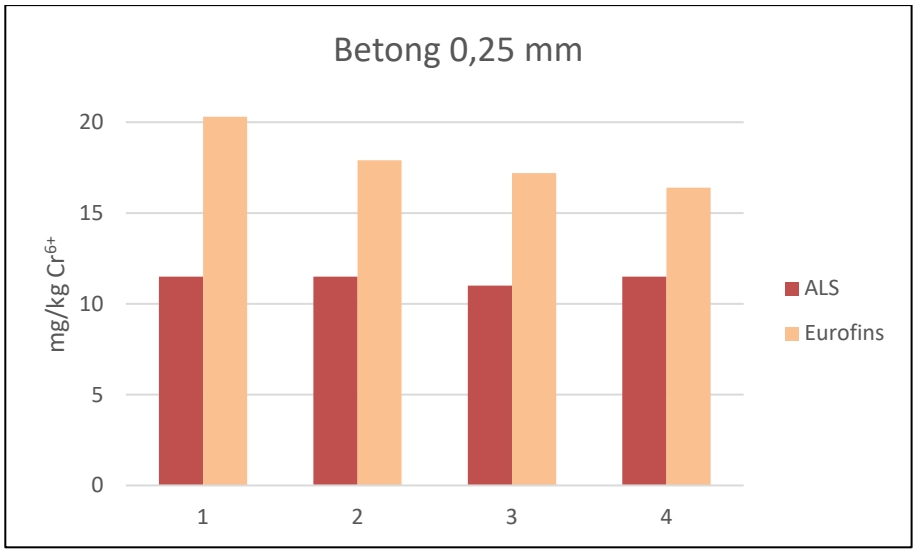
Tabell 2: Ristetest oversikt

Prøve	Betongtype	Størrelsesfraksjon	Blanding
Trinn 1			
F4	Forurenset	4 mm	Betong/vann
F40	Forurenset	40 mm	Betong/vann
R4	Ny	4 mm	Betong/vann
Trinn 2			
F4-O	Forurenset	4 mm	Betongvann/organisk jord
F4-S	Forurenset	4 mm	Betongvann/sand
F40-O	Forurenset	40 mm	Betongvann/organisk jord
F40-S	Forurenset	40 mm	Betongvann/sand
R4-O	Ny	4 mm	Betongvann/organisk jord
R4-S	Ny	4 mm	Betongvann/sand

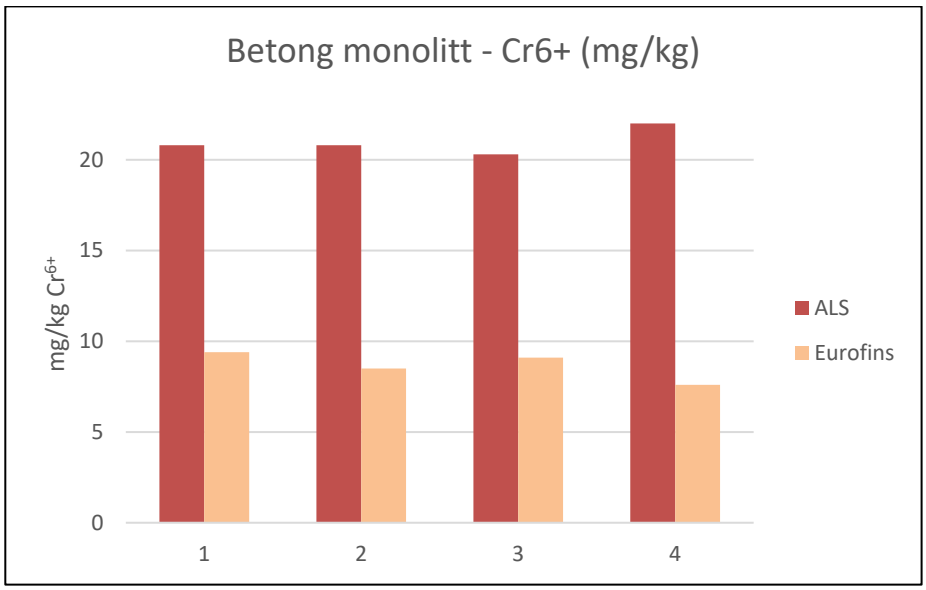
6 Resultater

6.1 Ringtest

Figur 3 og Figur 4 viser en grafisk sammenstilling av resultatene fra ALS og Eurofins for henholdsvis betong 0,25 mm opparbeidet av NGI og betong monolitt. For betongen opparbeidet av NGI på 0,25 mm er resultatene fra Eurofins høyere enn resultatene fra ALS. For betongmonolitten er resultatene fra ALS høyere enn resultatene fra Eurofins.



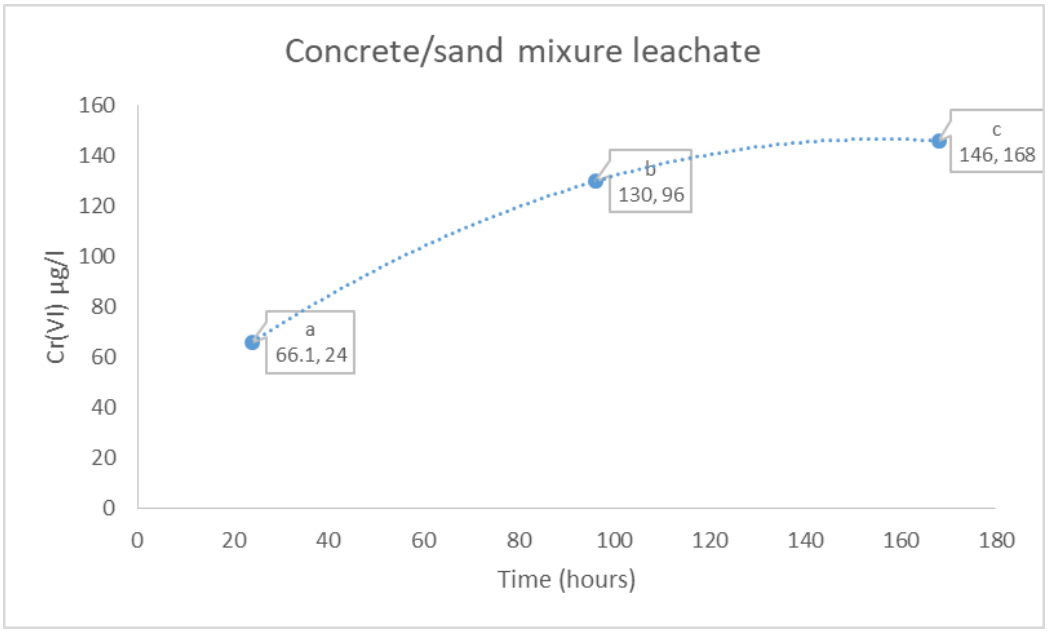
Figur 3: Analysert konsentrasjon av seksverdig krom (Cr^{6+}) i betongprøver fra ALS og Eurofins i fraksjon 0,25 mm opparbeidet av NGI.



Figur 4: Analysert konsentrasjon av seksverdig krom (Cr^{6+}) i betongprøver fra ALS og Eurofins i betongmonolitt sendt fra NGI.

6.2 Ristetester

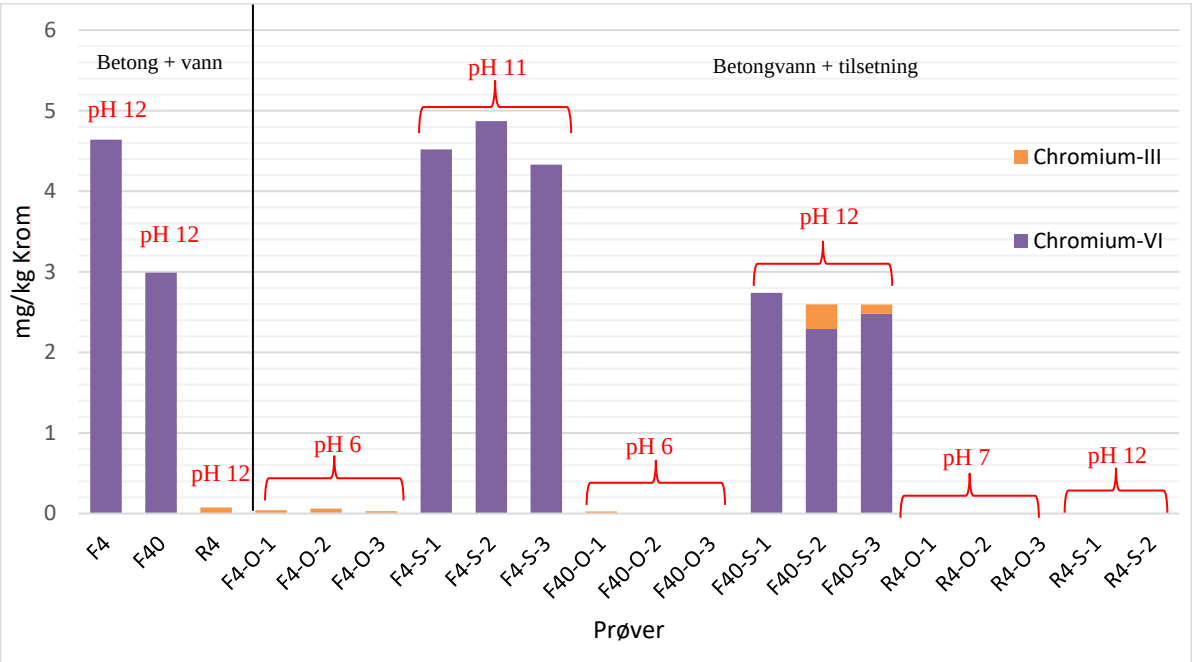
Resultatene fra den innledende ristetesten er presentert i figur 5. Resultatene viste at betongen har utlekking av krom, og alt dette krommet foreligger som seksverdig krom. Alle prøvene hadde høy pH på rundt 12 selv blandet med sand. Utlekkingen av seksverdig krom økte med tid. På bakgrunn av resultatene fra den innledende testen ble det bestemt at trinn 1 av hoved ristetesten skulle gå over syv dager, da utlekkingen fortsatt var høy ved dette tidspunktet.



Figur 5: Konsentrasjon av seksverdig krom i utlekkingsvann fra forurenset betong blandet med sand over tid. Prøvene ble tatt ved t = a) 24 timer, b) 96 timer og c) 168 timer

Resultatene for hoved ristetestene er presentert i Figur 6. Resultatene er regnet om til mg/kg for å lettere kunne sammenligne med dagens normverdi på 2 mg/kg. Resultatene fra trinn 1 (til vestre i grafen) viser at det er svært lite utlekking av krom fra den nye betongen støpt av Norcem og at det som lekker foreligger som treverdig krom (0,076 mg/kg). Den forurensede betongen har utlekking av krom, og alt dette krommet foreligger som seksverdig krom. Det er høyere utlekking fra den finere fraksjonen (4,6 mg/kg) enn fra den grovere fraksjonen (3,0 mg/kg). Utlekkingen fra begge fraksjoner overskrider dagens normverdi for seksverdig krom.

Resultatene fra trinn 2 (til høyere i grafen) viser at organisk materiale reduserer utlekkingen av krom fra forurenset betong med opp til 99,9 % (organisk jord med 25 % TOC). Materiale med lavt organisk innhold (sand med 1,6 % TOC) har ingen påvirkning på utlekkingen av krom fra betongen. pH-målinger viser at betong fra utlekkingstesten i trinn 1 har høy pH (12). I trinn 2 reduserer organisk materiale pH fra 12 til 6/7. Sand har ingen påvirkning på pH i utlekkingsvannet.



