

Noregs miljø- og biovitenskaplege universitet  
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

2017

ISSN: 2535-2806

MINA fagrapport 40

# Utlekking av metall frå Leca Lettklinker

Elin Gjengedal  
Marie Vollset  
Karl Andreas Jensen



Gjengedal, E., Vollset, M. & Jensen, K.A. 2017. **Utlekking av metall frå Leca Lettklinker**. - MINA fagrapport 40. 40 s.

Ås, april 2017

ISSN: 2535-2806

RETTSHAVAR

© Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)

Publikasjonen kan siterast fritt med referanse til kjelde

TILGJENGE

Open

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRA AV

Forskningsutvalet, MINA, NMBU

OPPDRAGSGJEVAR

Innovasjonsselskapet Ecomotive AS (<http://www.ecomotive.no/>)

FRAMSIDEBILDE

Leca® 10-20 round og Filtralite® NR 10-20. Foto: Elin Gjengedal, NMBU

NØKKEWORD

Grunnstoffsamansetning, kolonnetest, kvalitetsvurdering, lecakuler, ristetest, utlekking

KEY WORDS

Elemental composition, column test, quality assessment, leca balls, batch test, leaching

Elin Gjengedal ([elin.gjengedal@nmbu.no](mailto:elin.gjengedal@nmbu.no)), Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003 NMBU, 1432 Ås

Marie Vollset ([marie.vollset@nmbu.no](mailto:marie.vollset@nmbu.no)), Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003 NMBU, 1432 Ås

Karl Andreas Jensen ([karl.jensen@nmbu.no](mailto:karl.jensen@nmbu.no)), Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003 NMBU, 1432 Ås

## Samandrag

To typer Leca (*Light Expanded Clay Aggregate*) Lettklinker, utgangspunkt for biofilter til reinsing av gråvatn, er undersøkt med omsyn på utlekking av metall i kontakt med ionefritt vatn og vatn bufra til pH 4,0. Utlekk av metall i ristetest (batchforsøk) og kolonnetest danna grunnlag for ei kvalitetsvurdering av dei to slaga Leca (kalla type A og type B).

Konsentrasjon av 65 grunnstoff vart fastsett ved bruk av induktivt kopla plasma massespektrometri.

Analyse av Leca type A, Leca® 10-20 round produsert i Latvia av Saint-Gobain Weber A/S, Ølst, Danmark, inneheld relativ høge konsentrasjonar av svovel og mangan. Innhald av molybden, antimon, tellur og kadmium er også høgare i Leca type A samanlikna med type B, Filtralite® NR 10-20 produsert av Weber Leca Rælingen, Norge. Leca type A har høgast konsentrasjon av dei aller fleste grunnstoff samanlikna med Leca type B. Unntaka, der Leca type B hadde høgast gjennomsnitt var kalium, natrium, nikkel, uran, cesium og thallium.

Filtermassen brukt til reinsing av gråvatn skal ikkje forureine naturmiljøet. Miljøprofilen til eit produkt er bestemt på grunnlag av analyse med omsyn på helse- og miljøfarlege stoff. For mange av grunnstoffa som er bestemt i dette arbeidet er det i dag ikkje sett grenseverdier, sidan kunnskapen om stoffa sin oppførsel i miljøet og potensielle helseeffekt ikkje er kjend. Nivåskilnad mellom Leca type A og Leca type B i totalinnhald av dei ulike grunnstoffa er interessant ut frå eit føre var-prinsipp i vurdering av kvalitet. Leca Lettklinker, utgangspunktet for alle Leca-produkta, blir marknadsført som eit reint naturprodukt som ikkje tynger naturen med avfallsstoff. Dette arbeidet har likevel vist at utlekk i kolonnetest frå Leca type A til ionefritt vatn (pH 6,5) overskrid terskelverdien for arsen, kopar, mangan og nikkel i sigevatn (SFT 2003), medan utlekk fra Leca type B (pH 10) har ingen overskridingar i høve til definerte terskelverdier. Konsentrasjonar over definerte terskelverdier for sigevatn er sett på som uakseptabel risiko, og ei vurdering om det er diffus transport av miljøfarlege stoff ut av deponiet er naudsynt. Ei samanlikning med krav sett til utlekkingspotensial for lagring av lett forureina masser i deponi for inert avfall ( $L/S = 2 \text{ L/kg}$ , *Council Decision 2003/33/EC*) viser at Leca type A i ristetest med ionefritt vatn (pH 6,5) overskrid grenseverdien for svovel og nikkel. Samtidig er utlekk ved  $L/S$  lik 0,1 L/kg i kolonnetest innanfor kravet med omsyn på lagring saman med stabilt ikkje-reaktivt farlig avfall; ikkje desto mindre, konsentrasjonen av svovel i utlekk held fram å auke etter måletidspunktet definert i standardmetoden. For Leca type B derimot, var det inga overskriding for utlekk til ionefritt vatn (pH 10), verken i riste- eller kolonnetest. I forsøk med bufferløysing pH 4,0 vart det målt auka utlekking av metall, både i ristetest og kolonnetest med Leca type A og type B.

Leca type B, norskprodusert Filtralite® NR 10-20, viser best resultat målt i utlekkingsforsøk (pH 10) og rangerast med best kvalitet. Ved bruk som biofilter for reinsing av avlaup er det viktig å sikre drift ved basisk pH for å unngå utlekking av toksiske eller potensielt toksiske grunnstoff. Ut frå eit føre var-prinsipp er det ikkje tilrådeleg å bruke Leca type A i reinsing av gråvatn utan først å undersøkje utlekkingspotensiale under aktivt bruk *in situ*.