Figur 6: Resultater fra utlekkingstester. Tegnforklaring: F = betongvann fra forurenset betong, R = betongvann fra ny betong, 4 = 4 mm, 40 = 40 mm, O = organisk, S = sand, 1-3 = replikater.

Tabell 3 viser en oversikt over analyseresultatene fra ristetesten samt prosentvis reduksjon i seksverdig krom ved innblanding av organisk eller mineralsk materiale.

Tabell 3: Analyseresultater fra ristetesten samt prosentvis reduksjon i seksverdig krom ved innblanding av organisk eller mineralsk materiale

Prøve	Krom 6 (mg/kg)	Krom 3 (mg/kg)	Prosent reduksjon i utlekking av seksverdig krom
F4	4,6	<0,02	N/A
F40	3	<0,02	N/A
R4	<0,04	0,076	N/A
F4-O-1	<0,004	0,042	99,9
F4-O-2	0,011	0,05	99,8
F4-O-3	<0,004	0,03	99,9
F40-O-1	<0,004	0,025	99,9
F40-O-2	0,0053	<0,02	99,8
F40-O-3	0,0066	<0,02	99,9
F4-S-1	4,5	<0,02	1,7
F4-S-2	4,9	<0,02	-5,9
F4-S-3	4,3	<0,02	5,9
F40-S-1	2,7	<0,02	8,7
F40-S-2	2,3	0,31	23,7
F40-S-3	2,5	0,12	17,3
R4-O-1	<0,004	<0,02	90,0
R4-O-2	0,0043	<0,02	89,3
R4-O-3	<0,004	<0,02	90,0
R4-S-1	<0,004	<0,02	90,0
R4-S-2	<0,004	<0,02	90,0

N/A – ingen reduksjon i utlekking. Et negativt tatt indikerer økt utlekking som kan sannsynligvis forklares analyseusikkerhet.

6.3 pH-titreringstest

For å se på effekten av endring i pH på utlekking av krom ble det gjennomført pH-titrering der syre ble tilsatt utlekkingsvannet fra forurenset betong (4 mm fraksjon) fra trinn 1. Det ble forsøkt å ta ut prøver ved pH 11, 10, 9 og 8 for å gjenspeile redusert pH som følge av kontakt med naturlig materiale. Dessverre var det kun mulig å ta ut prøve ved pH 9,8 og 8,3 grunnet vanskeligheter med å titrere løsningen uten at pH ble for lav. Tabell 4 viser oversikt over resultatene fra titreringen.

Tabell 4: Titreringsforsøk pH på utlekking fra forurenset betong

Prøve	Tilsatt HCl syre (ml)	pH ved måletidspunkt + 24 t	Krom 3 (mg/kg)	Krom 6 (mg/kg)
Utlekking betong 4mm start pH 10,6	5,7	9,8	<0,02	4,7
Utlekking betong 4mm start pH 8,8	5	8,3	<0,02	4,2

Resultatene viser at pH reduseres noe ved tilsetning av syre, men bufferkapasiteten hindrer stor reduksjon. Ved tilsetning av mer enn 5,7 ml HCl så sank pH til mellom 2-3. Konsentrasjonen av seksverdig krom er stabil på 4,7 og 4,2 mg/kg som er lik konsentrasjonen av seksverdig krom i betongvannet før tilsetning av syre.

Jung et al. 2014 utført en studie på utlekking av seksverdig krom fra betong som var eksponert for væske med ulik pH. Resultatene viste at en økning i HCl økte konsentrasjonen av utlekket seksverdig krom til HCl-konsentrasjonen nådde 2 mg/L. Verdiene av rangerte fra 172 – 318 mg/kg, noe som var omtrent 10-20 ganger høyere enn vannløselig seksverdig krom. Videre tilsetning av saltsyre resulterte i en dramatisk reduksjon i konsentrasjonen av seksverdig krom.

7 Vurdering av resultater

7.1 Ringtest

Ringtesten viser at det er liten variasjon i replikatene til de to laboratoriene, men at det er variasjon i resultatene mellom laboratoriene.

Det kan være variasjon i resultatene ved bruk av ulike metoder. Betong fra samme konstruksjon ble analysert til å ha en konsentrasjon på 0,71 mg/kg seksverdig krom ved bruk av metoden MST REFLAB 2000, noe som er ti ganger så lavt som den laveste konsentrasjonen målt med metoden ISO EN15192. Per i dag er det ingen restriksjoner eller føringer fra miljømyndighetene på bruk av metode for analyse av seksverdig krom i betong.

Det er viktig å merke seg at for betongmonolitten kan det være store variasjoner i innhold av sement og tilslag. Dette vil også kunne påvirke resultatet på analysen. Dette gjenspeiler dagens problemstilling ved prøvetaking og analyse av betong. Prøver fra samme betongkonstruksjon kan ha svært ulikt innhold som kan gi store variasjoner i analyseresultatene

7.2 Labtester: Innledende ristetest

Testen viste at all utlekket krom fra betongen forelå som seksverdig krom og at utlekkingen økte over tid med en indikasjon på utflating av kurven ved syv dager. Forholdet mellom treverdig seksverdig krom endret seg ikke gjennom hele tidsperioden (alt krommet forelå som seksverdig). Den største økningen i utlekking av seksverdig krom var fra 24 – 96 timer (fra 66 µg/l, til 130 µg/l), deretter en liten økning fra 96 – 168 timer (fra 130 µg/l, til 146 µg/l). Dette indikerer at for å få et realistisk bilde på utlekking av seksverdig krom fra betong, må testen gå over en tidsperiode på fire dager eller lenger.

Jung et al. 2014 har i sine forsøk sett på immobilsering av seksverdig krom i sementblandinger. Etter at sementen hadde vært hydrert med vann i 28 dager, sank den vannløselige seksverdig krom konsentrasjonen fra 12,0 – 19,0 mg/kg-cem til rundt 2,9 mg/kg-cem. Dette hevdet Jung et al. Var på grunn av adsorpsjon av seksverdig krom i selve sementblandingen.

Resultatene viser at det er behov for kinetiske tester som går over lengere tid for å finne punktet der kurven over utlekket seksverdig krom synker. Dette vil gi bedre forståelse for hvordan seksverdig krom oppfører seg i miljøet.

7.3 Labtester: Trinn 1

Resultatene viser at det er lite til ingen utlekking av seksverdig krom fra ny betong til tross for høy pH. Faststoffanalysene viser at innholdet av seksverdig krom i den nye/rene betongen er relativt lavt (1,7 mg/kg) til tross for at innholdet av seksverdig krom i sementklinkeren er meget høyt (46 mg/kg). I dag tilsettes betongen jernsulfat for å redusere det vannløselige seksverdige krommet til treverdig krom. Denne tilsetningen er sannsynligvis årsaken til at det er lite seksverdig krom som lekker ut fra den nye/rene betongen. Betongen inneholder noe treverdig krom (20,3 mg/kg), men siden denne ikke er vannløselig vil ikke treverdig krom lekke ut fra betongen i noen særlig grad.

Fra forurenset betong er det en del utlekking av krom, og alt dette krommet foreligger som seksverdig krom (4,6 mg/kg). Dette var forventet siden pH er høy i utlekkingsvannet og krom hovedsakelig foreligger som seksverdig ved høy pH og oksiderende forhold. Engelsen, 2012 rapporterte fra sine felttester med gjenbruk av betong om høy pH i porevannet som hadde vært i kontakt med betong, samt registrerte konsentrasjoner av krom i µg/l i utlekkingsvannet.

7.4 Labtester: Trinn 2

Resultatene fra utlekkingstesten viser en betydelig reduksjon i utlekking av krom ved tilskudd av organisk materiale (opp til 99,9%). Det er usikkert om dette hovedsakelig skyldes reduksjon i pH fra 12 til 6 som vil redusere seksverdig krom til treverdig krom, eller om det skyldes kompleksering med organisk materiale. Butera 2015 fant ut at reduksjon av seksverdig krom var meget avhengig av jordtype, der jord med høyest

reduksjonsevne også hadde lavest pH. Dette støtter teorien om at hovedreduksjonsprosessen er innholdet av organisk materiale. Også Kozuh 2000 fant at tilførsel av organisk materiale reduserte seksverdig krom til treverdig krom og at reaksjonen var rask med en gang og avtok etter tre dager. En av grunnene til dette kunne være kompleksering av organisk materiale med treverdig krom. Sannsynligvis har reduksjon i pH resultert i en reduksjon fra seksverdig til treverdig krom, som deretter har blitt bundet til det organiske materialet.

Mineralsk materiale, som sand, har ingen påvirkning på utlekkingen av seksverdig krom fra betongen siden den verken reduserer pH eller gir mulighet for kompleksering.

Resultatene viser at for å redusere utlekkingen av seksverdig krom fra gjenbrukt betong så kan det blandes inn organisk materiale. For å undersøke om dette fungerer i praksis er det viktig å se nærmer på hvor mye organisk materiale som er nødvendig samt hvordan dette påvirker de fysiokjemiske egenskapene til blandingsmateriale og konstruksjonen som skal bygges.

8 Supplerende tester utført høsten 2018

Basert på resultatet fra ristetesten beskrevet i kapittel 6, ble det gjennomført en statisk ristetest med utlekkingsvann fra betong blandet med ulik andel vann med høyt DOC-innhold. Målsetningen var å undersøke effekten av å fjerne faststoffasen som vil kunne adsorbere krom. Dvs. om det er sorpsjon eller reduksjon som er hovedmekanismen som reduserer utlekkingen av seksverdig krom fra betong.

Fra litteraturen er det kjent at løst organisk material (DOC/DOM) øker reduksjonen av Cr(VI) til Cr(III) i jord. Det organiske materialet fungerer som elektron donator, og det er spesielt de funksjonelle gruppene (bl.a. hydrokinon grupper) som er kilden til elektronene. Reduksjonen til Cr(III) skjer normalt raskere ved lavere pH. (Rinklebe et al. 2017).

8.1 Metode

Betongvannet ble laget ved å utføre samme type ristetest som i beskrevet under kapittel 5 med den forurensede betongen fra Rjukan. Ristetesten ble utført med L/S = 10 i en periode på 168 timer. Prøvene sto deretter urørt på benken i laboratoriet i 24 timer for partikkelsedimentering før filtrering med 0,45 µm filter.

DOC-vann ble laget ved å riste destillert vann med torvjord (35% TOC) i 24 timer. DOC-vannet ble deretter filtrert i tre runder, først ved bruk av saftsil, deretter to runder i en høytrykks filteroppsats med henholdsvis 2 µm og 0,45 µm filter (Figur 7). Betongvannet og DOC-vannet ble analysert for innhold av krom-total, treverdig og seksverdig krom samt DOC.

Betongvannet ble deretter tilsatt ulik andel DOC-vann; 0%, 25%, 50%, 75% og 90%. Betongvannet var konstant 10% og for at væskemengden skulle holdes konstant ble prøvene fortynnet med destillert vann slik at alle prøvene hadde like mye væske (Tabell 5). Testen ble utført i triplikater. Prøvene stod på benken i laboratoriet i syv dager (168 timer) og ble vendt på en gang om dagen. En av prøvene med 90% DOC ble behandlet i kun 24 timer for å se på effekten av tid på spesieringen av krom i prøven.

Alle prøver ble analysert for treverdig og seksverdig krom av det akkrediterte analyse-laboratoriet ALS laboratory Group Norway AS. Prøvene som skulle analyseres for seks-verdig krom ble tilsatt konserveringsmiddel ($(NH_4)2SO_2$ + NH_4OH) før analyse som er standard metoden brukt av ALS.

Figur 7: Filtreringsverktøy for DOC-vann; saftsil (t.v.) og høytrykksfilteroppsats (t.h.)

Tabell 5: Prøveoversikt med blandingsforhold.

Blanding	Betongvann (%)	DOC (%)	Destillert vann (%)
1	10 %	90 %	0 %
2	10 %	75 %	15 %
3	10 %	50 %	40 %
4	10 %	25 %	65 %
5	10 %	0 %	90 %

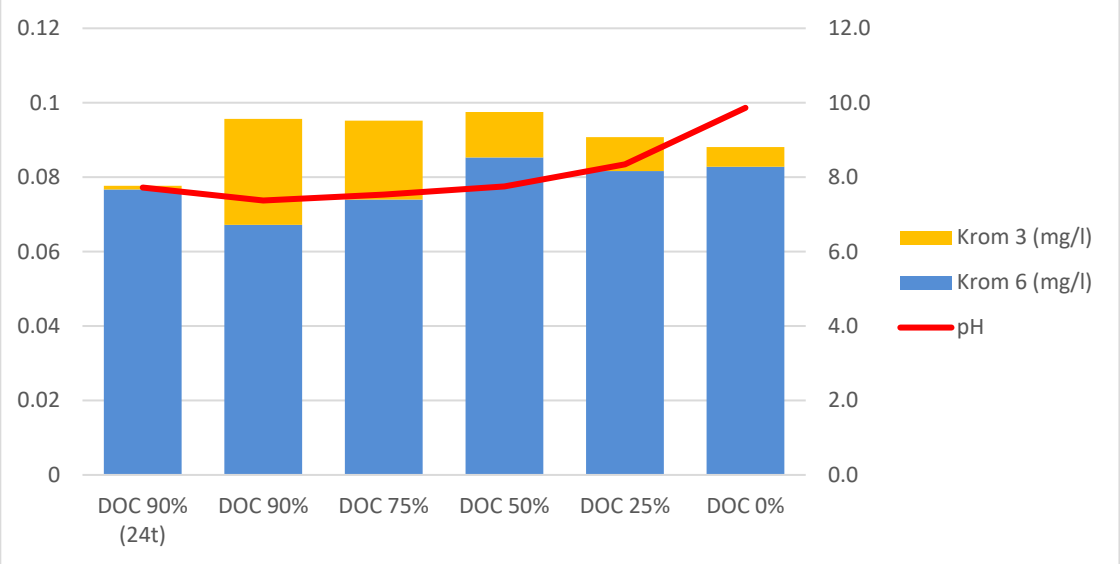
8.2 Resultater

Tabell 6 viser pH og krom-innhold (total, Cr(III), Cr(VI)) i betongvannet og DOC-vannet. Analysene viser at alt krom i betongvannet foreligger som seksverdig krom og at pH er høy (11,5). I DOC-vannet er krom konsentrasjonen lav og det meste foreligger som treverdig. pH er nøytral (7,1).

Tabell 6: pH og krom-innhold i betongvann og DOC-vann

Prøve	Krom-total (mg/l)	Cr^{3+} (mg/l)	Cr^{6+} (mg/l)	pH	DOC (mg/l)
Betongvann	0,77	<0,00010	0,855	11,5	8,1
DOC-vann	0,004	0,0035	0,0005	7,1	301

Figur 8 viser resultatene fra den statiske ristetesten med spesieringen av krom samt pH. Uten sorpsjonsfasen er det fortsatt en stor andel av krom i utlekkingsvannet som foreligger som seksverdig. Andelen seksverdig krom er noe høyere i DOC 90% (24t) enn DOC 90% etter syv dager. Siden totalkonsentrasjonen av krom er en del lavere i prøven analysert etter 24 timer, kan vi ikke med sikkerhet si at forskjellen i andelen seksverdig krom skyldes tid. Andelen seksverdig krom er noe lavere i DOC 90% og DOC 75% enn i DOC 50%, 25% og 0%. pH er relativt stabil i alle prøvene (pH 7) og noe høyere i DOC 0% (9,9).



Figur 8: Innhold av krom i betongvann blandet med DOC-vann

Tabell 7 viser en oversikt over analyseresultatene fra den statiske ristetesten, samt prosentandel seksverdig krom i prøvene.

Tabell 7: Analyseresultater fra den statiske ristetesten samt prosentandel seksverdig krom

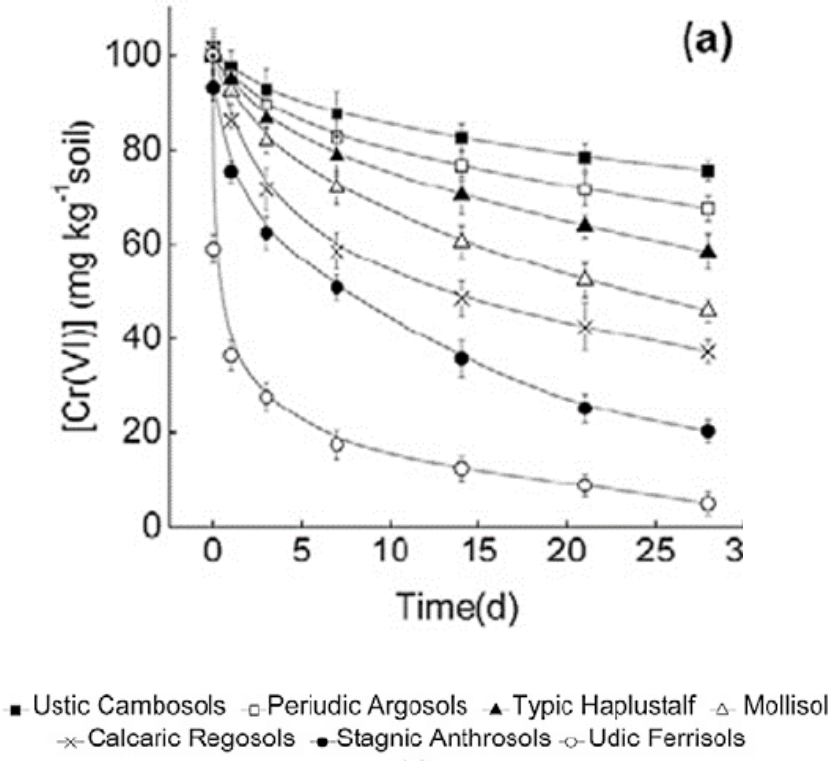
Prøve	Krom 6 (mg/l)	Krom 3 (mg/l)	Prosentandel Krom 6 (%)	pH	DOC (mg/l)
DOC 90%_1 (24t)	0,077	0,0010	99	7,7	
DOC 90%_1	0,067	0,033	67	7,4	258
DOC 90%_2	0,067	0,026	72	7,4	251
DOC 90%_3	0,067	0,026	72	7,4	251
DOC 75%_1	0,072	0,019	80	7,5	209
DOC 75%_2	0,076	0,023	77	7,6	214
DOC 75%_3	0,074	0,022	77	7,6	218
DOC 50%_1	0,079	0,0090	90	7,7	140
DOC 50%_2	0,099	0,0010	99	7,8	145
DOC 50%_3	0,078	0,015	84	7,7	136
DOC 25%_1	0,082	0,0096	90	8,4	70,6
DOC 25%_2	0,081	0,0086	90	8,3	67
DOC 0%_1	0,083	0,0038	96	9,9	0,96
DOC 0%_2	0,082	0,0070	92	9,8	0,88
DOC 0%_3	0,083	0,0051	94	9,9	0,77

8.3 Vurdering av resultater

Resultatene fra den statiske ristetesten viste at uten sorpsjonsfasen var det fortsatt en stor andel av kromet i betongvannet som forelå som seksverdig etter 7 døgn kontakttid. pH var relativt konstant med unntak av noe høyere pH i DOC 0% (9,9). Dette virker ikke å ha noen påvirkning på spesieringen av krom da andelen seksverdig krom i DOC 50%, 25% og 0% er relativt lik (90-95%) selv om pH er lavere i DOC 50% (7,7) og 25% (8,3). Prøvene med 90% DOC hadde lavest andel seksverdig krom på 70%. Det ser derfor ut som DOC har noe påvirkning på andelen spesieringen til krom når andelen DOC blir 75% eller høyere.

En økende andel redusert Cr(VI) med økende DOC konsentrasjon i vårt forsøk er i henhold til litteraturdata. Det organiske materialet fungerer som elektron donator som reduserer Cr(VI). pH i forsøket med DOC-vann ligger på mellom 7,4 og 8,4. Reduksjonen til Cr(III) skjer normalt raskere ved lavere pH, og en lavere pH vil sannsynligvis ha gitt en større reduksjon.

Xiao et al. (2012) gjennomførte et forsøk med reduksjon av Cr(VI) over tid for ulike jordtyper (Figur 9). Resultatene viste at det var en signifikant positiv korrelasjon mellom Cr(VI) reduksjon i jorda og flere jord-parametere som løst organisk material (DOM), toverdig jern (Fe(II) og innhold av leirpartikler, mens det for pH ikke forelå en sterk korrelasjon. Forfatterne konkluderte med at reduksjon av Cr(VI) i naturlig jord er en kompleks prosess som er kontrollert av en kombinasjon av ulike jordegenskaper som DOM/DOC, Fe(II) og kornfordeling.



Figur 9 Reduksjon av Cr(VI) i 7 ulike jordtyper etter tilsats av 100 mg/kg Cr(VI) (Fig. 2a i Xiao et al. 2012)

Sammenholdes dataene fra dette forsøket med data i Figur 8, ligger vår oppnådde andel Cr(VI) reduksjon (10-30%) i den lavere delen av intervallet oppnådd i forsøkene med syv ulike jordtyper etter syv dager kontakttid. DOC konsentrasjonene i vårt forsøk lå på mellom 67 mg/l (25% innblanding av DOC-vann) og 258 mg/l (90% innblanding av DOC-vann). Dette er noe høyere sammenlignet med jordtypene i Figur 9 på mellom 75 mg/l DOM (Ustic Cambosols) og 246 mg/l SOM (Mollisols). DOC utgjør kun karbon-delen i DOM.

Resultatene fra Xiao et al. (2012) viser en reduksjon i Cr(VI) konsentrasjonen over tid (28 dager, første ordens ligning). En slik nedgang over tid er også forventet i vårt forsøk.

Resultatene fra testen med kun DOC-vann og betong-vann indikerer at reduksjonen av Cr(VI) i risteforsøket med jord (se kapittel 6), i hovedsak skyldes sorpsjon og ikke reduksjon til Cr(III).

9 NGIs videreformidling av resultatene

Resultatene av prosjektet er av interesse for mange ulike aktører i byggenærings- og sementbransjen, da gjenbruk av betong er noe som angår hele bransjen.

NGI har brukt resultatene som grunnlag til å etablere en konsortium av de som er mest interesserte for å jobbe videre med en mulig søknad til Norges forskningsråd for arbeid videre med problemstillingen. Dette har ført til mange god diskusjoner og innspill fra bransjen om både prosjektet og videre arbeider.

Resultatene fra studien har blitt presentert på WASCON konferansen i Finland i juni 2018, fagdag for Forum for Miljøkartlegging i september 2018 Byggavfallskonferansen i februar 2019. Resultatene skal også presenteres for FABEKO på fabrikkbetongkonferansen i april 2019.

10 Videre arbeider

Det anbefales å se nærmere på utlekking av seksverdig krom fra forurenset betong for å forstå mekanismene bedre og på den måten enklere vurdere helse- og miljørisiko ved nyttiggjøring av lett forurenset betong. I denne testen ble det brukt en betong som er nesten 100 år gammel, noe som sannsynligvis representerer en "worst case" når det gjelder utlekking av seksverdig krom. Siden resultatene viser at det foreligger lite/ingen utlekking av seksverdig krom fra ny/ren betong, bør det gjøres tester med betong av ulik alder for å se om det er korrelasjoner mellom utlekking og alder. For å gi et mest mulig realistisk bilde av en gjenbrukssituasjon, bør utlekkingstestene utføres som kolonnetester da disse gir et mer realistisk bilde på et gjenbruksoppsett.