## Abstract

Two kinds of Leca (*Light Expanded Clay Aggregate*) balls, basis for bio-filter in treatment of grey water, were examined with respect to leaching of metals when in contact with deionized (DI) water and with water buffered to pH 4.0. Leaching of metals, investigated in a batch and a column experiment, respectively, formed the basis for an environmental quality assessment of the two kinds of Leca® balls (named type A and type B). The concentration of 65 elements was determined using inductively coupled plasma mass spectrometry.

Leca type A, Leca® 10-20 round produced in Latvia by Saint-Gobain Weber a/s, Ølst, Denmark, showed relatively high concentrations of sulphur and manganese. The content of molybdenum, antimony, tellurium, and cadmium was also high in Leca type A compared to type B, Filtralite® NR 10-20 produced by Weber Leca Rælingen, Norway. Considering the majority of elements, Leca type A showed increased concentrations of metals compared to type B. The exceptions, where type B showed the highest concentrations were potassium, sodium, nickel, uranium, caesium, and thallium.

The filter medium used in treatment of grey water should not pollute the environment. The environmental profile of a product is determined on the basis of an analysis with respect to health and environmentally hazardous substances. For many of the elements that are determined in this work, there are no limit values, since knowledge of their behaviour in the environment and potential health effects is lacking. *Leca Lettklinker*, the starting point for all Leca products, is marketed as a clean natural product that put no burden to nature like a waste material. However, eluate collected when Leca type A was percolated with DI water (pH 6.5) demonstrated concentrations of arsenic, copper, manganese, and nickel that exceeded the threshold values for landfill leachate, whereas with Leca type B (pH 10) the threshold values were not exceeded for any of the elements listed. Overstepping a threshold value is seen as an unacceptable risk, and an evaluation is required whether a diffuse transport of environmentally hazardous substances out of the landfill may occur. A comparison with the leaching limit values for waste acceptable at landfills for inert waste ( $L/S = 2 \text{ L/kg}$ , Council Decision 2003/33/EC) shows that, when studied in a batch experiment, the limit values for sulphur and nickel are exceeded in leachate from Leca type A to DI water (pH 6.5). At the same time, the eluate of column test at  $L/S$  equal to  $0.1 \text{ L/kg}$  showed results within the leaching limit values for waste acceptable at landfills for stable non-reactive hazardous waste; not the less, the concentration of sulphur in leachate continue to increase after the measuring time defined in the standard method. For Leca type B on the other hand, there were no values exceeding the limit values to DI water (pH 10), neither in the batch nor in the column test. In trials with buffer pH 4.0, an increased leaching of metals, both in the batch and in the column test were noticed, both for Leca type A and type B.

Leca type B, Filtralite® NR 10-20, produced in Norway, shows the most eco-friendly results in terms of low leaching of metals (pH 10) and is ranked highest with respect to environmental quality. When considering use of Filtralite® NR 10-20 as a bio filter for grey water, it is important to ensure operation at alkaline pH to avoid leaching of toxic or potentially toxic chemical element. Out from a precautionary principle, it is not recommended to use Leca type A in rinsing of grey water without investigating the leaching potential of metals *in situ*.

## Føreord

Det eksperimentelle arbeidet er utført av avdelingsingeniør Marie Vollset i Fakultet for miljøvitskap og naturforvaltning sitt laboratorium for kjemiske analyser. Senioringeniør Karl Andreas Jensen har teke del i planlegging av kolonnetesten og dei kjemiske analysane. Førsteamanuensis Elin Gjengedal var ansvarleg for prosjektet og utforming av rapporten. Takk til Ecomotive AS for økonomisk støtte til prosjektet. Ecomotive AS er eit innovasjonsselskap som i samarbeid med sine eigarar og leiande aktørar frå næringsliv og universitetsmiljø utviklar moderne, ressursnøysame avlaupsløysingar (<http://www.ecomotive.no/>).

## Ordforklaringar og forkortingar

<b>Blankprøve</b>	Ein blank prøve inneheld kjemikaliar nytta i analysen i same mengder (inkludert vatn) og som har gått gjennom identisk analytisk prosedyre som analytt. Resultatet for blanke prøver blir subtrahert frå analyse-resultatet. Dersom resultatet for blanke prøver ikkje er eintydig er analyseresultatet ugyldig
<b>CRM</b>	<i>Certified reference material</i> ; referansemateriale der verdien til ein eller fleire eigenskaper er sertifisert ved ein teknisk gyldig prosedyre som er sporbar til eit sertifikat eller annan dokumentasjon utgitt av eit sertifiseringsorgan
<b>DoP</b>	<i>Declaration of Performance</i> ; ytelseserklæring
<b>DI</b>	<i>Deionized</i> ; ionefritt
<b>Eluent</b>	Løysingsmiddel
<b>EPD</b>	<i>Environmental Product Declaration</i> ; dokumentasjon på miljøprofilen til eit produkt
<b>Gråvatn</b>	Avlaup frå bade-, oppvask- og vaskevatn
<b>HREE</b>	<i>Heavy rare earth elements</i> ; tunge sjeldne jordartsgrunnstoff
<b>Husstandard</b>	Kontrollprøve sporbar til sertifisert referansemateriale
<b>ICPMS</b>	Induktivt koplta plasma massespektrometri
<b>In situ</b>	På staden (Latin)
<b>Ionefritt vatn</b>	Vatn reinsa ved omvendt osmose, ionebytting og ulike filter (partikkel-, kol- og bakteriefilter)
<b>Leca</b>	<i>Light Expanded Clay Aggregate</i> ; eit kuleforma granulat av ekspandert leire med eit hardt keramisk skal omkring ein porøs kjerne
<b>LREE</b>	<i>Light rare earth elements</i> ; lette sjeldne jordartsgrunnstoff
<b>L/S</b>	<i>Liquid/Solid</i> ; væske/fast stoff
<b>LOD</b>	Deteksjonsgrense; den minste mengda eller konsentrasjon av ein analytt som kan påvisast (kvalitativ bestemming) med ein gitt grad av sannsynlighet
<b>LOQ</b>	Kvantifiseringsgrense; den minste mengda eller konsentrasjon av ein analytt som kan kvantifiserast med ein gitt måleusikkerhet