Det bør også gjøres tester med blandinger av betong og materialer med ulikt innhold av karbonholdig materiale (organisk materiale, biokull) for å få et inntrykk av hvor mye som er nødvendig for å redusere utlekkingen nok til å komme under grenseverdien på 2 mg/kg. Det anbefales også å jobbe videre med pH-titreringsforsøk for å se nærmer på spesieringen av krom ved ulik pH-verdi.

Resultatene fra undersøkelsen viser at organisk materiale har en positiv innvirkning på utlekking av seksverdig krom fra forurenset betong samt at det er sorpsjon som er hovedmekanismen som påvirker reduksjonen. Dette bør undersøkes nærmere. Relevante spørsmål er;

- Hvor mye organisk materiale trengs for å få ønsket effekt på utlekkingen av seksverdig krom?
- Andre typer reduksjon- eller sorpsjonsmaterialer
- Hvor fort reduseres seksverdig krom til treverdig og ved hvilken pH?
- Kan/vil treverdig krom i ny/ren betong oksideres til seksverdig krom over tid med ulik kjemisk og/eller mekanisk påvirkning?

Det vil også være interessant å se nærmere på andre typer sorpsjonsmaterialer som for eksempel aktivt kull eller biokull samt undersøke filterløsninger for rensing av seksverdig krom i sigevann. Det anbefales også å gå dypere inn i de analytiske utfordringene for analyse av seksverdig krom i betong og finne en prøvetakings-, opparbeidings- og analysemetode som gir mest mulig konkrete resultater.

I dag er det ofte overskridelser av grenseverdien på 2 mg/kg seksverdig krom i betong for mulig gjenbruk. Da dette hindrer gjenbruk av store mengder betong er det viktig å vurdere denne verdien opp imot human helse og økologisk risiko for å komme opp med et forslag som beskytter helse og miljø, men også tillater økt gjenbruk. NGI har i en rapport til Miljødirektoratet i 2017 foreslått nye EQS-verdier (normverdier) for blant annet seksverdig krom i jord (NGI, 2017). Denne verdien er meget lav (0,06 mg/kg), men det er viktig å understreke at denne er utarbeidet for jord og ikke betong og tar ikke hensyn til realistiske gjenbruksscenarioer for betong. Det er derfor viktig å gjøre en vurdering av grenseverdien med utgangspunkt i gjenbruk av forurenset betong.

11 Litteratur

Butera, S., Trapp. S., Astrup, T. F., Christensen, T. H. (2015). *Soil retention of hexavalent chromium released from construction and demolition waste in a road-base-application scenario.* Journal of Hazardous Materials 298 (2015) 361-367

Engelsen, C., Wibetoe, G., Van der Sloot, H. A., Lund, W., Petkovic, G. (2011). *Field site leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction.* Science of the Total Environment 427-428 (2012) 86-97.

Engelsen, C., Justnes, H., Malmedal, M. (2012). *Estimering av utlekking fra betong forurenset med metaller og PCB.* SINTEF-rapport SBS 2011F0074

Engelsen, C., Van der Sloot, H. A., Petkovic, G. (2017). *Long-term leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction.* Science of the Total Environment 587-588 (2017) 94-101.

Jung, M. S., Hwang, J. P., Kim, J. H., Lee, C. K., Ann, K. Y. (2014). *Risk of Environmental Contamination Arising from Concrete Structures, Part I I: Toxic Substances.* Journal of Civil Engineering (2015) 19(6):1591-1596.

Kozuh, N., Stupar, J., Gorenic, B. (2000). *Reduction and Oxidation Processes of Chromium in Soils.* Environmental Science Technology. 2000, 34, 112-119.

Miljødirektoratet. 2013.Disponering av betong- og teglavfall. Faktaark M14/2013

Naturvårdsverket. 2010. *Återvinning av avfall i anlägginingsarbeten.* Handbok 2010:1 Utgåva 1, februari 2010.

NGI. 2017. *Oppdatering og utarbeidelse av nye normverdier for forurenset grunn. Updating of background data and proposals for new normative values (normverdier) for contaminated soil.* NGI-rapport: 20160648-03-R, datert 2. januar 2017.

Pantsar-Kallio, M., Reinikainen, S., Oksanen, M. (2001). *Interactions of soil components and thheir effects on speciation of chromium in soils.* Analytica Chimica Acta 439 (2001) 9-17.

Rinklebe, J., Knox, A.S., Paller, M. Trace Elements in Waterlogged Soils and Sediments. Book. CRC Press Taylor & Francis Group. ISBN-13: 978-48224051-1

SINTEF. 2000. Utslipp av tungmetaller fra Norcem fabrikker i Brevik og Kjøpsvik. SINTEF-rapport datert 20. februar 2000.

Statistisk sentralbyrå. 2017. *Avfallsregnskapet*. https://www.ssb.no/avfregno

Xiao, W., Zhang, Y., Li, T., Chen, B., Wang, H., He, Z., Yang, X. (2012). *Reduction Kinetics of Hexavalent Chromium in Soils and Its Correlation with Soil Properties.* Technical report. Journal of Environmental Quality, Heavy metals in the environment.

Vedlegg A

NGI-NOTAT 20180060-01-TN RINGTEST
KJEMISK ANALYSE AV KROM I BETONG

Til:	Miljødirektoratet
v/	Vanja Alling
Kopi til:	Torgeir Rødsand og Eirik Aas
Dato:	2018-03-14
Rev.nr. / Rev.dato:	0 /
Dokumentnr.:	20180060
Prosjekt:	Seksverdig krom i betong
Prosjektleder:	Cathrine Eckbo
Utarbeidet av:	Cathrine Eckbo
Kontrollert av:	Sarah Hale

Ringtest - kjemisk analyse av seksverdig krom i betong

Innhold

1 Innledning 2
2 Standard ISO EN 15192 2
3 Metode 2
4 Resultater 3
5 Oppsummering av resultater 5

Vedlegg

Vedlegg A Analyserapporter

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Det ble gjennomført en ringtest med laboratoriene ALS Laboratory Group Norway AS og Eurofins Norge AS for å se på analyse av seksverdig krom i betong. Bakgrunnen for ringtesten er tidligere varierende analyseresultater fra ulike laboratorier grunnet ulik metodebruk.

Norges Geotekniske Institutt (NGI) har fremskaffet prøvemateriale og sendt prøver til laboratoriene.

2 Standard ISO EN 15192

I denne testen er det kun blitt brukt en metode ved analyse av seksverdig krom i betongprøvene. Det er ikke blitt gjort en sammenlikning av ulike metoder. Metoden som ble valgt er standarden ISO EN 15192. Denne metoden ble valgt på bakgrunn av samtaler med ulike analyselaboratorier som mente at denne metoden er mer oversiktlig og detaljert en øvrige metoder. Metoden gir også en god instruksjon på opparbeiding av prøvemateriale som er viktig for å minimere variasjon i analyseresultater.

Betong fra samme betongkonstruksjon er tidligere blitt analysert med metoden MST REFLAB 2000, som er en metode som analyserer vannløselig seksverdig krom. Denne metoden gav et resultat på 0,71 mg/kg seksverdig krom.

Den internasjonale standarden ISO EN 15192 spesifiserer en metode for å bestemme seksverdig krom i fast avfallsmateriale og jord ved bruk av baseoppslutning og ionekromatografi med spektrofotometrisk deteksjon. Standarden er utviklet for å unngå omdannelse av treverdig og seksverdig krom under prøvepreparering og analyse.

3 Metode

Prøvemateriale er betong fra Rjukan i Tinn kommune i Telemark. Betongen er anslått til å være fra mellom 1928 – 1950-tallet. Alle prøvene er fra samme betongkonstruksjon.

Det ble sendt to prøver av samme materiale til hvert av laboratoriene. En av prøvene var ferdig knust og opparbeidet av NGI. Den andre prøven var en betongmonolitt som laboratoriene skulle opparbeide selv. Disse to prøvene ble valgt for å se hvorvidt prøveopparbeiding kan påvirke resultatene fra analysen. Betongprøven som ble opparbeidet ved NGI ble kjørt igjennom en kjeftknuser og en kulemølle og deretter siktet for å få ønsket kornstørrelse på 0,25 mm. Prøvematerialet ble blandet godt og delt inn i to prøver på 200 g. Monolitten ble delt i to like store biter ved hjelp av en steinsag. Figur 1 viser et tverrsnitt av betongmonolitten.

Figur 1: Tverrsnitt av betongmonolitten som ble sendt inn til laboratoriene for analyse av seksverdig krom

Hver analyse krever opptil 5 g innveid materiale. Det ble allikevel sendt inn betydelig mer prøvemateriale for å unngå at det måtte sendes nye prøver ved eventuelle feil. Tabell 1 gir en oversikt over prøvemateriale.

Tabell 1: Prøvemateriale og analyseprogram

Prøve	Opparbeiding	Kornstørrelse	Vekt per tilsendt prøve (g)	Analyser	Paralleller	Standard
Betong	NGI	0,25 mm	200 g	Krom 6	4	ISO EN15192
Betong	Laboratoriet	Betongmonolitt som laboratoriet knuser etter standard	433 g	Krom 6	4	ISO EN15192

4 Resultater

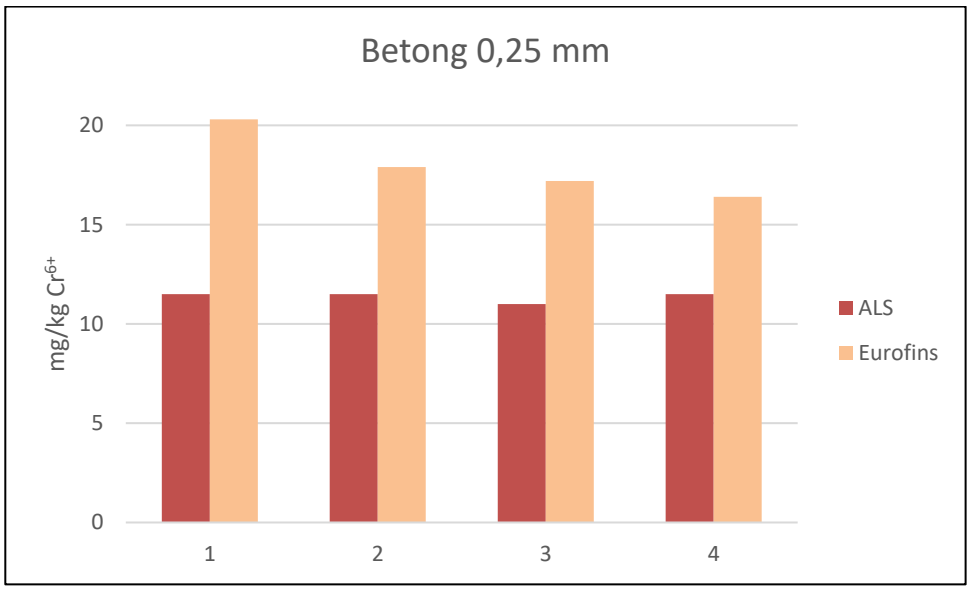
Tabell 2 viser resultatene fra ringtesten