---

<b>Måleusikkerhet</b>	Ein parameter som fortel noko om spreinga i dei underliggande verdiane som eit måleresultat er basert på
<b>NENT</b>	Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitskap og teknologi
<b>pe</b>	En person = 1 pe
<b>RSD</b>	Relativt standard avvik
<b>V/V</b>	volum/volum
<b>w/w</b>	masse/masse
<b>WHO</b>	World Health Organization

---

Samandrag

Abstract

Føreord

Ordforklaringar og forkortingar

## Innhald

1 Innleiing .....	9
2 Metode.....	10
2.1 Produktspesifikasjon for Leca type A og Leca type B.....	10
2.2 Sur dekomponering av lecakuler og kvantitativ bestemming av grunnstoff ved bruk av ICPMS .....	10
2.3 Ristettest (batchforsøk).....	11
2.4 Kolonnetest.....	12
3 Resultat og diskusjon .....	13
3.1 Analyse av Leca type A og type B med omsyn på grunnstoffsamansetning .....	13
3.2 Utlekking av grunnstoff frå Leca type A og B studert i ristetest ved ulik pH og ionestyrke .....	16
3.3 Utlekking av grunnstoff frå Leca type A og B studert i kolonnetest ved ulik pH og ionestyrke .....	22
3.4 Grunnstoffkonsentrasjonar målt i utlekk frå lecakuler sett i samanheng med relevante forskrifter og grenseverdier .....	24
4 Konklusjon .....	28
5 Referansar.....	30
Vedlegg A – Produktdatablad Leca type A (Leca® 10-20 round).....	32
Vedlegg B – Produktdatablad Leca type B (Filtralite® NR 10-20 .....	33
Vedlegg C – Resultat frå ristetest.....	34
Vedlegg D – Deteksjons- og kvantifiseringsgrenser.....	37
Vedlegg E – Perodesystemet.....	40



## 1 Innleiing

Leca (*Light Expanded Clay Aggregate*) er ei rekkje ulike slag produkt, alle basert på brend leire. Leca Lettklinker, også kjend som laus Leca og Leca kuler, er utgangspunktet for alle Leca-produkta. Leiren blir tørka og brend i store rotéomnar, og ekspanderer ved omlag 1200 °C til eit kuleforma granulat av ekspandert leire med eit hardt keramisk skal omkring ein porøs kjerne.

AS Norsk Leca vart etablert i 1954, men har sidan vore gjennom en rekkje omorganiseringar og eigarskifte. I dag er Leca ein del av det franske selskapet Saint-Gobain, som mellom anna driv verksemdar knytt til produksjon av Leca i 12 europeiske land. Leca Lettklinker blir marknadsført som et reint naturprodukt som ikkje tyngjer naturen med avfallsstoff ([www.leca.no](http://www.leca.no)). Produktet sine gode fysiske eigenskapar gjer det eigna som eit byggemateriale og bruksområda er mange. I dette arbeidet skulle to slag Leca Lettklinker (her etter omtalt som lecakuler) til bruk som filtermasse i reinseanlegg for gråvatn undersøkjast i laboratoriet. Dei to produkta er omtalt som Leca type A (Leca® 10-20 round, produsert i Latvia av Saint-Gobain Weber A/S, Ølst, Danmark) og Leca type B (Filtralite® NR 10-20, produsert av Weber Leca Rælingen, Norge, <http://www.filtralite.com/en/home-page>).

EPD (*Environmental Product Declaration*) gir miljøprofilen til eit produkt. Eksempelvis er Leca Lettklinker ISO 10-20 gitt beste karakter; produktet har fått karakteren 1 fordi i) produktet ikkje inneheld helse- og miljøfarlege stoff og ii) det ikkje er nytta helse- og miljøfarlege stoff i framstillingsprosessen. Lista over helse- og miljøfarlege stoff inneheld stoff som er dokumentert skadeleg; denne kunnskapen er mangelfull. I dette arbeidet er ei meir omfattande kjemisk analyse blitt utført. For mange av grunnstoffa er det i dag ikkje sett grenseverdier, sidan kunnskapen om stoffa sin oppførsel i miljøet og potensiell helseeffekt ikkje er kjend. § 9 i Lov om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven) (Klima- og miljødepartementet, 2009) seier, sitat «*Når det treffes en beslutning uten at det foreligger tilstrekkelig kunnskap om hvilke virkninger den kan ha for naturmiljøet, skal det tas sikte på å unngå mulig vesentlig skade på naturmangfoldet. Foreligger en risiko for alvorlig eller irreversibel skade på naturmangfoldet, skal ikke mangel på kunnskap brukes som begrunnelse for å utsette eller unnlate å treffe forvaltningstiltak*». Same resonnement kan nyttast opp imot potensielle helseeffekt; sjå forskingsetiske retningslinjer utarbeida av Den nasjonale forskingsetiske komité for naturvitskap og teknologi (NENT) i 2007 og omarbeida i 2015. Retningslinjene supplerer eksisterande internasjonale forskingsetiske retningslinjer.

Ei teknisk godkjenning (TG) dokumenterer alle relevante eigenskapar for eit produkt i høve til krav i teknisk forskrift. DoP – ei ytelseserklæring (*Declaration of Performance*) skal ifølgje reglane innehalde opplysningar om produsent, tilsikta bruk og ytelse for produktet, kva teknisk kontrollorgan som har vore involvert, kva oppgåver som det tekniske kontrollorganet har utført og kva sertifikat det tekniske kontrollorganet har skrivne ut. Vesentlege eigenskapar som *utlekking av kjemiske stoff* er likevel ofte ikkje oppgitt.

Ecomotive AS utviklar bærekraftige avlaupsløysingar, det vil seie at produkta skal ha minimal påverknad på naturmiljøet. Dette arbeidet omfattar ei karakterisering av lecakuler

med omsyn på totalinnhald av grunnstoff, samt ein ristetest og ein kolonnetest for å undersøkje utlekking av grunnstoff under ulike kjemiske tilhøve (pH og ionestyrke). Forsøket simulerer sure tilhøve (pH 4,0) og «naturlige tilhøve» i eit biofilter. Gråvatn frå fritidsbustader inn til eit reinseanlegg vil typisk ha pH 6,5 – 7,5. I test med Filtralite® NR 10-20 som biofilter er det målt pH 7,1 – 8,6 i utlaup (Hensel 2008). I dette laboratorieforsøket er gråvatn erstatta med ionefritt vatn (pH 6), og pH i forsøk med Leca type A i ionefritt vatn vart pH 6,5, medan forsøk med Leca type B i ionefritt vatn hadde pH 10. For å kunne skilje mellom Leca type A og B med omsyn på kvalitet er det naudsynt å undersøkje variasjonar innan og mellom produksjonsseriar; analyse av fleire prøver frå kvar batch gir eit mål på presisjon og eit grunnlag for å diskutere eventuelle skilnader. Kvalitetsvurderinga er grunna i eit føre var-prinsipp; type Leca med lågast innhald av toksiske eller potensielt toksiske grunnstoff målt i utlekkingsforsøk blir rangert med best kvalitet.

## 2 Metode

### 2.1 Produktspesifikasjon for Leca type A og Leca type B

Tettleik (*loose bulk density*) for Leca type A (Leca® 10-20 round; Fig. 1) er i produktdatabladet oppgitt som 225 – 295 kg/m<sup>3</sup>, med ein typisk verdi på 260 kg/m<sup>3</sup>. Aggregatstorleiken er oppgitt som 8 – 20 mm (Vedlegg A). Leca type B (Filtralite® NR 10-20; Fig. 1) har en tettleik på 260 kg/m<sup>3</sup> ± 50 kg/m<sup>3</sup> og aggregatstorleik lik 10- 20 mm (Vedlegg B).



**Figur 1.** Til venstre: Leca type A (Leca® 10-20 round, produsert i Latvia av Saint-Gobain Weber A/S, Ølst, Danmark). Til høgre: Leca type B (Filtralite® NR 10-20, produsert av Weber Leca Rælingen, Norge, <http://www.filtralite.com/en/home-page>).

### 2.2 Sur dekomponering av lecakuler og kvantitativ bestemming av grunnstoff ved bruk av ICPMS

Lecakulene vart knust og omtrent 0,250 g av homogenisert prøve var vege inn for syredekomponering ved bruk av mikrobølgjeteknikk. To ulike prøveprepareringar vart nytta (Tabell 1).

**Tabell 1.** Prøveprepareringar for å løyse grunnstoff frå kjemiske bindingar i Leca. Salpetersyre er en sterk oksiderande syre. Nokre grunnstoff er bunde i krystallstrukturar der kjemiske bindingar ikkje blir brote ned av salpetersyre åleine. Flussyre løyser silikat. Alle grunnstoff må vere som ion i løysning for instrumentell analyse på ICPMS.