Tabell 2: Analyseresultater fra ringtest

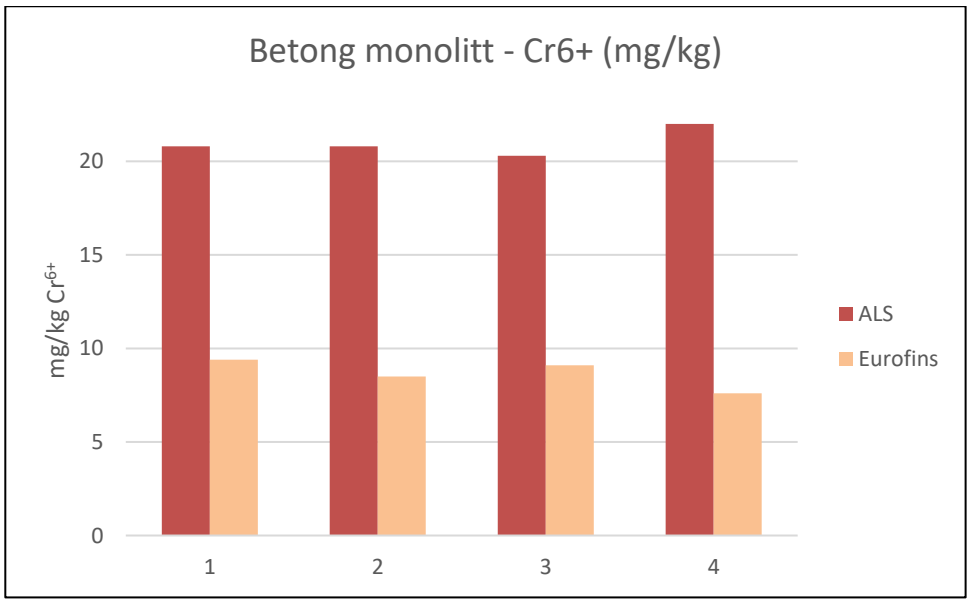
Lab	Prøve	Cr^{6+} (mg/kg)	Tørrstoff (%)	Usikkerhet (mg/kg)	Usikkerhet(% av Cr^{6+})	Metode analyse	Metode knusing	Gjennomsnitt	Standard avvik
ALS	0,25mm 1	11,5	Ikke oppgitt	4,4	38,3	ISO 15192/EPA 3060A	NA	11,4	0,25
ALS	0,25mm 2	11,5	Ikke oppgitt	4,4	38,3	ISO 15192/EPA 3060A	NA		
ALS	0,25mm 3	11	Ikke oppgitt	4,2	38,2	ISO 15192/EPA 3060A	NA		
ALS	0,25mm 4	11,5	Ikke oppgitt	4,4	38,3	ISO 15192/EPA 3060A	NA		
ALS	Monolitt1	20,8	Ikke oppgitt	8	38,5	ISO 15192/EPA 3060A	Ikke oppgitt	21,0	0,72
ALS	Monolitt2	20,8	Ikke oppgitt	7,8	38,5	ISO 15192/EPA 3060A	Ikke oppgitt		
ALS	Monolitt3	20,3	Ikke oppgitt	8,4	38,4	ISO 15192/EPA 3060A	Ikke oppgitt		
ALS	Monolitt4	22	Ikke oppgitt	0,5	38,2	ISO 15192/EPA 3060A	Ikke oppgitt		
Eurofins	0,25mm 1	20,3	94,8	0,5	2,5	EN 15192	NA	18	1,68
Eurofins	0,25mm 2	17,9	95	0,5	2,8	EN 15192	NA		
Eurofins	0,25mm 3	17,2	95	0,5	2,9	EN 15192	NA		
Eurofins	0,25mm 4	16,4	95,1	0,5	3,0	EN 15192	NA		
Eurofins	Monolitt1	9,4	95,8	0,5	5,3	EN 15192	Ikke oppgitt	8,7	0,79
Eurofins	Monolitt2	8,5	96,8	0,5	5,9	EN 15192	Ikke oppgitt		
Eurofins	Monolitt3	9,1	96,5	0,5	5,5	EN 15192	Ikke oppgitt		
Eurofins	Monolitt4	7,6	100	0,5	6,6	EN 15192	Ikke oppgitt		

5 Oppsummering av resultater

Figur 2 og Figur 3 viser en grafisk sammenstilling av resultatene fra ALS og Eurofins for henholdsvis betong 0,25 mm opparbeidet av NGI og betong monolitt. For betongen opparbeidet av NGI på 0,25 mm er resultatene fra Eurofins høyere enn resultatene fra ALS. For betongmonolitten er resultatene fra ALS høyere enn resultatene fra Eurofins.



Figur 2: Analysert konsentrasjon av seksverdig krom (Cr^{6+}) i betongprøver fra ALS og Eurofins i fraksjon 0,25 mm opparbeidet av NGI.



Figur 3: Analysert konsentrasjon av seksverdig krom (Cr^{6+}) i betongprøver fra ALS og Eurofins i betongmonolitt sendt fra NGI.

Testen viser at det er liten variasjon i replikatene til de to laboratoriene, men at det er variasjon i resultatene mellom laboratoriene.

Den kan være variasjon i resultatene ved bruk av ulike metoder. Betong fra samme konstruksjon ble analysert til å ha en konsentrasjon på 0,71 mg/kg seksverdig krom ved bruk av metoden MST REFLAB 2000, noe som er ti ganger så lavt som den laveste konsentrasjonen målt med metoden ISO EN15192. Per i dag er det ingen restriksjoner eller føringer fra miljømyndighetene på bruk av metode for analyse av seksverdig krom i betong.

Det er viktig å merke seg at for betongmonolitten kan det være store variasjoner i innhold av sement og tilslag. Dette vil også kunne påvirke resultatet på analysen. Dette gjenspeiler dagens problemstilling ved prøvetaking og analyse av betong. Prøver fra samme betongkonstruksjon kan ha svært ulikt innhold som kan gi store variasjoner i analyseresultatene.

Vedlegg A

ANALYSERESULTATER

Rapport

N1800621

GJA2LRVVMI

Mottatt dato **2018-01-12**
Utstedt **2018-01-24**

ALS Laboratory Group Norway AS
Irene Furulund

PB 643 Skøyen
N-0214 Oslo
Norway

Prosjekt **Krom 6 i betong**
Bestnr **20180060**

Analyse av material

Deres prøvenavn **Betong 0,25mm 200g 1**
Betong

Labnummer N00553397

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ [a] [ulev]	**11.5**	4.4	mg/kg	1	H	NADO

Deres prøvenavn **Betong 0,25mm 200g 2**
Betong

Labnummer N00553398

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ [a] [ulev]	**11.5**	4.4	mg/kg	1	H	NADO

Deres prøvenavn **Betong 0,25mm 200g 3**
Betong

Labnummer N00553399

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ [a] [ulev]	**11.0**	4.2	mg/kg	1	H	NADO

Deres prøvenavn **Betong 0,25mm 200g 4**
Betong

Labnummer N00553400

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ [a] [ulev]	**11.5**	4.4	mg/kg	1	H	NADO

Deres prøvenavn **Betong monolitt 433g 1**
Betong

Labnummer N00553401

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ [a] [ulev]	**20.8**	8.0	mg/kg	1	H	NADO
Knusing	**ja**			2	1	NADO

Deres prøvenavn	**Betong monolitt 433g 2** **Betong**
Labnummer	N00553402

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ a ulev	**20.8**	8.0	mg/kg	1	H	NADO
Knusing	**ja**			2	1	NADO

Deres prøvenavn	**Betong monolitt 433g 3** **Betong**
Labnummer	N00553403

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ a ulev	**20.3**	7.8	mg/kg	1	H	NADO
Knusing	**ja**			2	1	NADO

Deres prøvenavn	**Betong monolitt 433g 4** **Betong**
Labnummer	N00553404

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ a ulev	**22.0**	8.4	mg/kg	1	H	NADO
Knusing	**ja**			2	1	NADO

Eurofins Environment Testing Norway AS (Moss)
F. reg. 965 141 618 MVA
Møllebakken 50
NO-1538 Moss

Tlf: +47 69 00 52 00
Fax: +47 69 27 23 40

Stiftelsen Norges Geotekniske Institutt
Postboks 3930 Ullevål Stadion
0806 OSLO
Attn: Cathrine Eckbo

AR-18-MM-001764-01

EUNOMO-00186764

Prøvemottak: 15.01.2018
Temperatur:
Analyseperiode: 15.01.2018-24.01.2018
Referanse: Betongprøver

ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	**439-2018-01150081**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve 0,25mm 1	Analysestartdato:	15.01.2018

	Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a)	Krom VI (Cr6+)	20.3	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a)	Total tørrstoff	94.8	% (w/w)	0.1		EN 14346

Prøvenr.:	**439-2018-01150082**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve 0,25mm 2	Analysestartdato:	15.01.2018

	Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a)	Krom VI (Cr6+)	17.9	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a)	Total tørrstoff	95.0	% (w/w)	0.1		EN 14346

Prøvenr.:	**439-2018-01150083**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve 0,25mm 3	Analysestartdato:	15.01.2018

	Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a)	Krom VI (Cr6+)	17.2	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a)	Total tørrstoff	95.0	% (w/w)	0.1		EN 14346

Prøvenr.:	**439-2018-01150084**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve 0,25mm 4	Analysestartdato:	15.01.2018

	Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a)	Krom VI (Cr6+)	16.4	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a)	Total tørrstoff	95.1	% (w/w)	0.1		EN 14346

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet

<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1,<50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi/-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjennelse. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Prøvenr.:	**439-2018-01150085**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve monolitt 1	Analysestartdato:	15.01.2018

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Krom VI (Cr6+)	9.4	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a) Total tørrstoff	95.8	% (w/w)	0.1		EN 14346

Prøvenr.:	**439-2018-01150086**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve monolitt 2	Analysestartdato:	15.01.2018

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Krom VI (Cr6+)	8.5	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a) Total tørrstoff	96.8	% (w/w)	0.1		EN 14346

Prøvenr.:	**439-2018-01150087**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve monolitt 3	Analysestartdato:	15.01.2018

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Krom VI (Cr6+)	9.1	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a) Total tørrstoff	96.5	% (w/w)	0.1		EN 14346

Prøvenr.:	**439-2018-01150088**	Prøvetakingsdato:	12.01.2018
Prøvetype:	Betong	Prøvetaker:	Oppdragsgiver
Prøvemerking:	Betongprøve monolitt 4	Analysestartdato:	15.01.2018

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Krom VI (Cr6+)	7.6	mg/kg tv	0.5		EN 15192
a) Total tørrstoff	100.0	% (w/w)	0.1		EN 14346

Utførende laboratorium/ Underleverandør:

a) Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg), Lindenstraße 11, Gewerbegebiet Freiberg Ost, D-09627, Bobritzsch-Hilbersdorf DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00,

Moss 24.01.2018

Kjetil Sjaastad

Kjetil Sjaastad

Kjemitekniker

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet

<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1,<50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi/-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjennelse. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr6+ i bygningsmateriale** Metode: ISO 15192 / EPA 3060A Måleprinsipp: ICP-SFMS Prøve forbehandling: Alkalisk eluering med Na_2CO_3 og NaOH Rapporteringsgrenser: LOQ 0,3 mg/kg
2	**Knusing/oppmaling**

	Godkjenner
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]
H	ICP-SFMS Ansvarlig laboratorium: ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Ringtest - kjemisk analyse av seksverdig krom i betong		**Dokumentnr./*Document no.*** 20180060
Dokumenttype/*Type of document* Teknisk notat / Technical note	**Oppdragsgiver/*Client*** ALS Laboratory Group Norway AS og Eurofins Norge AS	**Dato/*Date*** 2018-03-14
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/*Proprietary rights to the document according to contract* NGI		**Rev.nr. & dato/*Rev.no. & date*** 0 /
Distribusjon/*Distribution* BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/*Keywords* Betong, krom, ringtest		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country* Norge, Oslo	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality* Oslo	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location*	**Sted/*Location***
Kartblad/*Map*	**Felt, blokknr./*Field, Block No.***
UTM-koordinater/*UTM-coordinates* **Sone: Øst: Nord:**	**Koordinater/*Coordinates*** **Projeksjon, datum: Øst: Nord:**