Leca	Talet på parallellar (n)	Syretilsetning for dekomponering	Kompleksbindar for stabilisering av dekomponert prøve
A	8	5 mL salpetersyre (69% (w/w)* HNO <sub>3</sub> )	1,0 mL saltsyre (37% (w/w) HCl)
A	7	5 mL salpetersyre (69% (w/w) HNO <sub>3</sub> ) + 1 mL flussyre (48% (w/w) HF)	
B	8	5 mL salpetersyre (69% (w/w) HNO <sub>3</sub> )	1,0 mL saltsyre (37% (w/w) HCl)
B	7	5 mL salpetersyre (69% (w/w) HNO <sub>3</sub> ) + 1 mL flussyre (48% (w/w) HF)	

\*w/w = masse/masse

Replikate prøver av knuste og homogeniserte lecakuler og tilhøyrande blankprøver vart dekomponert i Milestone Ultraclave ved trinnvis temperaturstigning til ein maksimumstemperatur på 260 °C og eit maksimumstrykk på 150 bar. Dekomponeringa skjer i eit lukka kammer, der trykket i kammeret alltid er høgare enn damptrykket i prøverøyret som inneheld knust Leca og syre. Rotasjon av polare molekylar (vatn) og migrasjon av ion (frå tilsett syre) i eit vekslende elektromagnetisk felt skapar friksjonsvarme, og når dette skjer i eit lukka kammer under høgt trykk er det mulig å oppnå ein høg temperatur utan at prøva kokar. Gitt riktig val av syre vil kjemiske bindingar bli brotne og grunnstoffa vere som ion i løysing, klar for kvantitativ bestemming på ICPMS.

Prøvene som berre var tilsett 69% (w/w) HNO<sub>3</sub> før dekomponering vart tilsett 1,0 mL 37% (w/w) HCl etter dekomponering, slik at dei etter fortynning med ionefritt vatn hadde ein syrekonsentrasjon på 10% (V/V) HNO<sub>3</sub> og 2% (V/V) HCl. Prøvene som var tilsett flussyre vart fortynna 10 gonger i 15 mL sentrifugerør til ein syrekonsentrasjon på 1% (V/V) HNO<sub>3</sub> og 0,2% (V/V) HF.

Kvantitativ bestemming vart utført ved bruk av Agilent 8800 QQQ ICPMS. Ein husstandard (1643H) vart analysert som uavhengig kontroll på kalibreringa av instrumentet. Husstandarden er sporbar til sertifisert referansemateriale (CRM) National Institute of Standards and Technology (NIST) *1643e Trace elements in water*. NIST *Montana II Soil 2711a Moderately Elevated Trace Element Concentrations* vart analysert for å bestemme nøyaktighet i metoden.

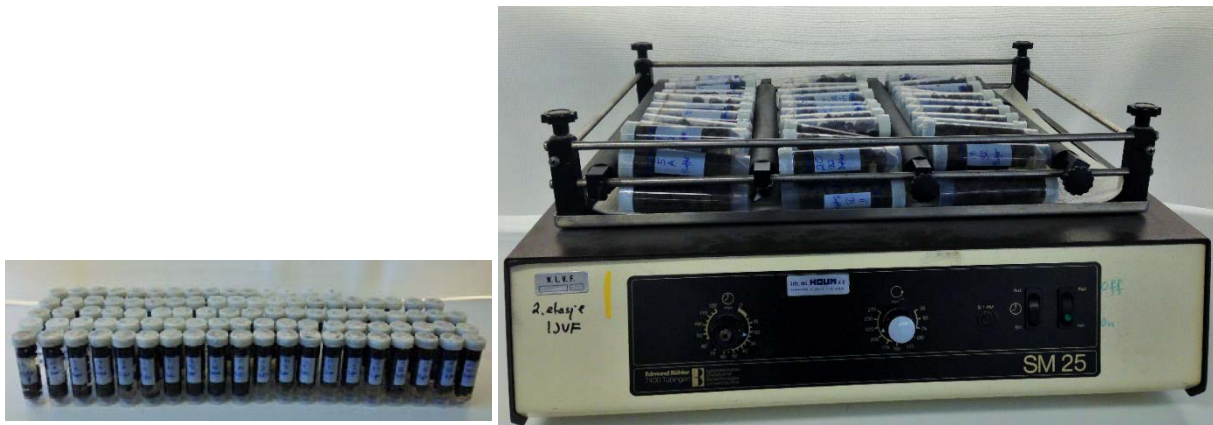
### 2.3 Ristettest (batchforsøk)

Intakte lecakuler av to ulike leveransar av type A og av type B gjennomgjekk fire ulike prøveprepareringar, kvar med 5 parallellar: i) 12 g lecakuler i 25 mL ionefritt vatn; ii) 12 g lecakuler i 25 mL bufferløysing; iii) 12 g lecakuler vart bløytlagt i ionefritt vatn i 2 timar,

deretter overført til 25 mL ionefritt vatn; og iv) 12 g lecakuler vart bløytlagt i ionefritt vatn i 2 timar, deretter overført til 25 mL bufferløysing.

Forsøket simulerer stagnasjon under sure tilhøve (pH 4,0) og «naturlige tilhøve» i eit biofilter. pH i forsøk med Leca type A i ionefritt vatn hadde pH 6,5, medan forsøk med Leca type B i ionefritt vatn hadde pH 10. Bufferen inneheld eddiksyre (analysekvalitet) og natriumacetat (tri-hydrat, pro analyse). Leiingsevna i bufferløysinga vart bestemt til 5,3 mS/cm, samanlika med 1,0  $\mu$ S/cm i ionefritt vatn (WTW pH/Cond 340i).

Talet på prøver til analyse vart 96, medrekna 16 blanke prøver. Etter 24 timar på ristemaskin ved låg hastighet for å unngå friksjon mellom lecakulene (Fig. 2), vart ca 13 mL av vatnet helt over i nye rør og sentrifugert; til slutt vart 9,5 mL pipettert ut og tilsett 0,5 mL 69% (w/w) HNO<sub>3</sub> for konservering. Prøver med ionefritt vatn vart analysert direkte, medan prøvene med buffer vart fortynna 10 gonger før kvantitativ bestemming ved bruk av Agilent 8800 QQQ ICPMS. Husstandarden 1643H vart analysert som kontroll.