Dokumentkontroll/*Document control*
Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to NS-EN ISO9001*

Rev/ Rev.	***Revisjonsgrunnlag/Reason for revision***	**Egenkontroll av/ *Self review by:***	**Sidemanns-kontroll av/ *Colleague review by:***	**Uavhengig kontroll av/ Independent review by:**	**Tverrfaglig kontroll av/ *Inter-disciplinary review by:***
0	Originaldokument	2018-03-14 Cathrine Eckbo	2018-02-23 Sarah Hale		

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Prosjektleder/*Project Manager***
	14. mars 2018	Cathrine Eckbo

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

NGI
OSLO
TRONDHEIM
HOUSTON
PERTH

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Hovedkontor Oslo
PB. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd. Trondheim
PB. 5687 Torgarden
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48
NGI@ngi.no

BANK
KONTO 5096 05 01281
ORG.NR 958 254 318MVA

ISO 9001/14001
CERTIFIED BY BSI
FS 32989/EMS 612006

Vedlegg B

ANALYSERAPPORTER TOTALANALYSER

Rapport

N1813099

XWIVYH7ACJ

Mottatt dato **2018-08-09**
Utstedt **2018-08-16**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **WP.2 - Krom6 i betong**
Bestnr **20160794**

Analyse av material

Deres prøvenavn **Gammel betong**
Betong

Labnummer N00596640

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ a ulev	**37.5**	14.4	mg/kg	1	H	ERAN
Cr3+ a ulev	**24.9**		mg/kg	1	1	MAMU

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Marte Muri
2018.08.16 17:46:57
Client Service
marte.muri@alsglobal.com

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr6+ i bygningsmateriale** Metode: ISO 15192 / EPA 3060A Måleprinsipp: ICP-SFMS Prøve forbehandling: Alkalisk eluering med Na_2CO_3 og NaOH Rapporteringsgrenser: LOQ 0,3 mg/kg

	Godkjenner
ERAN	Erlend Andresen
MAMU	Marte Muri

	Utf[1]
H	ICP-SFMS Ansvarlig laboratorium: ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Rapport

N1803459

L4JHJ1UO15

Mottatt dato **2018-03-12**
Utstedt **2018-03-19**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **WP.2-Krom 6 i betong**
Bestnr **20160794**

Analyse av material

Deres prøvenavn **Betong ren M60**
Betong

Labnummer N00563753

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ [a ulev]	**1.71**	0.66	mg/kg	1	H	NADO
Cr (Krom) *	**22.0**		mg/kg	2	S	NADO
Knusing *	**ja**			3	1	NADO

Deres prøvenavn **Sementklinker**
Sement

Labnummer N00563754

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr6+ [a ulev]	**46.4**	17.8	mg/kg	1	H	NADO
Cr (Krom) *	**98.4**		mg/kg	2	S	NADO
Knusing *	**ja**			3	1	NADO

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr6+ i bygningsmateriale** Metode: ISO 15192 / EPA 3060A Måleprinsipp: ICP-SFMS Prøve forbehandling: Alkalisk eluering med Na_2CO_3 og NaOH Rapporteringsgrenser: LOQ 0,3 mg/kg
2	**I-1C, metaller i materialer** Metode: Analyse med ICP-SFMS utføres i henhold til ISO 17294-1,2 (mod), samt EPA-metode 200.8 (mod). Analyse med ICP-AES utføres i henhold til ISO 11885 (mod), samt EPA-metode 200.7 (mod). Rapporteringsgrenser (LOQ): varierer med prøvens beskaffenhet. Øvrig informasjon: Analysen er ikke akkreditert
3	**Knusing/oppmaling**

	Godkjenner
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]
H	ICP-SFMS Ansvarlig laboratorium: ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
S	ICP-SFMS Ansvarlig laboratorium: ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet. Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

Rapport

N1803458

L7GJY2VPK7

Mottatt dato **2018-03-12**
Utstedt **2018-03-20**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **WP.2-krom6 i betong**
Bestnr **20160794**

Analyse av faststoff

Deres prøvenavn **Kompostjord**
Jord

Labnummer N00563752

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
K (Kalium) a ulev	**2850**	570	mg/kg TS	1	1	NADO
Mg (Magnesium) a ulev	**2410**	483	mg/kg TS	1	1	NADO
Na (Natrium) a ulev	**433**	87	mg/kg TS	1	1	NADO
Mn (Mangan) a ulev	**405**	81.0	mg/kg TS	1	1	NADO
Fe (Jern) a ulev	**6220**	1240	mg/kg TS	1	1	NADO
Cr (Krom) a ulev	**9.57**	1.91	mg/kg TS	1	1	NADO
TOC a ulev	**25.4**		% TS	2	1	NADO
Klorid (Cl-) a ulev	**156**	31	mg/kg TS	3	1	NADO
Sulfat (SO4) *	**1300**	678	mg/kg TS	4	1	NADO
Cr3+ a ulev	**9.57**		mg/kg TS	5	1	JIBJ
Cr6+ a ulev	**<4.00**		mg/kg TS	6	1	NADO
Nitrat (NO3) a ulev	**3980**		mg/kg TS	7	1	NADO
Ammonium (NH4) a ulev	**<0.50**		mg/kg TS	8	1	NADO
Sulfid (S2-) a ulev	**<1.0**		mg/kg TS	9	1	NADO

Rapporteringsgrense Cr6+ økt grunnet matriksinterferens

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Elementanalyse av jord** Metode: EPA 200.7, ISO 11885, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: ICP-OES Prøve forbehandling: Prøven homogeniseres og mineraliseres med HNO3 (1:1) i autoklav under høyt trykk og temperatur før analyse.
2	**Bestemmelse av total organisk karbon (TOC) i jord, kolometri** Metode: ISO 10694, EN 13137, EN 15936 Måleprinsipp: Kolometri Rapporteringsgrenser: LOR 0.01 % TS Andre opplysninger: TOC er differansen mellom total karbon (TC) og total inorganisk karbon (TIC).
3	**Bestemmelse av vannløselig klorid i jord** Metode: EN 480-10 Måleprinsipp: Potensiometrisk titrering Rapporteringsgrenser: 40 mg/kg Måleusikkerhet: Måleusikkerheten varierer med konsentrasjonen
4	**Bestemmelse av sulfat (SO_4)** Metode: CSN 72 0117 Måleprinsipp: Gravimetrisk Rapporteringsgrenser: 1000 mg/kg TS
5	**Cr3+ i jord** Metode: Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, EPA 6010, SM 3120 Cr6+: CSN EN 15192, EPA 3060A Måleprinsipp: Cr-total: ICP-AES Cr6+: IC Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,250 mg/kg TS
6	**Cr^{6+} i jord** Metode: CSN EN 15192, EPA 3060A Måleprinsipp: IC

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Jan Inge Bjønengen
2018.03.20 10:31:00
Client Service
jan-inge.bjornengen@alsglobal.com

	Metodespesifikasjon
	Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,060 mg/kg TS
7	**Nitrat i jord/sediment/slam** Metode: Basert på ISO 11732, ISO 13395 Måleprinsipp: Spektrofotometri. Målt i eluat, rekalkulert til tørrstoff. Rapporteringsgrenser (LOQ): 20 mg/kg TS
8	**Ammonium i jord/sediment/slam** Metode: Basert på ISO 11732, ISO 13395 Måleprinsipp: Spektrofotometrisk. Måles i eluat, rekalkuleres til tørrstoff. Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,50 mg/kg TS
9	**Bestemmelse av Sulfid (S^{2-})** Metode: CSN 83 0520:1978 del 16, CSN 83 0530:1980 del 31 Måleprinsipp: Spektrofotometri Rapporteringsgrenser: 1,0 mg/kg TS

	Godkjenner
JIBJ	Jan Inge Bjørnengen
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia Lokalisering av andre ALS laboratorier: Ceska Lipa Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa Pardubice V Raji 906, 530 02 Pardubice Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Jan Inge Bjønengen
2018.03.20 10:31:00
Client Service
jan-inge.bjornengen@alsglobal.com

Rapport

N1800951

GMP7NTNGFC

Mottatt dato **2018-01-19**
Utstedt **2018-01-25**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **Lindum Skytefeltjord**
Bestnr **20140249-19**

Analyse av faststoff

Deres prøvenavn **aBC**
Char

Labnummer N00555296

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**100**	6.03	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**74.4**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn **mineral soil**
Jord

Labnummer N00555297

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**99.6**	6.00	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**5.19**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn **TTI-K**
Jord

Labnummer N00555298

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**100**	6.04	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**39.0**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn **BC-L**
Char

Labnummer N00555299

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**98.4**	5.93	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**65.7**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**organic soil** **Jord**
Labnummer	N00555300

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**99.6**	6.00	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**10.2**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**Fe-BC** **Char**
Labnummer	N00555301

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**100**	6.03	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**24.9**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**min 10% slagg** **Jord**
Labnummer	N00555302

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**82.8**	5.00	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**3.17**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**min 20% slagg** **Jord**
Labnummer	N00555303

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**82.9**	5.00	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**5.38**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**Ref sand** **Jord**
Labnummer	N00555304

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**99.7**	6.01	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**1.63**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**org 10% slagg** **Jord**
Labnummer	N00555305

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**68.0**	4.11	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**9.09**		% TS	1	1	NADO

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.01.25 15:39:20
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Deres prøvenavn	**org 20% slagg** **Jord**
Labnummer	N00555306

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**67.6**	4.08	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**10.7**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**min 0% slagg** **Jord**
Labnummer	N00555307

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**78.8**	4.76	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**5.62**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**org 0% slagg** **Jord**
Labnummer	N00555308

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**69.1**	4.18	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**9.75**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**Ref silt** **Jord**
Labnummer	N00555309

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**99.1**	5.98	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**1.40**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**PFAS hTOC <1mm** **Jord**
Labnummer	N00555310

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**99.5**	6.00	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**34.2**		% TS	1	1	NADO

Deres prøvenavn	**PFAS LTOC <1mm** **Jord**
Labnummer	N00555311

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Tørrstoff (E) [a ulev]	**100**	6.03	%	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**1.61**		% TS	1	1	NADO

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.01.25 15:39:20
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Bestemmelse av total organisk karbon (TOC) i jord, kolometri** Metode: ISO 10694, EN 13137, EN 15936 Måleprinsipp: Kolometri Rapporteringsgrenser: LOR 0.01 % TS Andre opplysninger: TOC er differansen mellom total karbon (TC) og total inorganisk karbon (TIC).