**Figur 2.** Forsøksoppsett for ristetest. Forsøket simulerer stagnasjon under sure tilhøve (pH 4,0) og «naturlige tilhøve» i eit biofilter. pH i forsøk med Leca type A i ionefritt vatn hadde pH 6,5, medan forsøk med Leca type B i ionefritt vatn hadde pH 10. Forsøket varte i 24 timar. Leiingsevna i bufferløysinga var 5,3 mS/cm mot 1,0  $\mu$ S/cm i ionefritt vatn.

## 2.4 Kolonnetest

Tolv glaskolonnar (lengde 31 cm; diameter 4,1 cm; volum 0,41 L) vart fylt med intakte lecakuler, derav seks med type A og seks med type B. Alle kolonnane vart gjennomstrømde oppstraums med ei løysing, seks med ionefritt vatn og seks med buffer. Dette gjev fire kombinasjonar, kvar med 3 parallellar: i) Leca type A og ionefritt vatn; ii) Leca type B og ionefritt vatn; iii) Leca type A og ionefritt vatn bufra til pH 4,0; og iv) Leca type B og ionefritt vatn bufra til pH 4,0. Bufferen inneheld eddiksyre (analysekvalitet) og natriumacetat (tri-hydrat, pro analyse). Leiingsevna i bufferløysinga var 5,3 mS/cm, samanlikna med 1,0  $\mu$ S/cm i ionefritt vatn.

Peristaltiske pumper gav ein gjennomstrøymingshastighet på 2 mL/min. Kvar kolonne hadde eit væskevolum på 160 – 170 mL og en gjennomsnittleg masse av lecakuler lik 95 g. Det vart gjort uttak av fire sett med prøver dagen forsøket starta; ved oppstart, etter 30 minutt, etter 1 time, samt etter 1,5 – 2 timar. Deretter vart det teke eit sett med prøver kvar dag i sju dagar; ei prøver á 10 mL frå kvar av dei 12 kolonnane.

Underveis vart pH målt til 4,0 i stikkprøver frå kolonnane med buffer, 6,5 i kolonnar med ionefritt vatn og Leca type A, og 10 i kolonnar med ionefritt vatn og Leca type B (Radiometer analytical PHM210 Standard pH Meter; Ross kombinert indikator og referanselektrode).



**Figur 3.** Forsøksoppsett for oppstraums kolonnetest. Forsøket simulerer tilhøve i eit biofilter. Ei peristaltisk pumpe gav ein konstant gjennomstrøymingshastighet i forsøket på 2 mL/min. Forsøket varte i ei veke. Leiingsevna i bufferløysinga var 5,3 mS/cm mot 1,0  $\mu$ S/cm i ionefritt vatn.

Prøvene vart analysert ved bruk av Agilent 8800 QQQ ICPMS. Prøvene frå kolonnane gjennomstrøymde med ionefritt vatn vart tilsett salpetersyre (Sub boiled ultra pure) før kvantitativ bestemming på ICPMS, medan prøvene frå kolonnane som var gjennomstrøymde med buffer vart fortynna ti gonger med ionefritt vatn og tilsett salpetersyre. Alle prøvene hadde ein syrekonsentrasjon på 5%. Husstandarden 1643H vart analysert som kontroll på nøyaktighet i kalibrering av instrumentet. NIST 1640 Trace elements in natural water vart analysert som kontroll på nøyaktighet i metoden.

### 3 Resultat og diskusjon

#### 3.1 Analyse av Leca type A og type B med omsyn på grunnstoffsamansetning

For å kunne skilje mellom Leca type A og type B var det naudsynt å undersøke både variasjonar innan og mellom ulike produksjonar (parti) av Leca. Analyse av fleire prøver innan ein produksjon gjev eit mål på presisjon og eit grunnlag for å diskutere eventuelle skilnader mellom ulike parti av same type Leca og mellom ulike slag Leca. Med unntak av molybden og wolfram, som begge fekk høge RSD-verdiar, var variasjonen innan same produksjon liten og jamt over lågare enn 20% (Tabell 2 og 3). Det tyder på at prøvematerialet vart godt homogenisert før uttak av prøver til dekomponering og at analyseresultata er representative for kvar type Leca.

Med omsyn på totalkonsentrasjon har Leca type A høgare konsentrasjon av dei aller fleste grunnstoff samanlikna med type B. Unntaka, der Leca type B hadde høgast gjennomsnittskonsentrasjon var magnesium, silisium, kalium, natrium, nikkell, bly, uran,

cesium og thallium; standardavviket viser likevel at skilnaden med omsyn på magnesium, silisium og bly var ubetydeleg. To grunnstoff som utmerka seg med høge konsentrasjonar og klart høgare i Leca type A samanlikna med type B, var svovel og mangan. Molybden, antimon, tellur og kadmium viste óg høgare konsentrasjonar i Leca type A samanlikna med type B. Begge slaga Leca inneheld dessutan høge konsentrasjonar av titan.