	Godkjenner
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia Lokalisering av andre ALS laboratorier: Ceska Lipa Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa Pardubice V Raji 906, 530 02 Pardubice Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.01.25 15:39:20
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Vedlegg C

ANALYSERAPPORTER INNLEDENDE RISTETEST

Rapport

N1802060

II49HJ7CHD

Mottatt dato **2018-02-12**
Utstedt **2018-02-16**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **Krom6 i betong**
Bestnr **20180060**

Analyse av vann

Deres prøvenavn **8a-1dag**
Eluat

Labnummer N00558873

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0665**	0.0066	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0010**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**66.1**	6.61	µg/l	1	1	NADO
Filtrering	**ja**			2	1	NADO
Temperatur v/pH-måling	**23**		°C	3	2	NADO
pH	**12**			3	2	NADO
Analysedato (pH)	**20180213**		Dato	3	2	NADO
Ledningsevne (konduktivitet)	**359**		mS/m	4	2	NADO
Analysedato (Ledningsevne)	**20180213**		Dato	4	2	NADO

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0010 mg/l
2	**Filtrering** Filter med porestørrelse 0,45µm.
3	**Bestemmelse av pH i vann** Metode: NS-EN ISO 10523 (2012) Måleprinsipp: Elektrokjemisk Måleområde: pH 4-10 Måleusikkerhet: ±0,2 pH-enheter Annen informasjon: Analysen er akkreditert for rentvann, sjøvann, bassengvann og avløpsvann **Tidssensitiv parameter**: Det gjøres oppmerksom på at resultatet kan påvirkes av tiden mellom prøvetakning og analyse. Prøven bør derfor ha ankommet lab snarest mulig etter prøvetakning. Dersom ikke annet er angitt er analysen startet innen gjeldene tidsfrist i henhold til analysemetoden. .
4	**Ledningsevne (konduktivitet) i vann** Metode: NS-ISO 7888 (1993) Måleprinsipp: Elektrokjemisk Måleområde: 0,1-4000 mS/m Måleusikkerhet: ±5% **Tidssensitiv parameter**: Det gjøres oppmerksom på at resultatet kan påvirkes av tiden mellom prøvetakning og analyse. Prøven bør derfor ha ankommet lab snarest mulig etter prøvetakning. Dersom ikke annet er angitt er analysen startet innen gjeldene tidsfrist i henhold til analysemetoden

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.02.16 16:54:43
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

	Godkjenner
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]	
1	Ansvarlig laboratorium:	ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia
	Lokalisering av andre ALS laboratorier:	
	Ceska Lipa	Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa
	Pardubice	V Raji 906, 530 02 Pardubice
	Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon	
2	Ansvarlig laboratorium:	ALS Laboratory Group Norway AS avd. ØMM-Lab, Yvenveien 17, 1715 Yven

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.02.16 16:54:43
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Rapport

N1802099

IRHVKP0A9Y

Mottatt dato **2018-02-13**
Utstedt **2018-02-19**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **Krom6 i betong**
Bestnr **20180060**

Analyse av vann

Deres prøvenavn **8b-4dager**
Eluat

Labnummer N00559043

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.116**	0.0116	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0010**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**130**	13.0	µg/l	1	1	NADO
Filtrering	**ja**			2	1	NADO
Temperatur v/pH-måling	**21**		°C	3	2	NADO
pH	**12**			3	2	NADO
Analysedato (pH)	**20180213**		Dato	3	2	NADO
Ledningsevne (konduktivitet)	**392**		mS/m	4	2	NADO
Analysedato (Ledningsevne)	**20180213**		Dato	4	2	NADO

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0010 mg/l
2	**Filtrering** Filter med porestørrelse 0,45µm.
3	**Bestemmelse av pH i vann** Metode: NS-EN ISO 10523 (2012) Måleprinsipp: Elektrokjemisk Måleområde: pH 4-10 Måleusikkerhet: ±0,2 pH-enheter Annen informasjon: Analysen er akkreditert for rentvann, sjøvann, bassengvann og avløpsvann **Tidssensitiv parameter**: Det gjøres oppmerksom på at resultatet kan påvirkes av tiden mellom prøvetakning og analyse. Prøven bør derfor ha ankommet lab snarest mulig etter prøvetakning. Dersom ikke annet er angitt er analysen startet innen gjeldene tidsfrist i henhold til analysemetoden. .
4	**Ledningsevne (konduktivitet) i vann** Metode: NS-ISO 7888 (1993) Måleprinsipp: Elektrokjemisk Måleområde: 0,1-4000 mS/m Måleusikkerhet: ±5% **Tidssensitiv parameter**: Det gjøres oppmerksom på at resultatet kan påvirkes av tiden mellom prøvetakning og analyse. Prøven bør derfor ha ankommet lab snarest mulig etter prøvetakning. Dersom ikke annet er angitt er analysen startet innen gjeldene tidsfrist i henhold til analysemetoden

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Hanne Boklund
2018.02.19 17:31:42
Client Service
hanne.boklund@alsglobal.com

	Godkjenner
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]	
1	Ansvarlig laboratorium:	ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia
	Lokalisering av andre ALS laboratorier:	
	Ceska Lipa Pardubice	Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa V Raji 906, 530 02 Pardubice
	Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon	
2	Ansvarlig laboratorium:	ALS Laboratory Group Norway AS avd. ØMM-Lab, Yvenveien 17, 1715 Yven

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Hanne Boklund
2018.02.19 17:31:42
Client Service
hanne.boklund@alsglobal.com

Rapport

N1802280

IZX0P6F3RW

Mottatt dato **2018-02-15**
Utstedt **2018-02-22**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **Krom6 i betong**
Bestnr **20180060**

Analyse av vann

Deres prøvenavn **8c 7 dager**
Eluat

Labnummer N00559628

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.130**	0.0130	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0010**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**146**	14.6	µg/l	1	1	NADO
Filtrering	**ja**			2	1	NADO
Temperatur v/pH-måling	**23**		°C	3	2	NADO
pH	**12**			3	2	NADO
Analysedato (pH)	**20180215**		Dato	3	2	NADO
Ledningsevne (konduktivitet)	**394**		mS/m	4	2	NADO
Analysedato (Ledningsevne)	**20180215**		Dato	4	2	NADO

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0010 mg/l
2	**Filtrering** Filter med porestørrelse 0,45µm.
3	**Bestemmelse av pH i vann** Metode: NS-EN ISO 10523 (2012) Måleprinsipp: Elektrokjemisk Måleområde: pH 4-10 Måleusikkerhet: ±0,2 pH-enheter Annen informasjon: Analysen er akkreditert for rentvann, sjøvann, bassengvann og avløpsvann **Tidssensitiv parameter**: Det gjøres oppmerksom på at resultatet kan påvirkes av tiden mellom prøvetakning og analyse. Prøven bør derfor ha ankommet lab snarest mulig etter prøvetakning. Dersom ikke annet er angitt er analysen startet innen gjeldene tidsfrist i henhold til analysemetoden. .
4	**Ledningsevne (konduktivitet) i vann** Metode: NS-ISO 7888 (1993) Måleprinsipp: Elektrokjemisk Måleområde: 0,1-4000 mS/m Måleusikkerhet: ±5% **Tidssensitiv parameter**: Det gjøres oppmerksom på at resultatet kan påvirkes av tiden mellom prøvetakning og analyse. Prøven bør derfor ha ankommet lab snarest mulig etter prøvetakning. Dersom ikke annet er angitt er analysen startet innen gjeldene tidsfrist i henhold til analysemetoden

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.02.22 11:08:58
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

	Godkjenner
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]	
1	Ansvarlig laboratorium:	ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia
	Lokalisering av andre ALS laboratorier:	
	Ceska Lipa	Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa
	Pardubice	V Raji 906, 530 02 Pardubice
	Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon	
2	Ansvarlig laboratorium:	ALS Laboratory Group Norway AS avd. ØMM-Lab, Yvenveien 17, 1715 Yven

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Vedlegg D

ANALYSERAPPORTER RISTETEST

Rapport

N1803977

LT9H4300Y8

Mottatt dato **2018-03-20**
Utstedt **2018-03-27**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **Krom 6 i betong WP.2**
Bestnr **20160794**

Analyse av vann

Deres prøvenavn **F4**
Eluat

Labnummer N00565474

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.422**	0.0422	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**464**	46.4	µg/l	1	1	NADO

Deres prøvenavn **F40**
Eluat

Labnummer N00565475

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.274**	0.0274	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**299**	29.9	µg/l	1	1	NADO

Deres prøvenavn **R4**
Eluat

Labnummer N00565476

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0076**	0.0008	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**0.0076**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<4.00**		µg/l	1	1	NADO

Cr6:Forhøyet rapporteringsgrense grunnet matriks inteferens.

Deres prøvenavn **F4 pH 9,79**
Eluat

Labnummer N00565477

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.408**	0.0408	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**470**	47.0	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**2.29**	0.46	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F4 pH 8,31** **Eluat**
Labnummer	N00565478

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.412**	0.0412	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**421**	42.1	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**2.25**	0.45	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F4-0-1** **Eluat**
Labnummer	N00565479

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0042**	0.0004	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**0.0042**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<0.40**		µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**106**	21.3	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F4-0-2** **Eluat**
Labnummer	N00565480

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0061**	0.0006	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**0.0050**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**1.12**	0.16	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**97.5**	19.5	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F4-0-3** **Eluat**
Labnummer	N00565481

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0030**	0.0003	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**0.0030**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<0.40**		µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**94.2**	18.8	mg/l	2	1	NADO

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.03.27 14:22:18
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Deres prøvenavn	**F4-S-1** **Eluat**
Labnummer	N00565482

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.414**	0.0414	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**452**	45.2	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**28.6**	5.71	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F4-S-2** **Eluat**
Labnummer	N00565483

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.415**	0.0415	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**487**	48.7	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**29.4**	5.88	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F4-S-3** **Eluat**
Labnummer	N00565484

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.411**	0.0411	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**433**	43.3	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**26.6**	5.31	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F40-0-1** **Eluat**
Labnummer	N00565485

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0025**	0.0002	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**0.0025**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<0.40**		µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**99.7**	19.9	mg/l	2	1	NADO

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.03.27 14:22:18
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Deres prøvenavn	**F40-0-2** **Eluat**
Labnummer	N00565486

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0025**	0.0002	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**0.53**	0.12	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**102**	20.4	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F40-0-3** **Eluat**
Labnummer	N00565487

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0026**	0.0003	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**0.66**	0.13	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**99.6**	19.9	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F40-S-1** **Eluat**
Labnummer	N00565488

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.258**	0.0258	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**274**	27.4	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**23.0**	4.60	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**F40-S-2** **Eluat**
Labnummer	N00565489

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.260**	0.0260	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**0.0306**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**229**	22.9	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**27.5**	5.50	mg/l	2	1	NADO

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.03.27 14:22:18
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Deres prøvenavn	**F40-S-3** **Eluat**
Labnummer	N00565490

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.259**	0.0259	mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**0.0115**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**248**	24.8	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**26.1**	5.22	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**R4-0-1** **Eluat**
Labnummer	N00565491

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<0.40**		µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**119**	23.8	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**R4-0-2** **Eluat**
Labnummer	N00565492

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**0.43**	0.12	µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**124**	24.8	mg/l	2	1	NADO

Deres prøvenavn	**R4-0-3** **Eluat**
Labnummer	N00565493

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<0.40**		µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**121**	24.3	mg/l	2	1	NADO

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.03.27 14:22:18
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Deres prøvenavn	**R4-S-1** **Eluat**
Labnummer	N00565494

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<4.00**		µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**16.9**	3.38	mg/l	2	1	NADO

Cr6:Forhøyet rapporteringsgrense grunnet matriks inteferens.

Deres prøvenavn	**R4-S-2** **Eluat**
Labnummer	N00565495

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr3+ [a ulev]	**<0.0020**		mg/l	1	1	NADO
Cr6+ [a ulev]	**<0.40**		µg/l	1	1	NADO
TOC [a ulev]	**16.4**	3.27	mg/l	2	1	NADO

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.03.27 14:22:18
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0020 mg/l
2	**Bestemmelse av Totalt organisk karbon (TOC)** Metode: EN 1484 Måleprinsipp: IR Rapporteringsgrenser: 0,50 mg/l Måleusikkerhet: 20% Andre opplysninger: Vannet dekanteres før analyse av TOC.