Det engelske ordet «*rare earth metals*» (REE) er misvisande, sidan mange av grunnstoffa ikkje er sjeldne, men tvert om er vanlege – Til dømes er cerium like vanleg som kopar (Rayner-Canham & Overton, 2014). Yttrium finn ein i den same malmen som lantanoidane. Dei lette sjeldne jordartsgrunnstoffa (*light rare earth elements*, LREE) (lantan, cerium, praseodym, neodym, promethium, samarium; sjå vedlegg E) har høgare førekomst i jordskorpa enn dei tunge sjeldne jordartsgrunnstoffa (*heavy rare earth elements*, HREE) (yttrium, europium, lutetium). Mellom actinidane er det grunnstoffa thorium og uran som er bestemt i dette arbeidet. Utgangspunktet for Leca er brend leire og den kjemiske samansetninga av lecakulene viser at ei lang rekkje grunnstoff er representert. Tabell 2 og 3 gjev ein oversikt over grunnstoffsamansetninga av Leca. Grunnstoffa er lista etter minkande konsentrasjon målt i Leca type A.

**Tabell 2.** Gjennomsnitt, standardavvik (SD) og relativt standardavvik (RSD) for grunnstoff i prøver av Leca dekomponert med salpetersyre og konserverert med saltsyre. Sjå vedlegg D for deteksjons- og kvantifiseringsgrenser (LOD, LOQ). Eit høve >1 mellom dei to slaga Leca (A/B) viser at konsentrasjon målt i Leca type A er høgare enn i Leca type B.

Atom- nr	Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A (n=7)		Leca type B (n=7)		A/B
		Gjennomsnitt ± SD [mg/kg]	RSD [%]	Gjennomsnitt ± SD [mg/kg]	RSD [%]	
13	Aluminium (Al)*	$(30 \pm 2,2) \cdot 10^3$	8	$(11 \pm 0,85) \cdot 10^3$	8	2,6
12	Magnesium (Mg)	$(5,6 \pm 0,53) \cdot 10^3$	10	$(6,0 \pm 0,54) \cdot 10^3$	9	0,93
58	Cerium (Ce)	$22 \pm 2,9$	14	$10 \pm 1,7$	17	2,2
57	Lantan (La)	$9,0 \pm 1,5$	16	$5,0 \pm 0,76$	15	1,8
37	Rubidium (Rb)*	$8,7 \pm 0,82$	9	$4,7 \pm 0,69$	15	1,9
39	Yttrium (Y)	$7,5 \pm 0,96$	13	$1,8 \pm 0,30$	16	4,2
59	Praseodym (Pr)	$2,3 \pm 0,32$	14	$1,2 \pm 0,19$	16	1,9
62	Samarium (Sm)	$1,9 \pm 0,26$	14	$0,74 \pm 0,12$	16	2,6
64	Gadolinium (Gd)	$1,7 \pm 0,24$	14	$0,53 \pm 0,077$	15	3,2
66	Dysprosium (Dy)	$1,5 \pm 0,22$	15	$0,36 \pm 0,060$	17	4,2
90	Thorium (Th)	$1,5 \pm 0,24$	16	$0,94 \pm 0,14$	15	1,6
68	Erbium (Er)	$0,81 \pm 0,10$	13	$0,18 \pm 0,028$	16	4,5
63	Europium (Eu)	$0,60 \pm 0,054$	9	$0,14 \pm 0,022$	16	4,3
65	Terbium (Tb)	$0,27 \pm 0,034$	13	$0,070 \pm 0,011$	16	3,9
69	Thulium (Tm)	$0,11 \pm 0,017$	15	$0,025 \pm 0,0032$	13	4,4
79	Gull (Au)	<LOQ	-	<LOD	-	-
80	Kvikksølv (Hg)	<LOD	-	<LOD	-	-

\*Totalkonsentrasjon er underestimert ved dekomponering

**Tabell 3.** Gjennomsnitt, standardavvik (SD) og relativt standardavvik (RSD) for grunnstoff i prøver av Leca dekomponert med salpetersyre og flussyre. Sjå vedlegg D for deteksjons- og kvantifiserings-grenser (LOD, LOQ). Eit høve >1 mellom dei to slaga Leca (A/B) viser at konsentrasjon målt i Leca type A er høgare enn i Leca type B.