	Godkjenner
NADO	Nadide Dönmez

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia Lokalisering av andre ALS laboratorier: Ceska Lipa Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa Pardubice V Raji 906, 530 02 Pardubice Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS avd. ØMM-Lab
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Epost: info.srp@alsglobal.com
Tel: + 47 69 13 78 80

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Nadide Dönmez
2018.03.27 14:22:18
Client Service
nadide.donmez@alsglobal.com

Vedlegg E

ANALYSERAPPORTER SUPPLERENDE TESTER

Rapport

N1820495

164W3X6U7VD

Mottatt dato **2018-11-14**
Utstedt **2018-11-21**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **GeoreCirc**
Bestnr **20160794**

Analyse av vann

Deres prøvenavn **Betongvann 4-7**
Eluat

Labnummer N00621287

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**0.769**	0.0769	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**<0.0010**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**855**	85.5	µg/l	1	1	SAHM
DOC a ulev	**8.11**	1.62	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn **Blank-saftsil**
Vann

Labnummer N00621288

Analyse	Resultater	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**<0.0010**	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**<0.0010**	mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**<0.40**	µg/l	1	1	SAHM

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Sabra Hashimi
2018.11.21 10:56:05
Client Service
sabra.hashimi@alsglobal.com

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0010 mg/l
2	**Løst organisk karbon (DOC) i vann** Metode: EN 1484, EN 16192, SM 5310 Måleprinsipp: IR Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,50 mg/l Måleusikkerhet: 20%

	Godkjenner
SAHM	Sabra Hashimi

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia Lokalisering av andre ALS laboratorier: Ceska Lipa Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa Pardubice V Raji 906, 530 02 Pardubice Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

Rapport

N1820857

179HT9DRCJI

Mottatt dato **2018-11-16**
Utstedt **2018-12-04**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **GeoReCirc**
Bestnr **20160794**

Analyse av vann

Deres prøvenavn	**DOC 90% 24t Eluat**					
Labnummer	N00621801					
Analyse	**Resultater**	**Usikkerhet (±)**	**Enhet**	**Metode**	**Utført**	**Sign**
Cr (Krom) a ulev	**0.0766**	0.0077	mg/l	1	1	CAFR
Cr3+ a ulev	**<0.0010**		mg/l	1	1	CAFR
Cr6+ a ulev	**76.7**	7.67	µg/l	1	1	CAFR
DOC a ulev	**290**	29	mg/l	2	2	MAMU

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0010 mg/l
2	**Bestemmelse av løst organisk karbon, DOC, i vann** Metode: SM 17udg. 530C Rapporteringsgrenser: LOD 0.2 mg/L Måleusikkerhet: Relativ usikkerhet 4%

	Godkjenner
CAFR	Camilla Fredriksen
MAMU	Marte Muri

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia Lokalisering av andre ALS laboratorier: Ceska Lipa Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa Pardubice V Raji 906, 530 02 Pardubice Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon
2	Ansvarlig laboratorium: ALS Denmark A/S, Bakkegårdsvej 406A, 3050 Humlebæk, Danmark

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet. Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

Rapport

N1820713

16B17A8TEDK

Mottatt dato **2018-11-16**
Utstedt **2018-11-23**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **GeoReCirc**
Bestnr **20160794**

Analyse av vann

Deres prøvenavn	**DOC-vann 0,4 um Eluat**					
Labnummer	N00622329					
Analyse	**Resultater**	**Usikkerhet (±)**	**Enhet**	**Metode**	**Utført**	**Sign**
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0040**	0.0004	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0035**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**0.50**	0.12	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**301**	60.3	mg/l	2	1	SAHM

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0010 mg/l
2	**Løst organisk karbon (DOC) i vann** Metode: EN 1484, EN 16192, SM 5310 Måleprinsipp: IR Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,50 mg/l Måleusikkerhet: 20%

	Godkjenner
SAHM	Sabra Hashimi

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia Lokalisering av andre ALS laboratorier: Ceska Lipa Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa Pardubice V Raji 906, 530 02 Pardubice Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet. Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

Rapport

N1821220

16X4RKZZASG

Mottatt dato **2018-11-22**
Utstedt **2018-11-30**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **GeoReCirc**
Bestnr **20160794**

Analyse av vann

Deres prøvenavn **DOC 90% 7 dager 1**
Eluat

Labnummer N00623198

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**0.0999**	0.0100	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**0.0328**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**67.1**	6.71	µg/l	1	1	SAHM
DOC a ulev	**258**	51.6	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn **DOC 90% 7 dager 2**
Eluat

Labnummer N00623199

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**0.0936**	0.0094	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**0.0263**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**67.3**	6.73	µg/l	1	1	SAHM
DOC a ulev	**251**	50.2	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn **DOC 90% 7 dager 3**
Eluat

Labnummer N00623200

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**0.0935**	0.0094	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**0.0263**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**67.2**	6.72	µg/l	1	1	SAHM
DOC a ulev	**251**	50.2	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 75% 7 dager 1 Eluat**
Labnummer	N00623201

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0910**	0.0091	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0186**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**72.3**	7.23	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**209**	41.8	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 75% 7 dager 2 Eluat**
Labnummer	N00623202

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0981**	0.0098	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0226**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**75.5**	7.55	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**214**	42.7	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 75% 7 dager 3 Eluat**
Labnummer	N00623203

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0966**	0.0096	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0224**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**74.2**	7.42	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**218**	43.6	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 50% 7 dager 1 Eluat**
Labnummer	N00623204

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0879**	0.0088	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0090**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**78.9**	7.89	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**140**	28.0	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 50% 7 dager 2 Eluat**
Labnummer	N00623205

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0921**	0.0092	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**<0.0010**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**98.9**	9.90	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**145**	29.0	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 50% 7 dager 3 Eluat**
Labnummer	N00623206

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0935**	0.0094	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0154**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**78.1**	7.81	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**136**	27.2	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 25% 7 dager 1 Eluat**
Labnummer	N00623207

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0917**	0.0092	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0096**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**82.0**	8.21	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**70.6**	14.1	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 25% 7 dager 2 Eluat**
Labnummer	N00623208

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) [a ulev]	**0.0899**	0.0090	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ [a ulev]	**0.0086**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ [a ulev]	**81.3**	8.13	µg/l	1	1	SAHM
DOC [a ulev]	**67.0**	13.4	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 0% 7 dager 1** **Eluat**
Labnummer	N00623209

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**0.0872**	0.0087	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**0.0038**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**83.4**	8.34	µg/l	1	1	SAHM
DOC a ulev	**0.96**	0.19	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 0% 7 dager 2** **Eluat**
Labnummer	N00623210

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**0.0886**	0.0089	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**0.0070**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**81.6**	8.16	µg/l	1	1	SAHM
DOC a ulev	**0.88**	0.18	mg/l	2	1	SAHM

Deres prøvenavn	**DOC 0% 7 dager 3** **Eluat**
Labnummer	N00623211

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**0.0885**	0.0088	mg/l	1	1	SAHM
Cr3+ a ulev	**0.0051**		mg/l	1	1	SAHM
Cr6+ a ulev	**83.4**	8.34	µg/l	1	1	SAHM
DOC a ulev	**0.77**	0.15	mg/l	2	1	SAHM

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr3+ i vann** Metode: Cr6+: CSN EN 16192, EPA 7199, SM 3500-Cr Cr-total: EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, EPA 6010, SM 3120 Måleprinsipp: Cr3+ beregnes som differansen mellom Cr-total og Cr6+ Cr6+: IC Cr-total: ICP Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,0010 mg/l
2	**Løst organisk karbon (DOC) i vann** Metode: EN 1484, EN 16192, SM 5310 Måleprinsipp: IR Rapporteringsgrenser (LOQ): 0,50 mg/l Måleusikkerhet: 20%

	Godkjenner
SAHM	Sabra Hashimi

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia Lokalisering av andre ALS laboratorier: Ceska Lipa Bendlova 1687/7, 470 03 Ceska Lipa Pardubice V Raji 906, 530 02 Pardubice Kontakt ALS Laboratory Group Norge, for ytterligere informasjon

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

Rapport

N1820494

165G3F9VY7V

Mottatt dato **2018-11-14**
Utstedt **2018-11-21**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
N-0806 Oslo
Norway

Prosjekt **GeoreCirc**
Bestnr **20160794**

Analyse av faststoff

Deres prøvenavn **Kompost jord <4mm**
Jord

Labnummer N00621286

Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Cr (Krom) a ulev	**6.4**	1.92	mg/kg	1	1	ANME
Cr3+ *	**4.7**		mg/kg	1	1	ANME
Cr6+ *	**1.7**		mg/kg	1	1	ANME
Tørrstoff (DK) a ulev	**32.0**	3.2	%	2	1	ANME
TOC a ulev	**35**	5.25	% TS	2	1	ANME

"a" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert ved ALS Laboratory Group Norway AS.
"a ulev" etter parameternavn indikerer at analysen er utført akkreditert av underleverandør.
"*" etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.
Utførende laboratorium er oppgitt i tabell kalt Utf.
n.d. betyr ikke påvist.
n/a betyr ikke analyserbart.
< betyr mindre enn.
> betyr større enn.

	Metodespesifikasjon
1	**Cr total, Cr6+ og Cr3+ i materialer** Metode: ISO 15192:2010, DS259+ICP, beregning for Cr3+ Rapporteringsgrenser: 0,2 mg/kg Måleusikkerhet: Cr total 30 % Cr6+ 40%
2	**Bestemmelse av TOC i jord** Metode: EN 13137:2001 Måleprinsipp: IR Rapporteringsgrenser: 0,1 % TS Måleusikkerhet: Relativ usikkerhet: 15%

	Godkjenner
ANME	Anne Melson

	Utf[1]
1	Ansvarlig laboratorium: ALS Denmark A/S, Bakkegårdsvej 406A, 3050 Humlebæk, Danmark

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.
Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene.
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

[1] Utførende teknisk enhet (innen ALS Laboratory Group) eller eksternt laboratorium (underleverandør).

Den digitalt signert PDF-fil representerer den opprinnelige rapporten. Eventuelle utskrifter er å anse som kopier.

ALS Laboratory Group Norway AS
PB 643 Skøyen, N-0214 Oslo

ALS Sarpsborg
Yvenveien 17, N-1715 Yven

E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00

Web: www.alsglobal.no

Dokumentet er godkjent og digitalt undertegnet av Rapportør

Sabra Hashimi
2018.11.21 15:21:14
Client Service
sabra.hashimi@alsglobal.com

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Utlekking av treverdig og seksverdig krom fra betong		**Dokumentnr./*Document no.*** 20180207-01-TN
Dokumenttype/*Type of document* Teknisk notat / Technical note	**Oppdragsgiver/*Client*** Miljødirektoratet	**Dato/*Date*** 2018-10-03
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/*Proprietary rights to the document according to contract* NGI		**Rev.nr. & dato/*Rev.no. & date*** 1 / 2019-03-07
Distribusjon/*Distribution* BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/*Keywords* Krom, seksverdig, utlekking, betong		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country* Norge, Oslo	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality* Oslo	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location*	**Sted/*Location***
Kartblad/*Map*	**Felt, blokknr./*Field, Block No.***
UTM-koordinater/*UTM-coordinates* **Sone: Øst: Nord:**	**Koordinater/*Coordinates*** **Projeksjon, datum: Øst: Nord:**

Dokumentkontroll/*Document control*
Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to NS-EN ISO9001*

Rev/ Rev.	***Revisjonsgrunnlag/Reason for revision***	**Egenkontroll av/ *Self review by:***	**Sidemanns-kontroll av/ *Colleague review by:***	**Uavhengig kontroll av/ Independent review by:**	**Tverrfaglig kontroll av/ *Inter-disciplinary review by:***
0	Originaldokument	2018-10-03 Cathrine Eckbo	2018-08-12 Sarah Hale		
1	Supplerende tester	2019-02-18 Cathrine Eckbo	2019-02-15 Gudny Okkenhaug		

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Prosjektleder/*Project Manager***
	7. mars 2019	Sarah Hale

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

NGI
OSLO
TRONDHEIM
HOUSTON
PERTH

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Hovedkontor Oslo
PB. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd. Trondheim
PB. 5687 Torgarden
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48
NGI@ngi.no

BANK
KONTO 5096 05 01281
ORG.NR 958 254 318MVA

ISO 9001/14001
CERTIFIED BY BSI
FS 32989/EMS 612006