Atom- nr	Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A (n=8)		Leca type B (n=8)		A/B
		Gjennomsnitt ± SD [mg/kg]	RSD [%]	Gjennomsnitt ± SD [mg/kg]	RSD [%]	
14	Silisium (Si)*	$(160 \pm 6,9) \cdot 10^3$	4	$(170 \pm 4,9) \cdot 10^3$	3	0,94
26	Jern (Fe)	$(60 \pm 3,2) \cdot 10^3$	6	$(38 \pm 0,53) \cdot 10^3$	1	1,5
20	Kalsium (Ca)	$(23 \pm 0,95) \cdot 10^3$	4	$(14 \pm 1,1) \cdot 10^3$	8	1,6
19	Kalium (K)*	$(7,3 \pm 0,31) \cdot 10^3$	4	$(16 \pm 0,58) \cdot 10^3$	4	0,46
22	Titan (Ti)	$(6,9 \pm 0,30) \cdot 10^3$	4	$(4,6 \pm 0,038) \cdot 10^3$	1	1,5
11	Natrium (Na)	$(6,1 \pm 0,46) \cdot 10^3$	8	$(13 \pm 0,53) \cdot 10^3$	4	0,47
25	Mangan (Mn)	$(3,5 \pm 0,18) \cdot 10^3$	5	$(0,91 \pm 0,044) \cdot 10^3$	5	3,9
16	Svovel (S)	$(3,4 \pm 0,37) \cdot 10^3$	11	$(0,65 \pm 0,026) \cdot 10^3$	4	5,2
15	Fosfor (P)	$(2,0 \pm 0,33) \cdot 10^3$	16	$(0,97 \pm 0,012) \cdot 10^3$	1	2,1
56	Barium (Ba)*	500 ± 31	6	410 ± 25	6	1,2
38	Strontium (Sr)*	390 ± 9,8	3	129 ± 3,8	3	3,0
23	Vanadium (V)	250 ± 0,0	0	153 ± 4,9	3	1,6
30	Sink (Zn)*	210 ± 28	13	107 ± 4,9	5	2,0
40	Zirkonium (Zr)	150 ± 3,8	2	84 ± 2,2	3	1,8
28	Nikkel (Ni)	150 ± 12	8	230 ± 22	9	0,65
24	Krom (Cr)*	150 ± 37	24	80 ± 1,8	2	2,3
5	Bor (B)	140 ± 12	9	<LOQ	-	-
29	Kopar (Cu)	110 ± 7,6	7	45 ± 0,79	2	2,4
3	Litium (Li)	75 ± 5,8	8	39 ± 0,69	2	1,9
27	Kobolt (Co)	47 ± 4,0	9	21 ± 2,3	11	2,2
82	Bly (Pb)	21 ± 1,3	6	23 ± 0,98	4	0,91
42	Molybden (Mo)	20 ± 11	74	2,9 ± 0,053	2	6,9
60	Neodym (Nd)	19 ± 0,38	2	17 ± 0,49	3	1,1
33	Arsen (As)	14 ± 0,76	5	7,1 ± 0,17	2	2,0
21	Scandium (Sc)	8,5 ± 1,2	14	4,8 ± 0,45	9	1,8
50	Tinn (Sn)	6,7 ± 1,6	23	2,6 ± 0,098	4	2,6
72	Hafnium (Hf)	4,0 ± 0,15	4	2,5 ± 0,098	4	1,6
74	Wolfram (W)	4 ± 2,5	59	1,1 ± 0,00	0	4
32	Germanium (Ge)	2,6 ± 0,16	6	1,6 ± 0,11	7	1,6
92	Uran (U)	2,6 ± 0,13	5	3,4 ± 0,053	2	0,77
4	Beryllium (Be)	2,5 ± 0,079	3	2,5 ± 0,038	2	1,0
34	Selen (Se)	2,4 ± 0,49	20	<LOQ	-	-
51	Antimon (Sb)	2,1 ± 0,12	5	0,44 ± 0,013	3	4,8
70	Ytterbium (Yb)	1,3 ± 0,37	28	0,78 ± 0,078	10	1,7
73	Tantal (Ta)	1,1 ± 0,053	5	1,1 ± 0,00	0	1,0
55	Cesium (Cs)	0,63 ± 0,039	6	0,86 ± 0,061	7	0,73

Tabell 3 held fram.

Atom- nr	Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A (n = 7)		Leca type B (n = 7)		A/B
		Gjennomsnitt ± SD [mg/kg]	RSD [%]	Gjennomsnitt ± SD [mg/kg]	RSD [%]	
67	Holmium (Ho)	0,5 ± 0,15	32	0,25 ± 0,023	9	2
81	Thallium (Tl)	0,43 ± 0,025	6	0,70 ± 0,021	3	0,61
83	Vismut (Bi)	0,33 ± 0,067	20	0,21 ± 0,034	16	1,6
52	Tellur (Te)	0,28 ± 0,033	12	0,053 ± 0,0067	13	5,3
48	Kadmium (Cd)	0,28 ± 0,10	37	0,066 ± 0,017	27	4,2
47	Sølv (Ag)	0,23 ± 0,021	9	0,11 ± 0,0038	3	2,1
71	Lutetium (Lu)	0,20 ± 0,056	29	0,12 ± 0,011	9	1,7
49	Indium (In)	0,085 ± 0,011	13	0,068 ± 0,0054	8	1,3
45	Rhodium (Rh)	<LOQ	-	<LOQ	-	-
77	Iridium (Ir)	<LOQ	-	<LOQ	-	-

\*Totalkonsentrasjon er underestimert ved dekomponering

### 3.2 Utlekking av grunnstoff frå Leca type A og B studert i ristetest ved ulik pH og ionestyrke

Grunnstoff med høgast totalkonsentrasjon i Leca vil ikkje nødvendigvis vere grunnstoff med høgast konsentrasjon i utlekk. Det er styrken på kjemiske bindingar og korleis dei blir påverka av ulike kjemiske tilhøve, eksempelvis pH og ionestyrke, som bestemmer grad av utlekking. I ein ristetest vil kjemiske reaksjonar gå inntil det innstiller seg ei jamvekt mellom grunnstoff i løysing og grunnstoff bunde/assosiert til fast stoff. I dette forsøket vart kontakttida bestemt til 24 timar utan at tid for jamvekt var kjend. Tabell C1 i vedlegg C viser utlekking av grunnstoff frå Leca type A og type B ved ulik pH og ionestyrke; utrekna som i) prosent av totalinnhald, og som ii) mg utlekk frå eit kilo Leca når høvet mellom væske og fast stoff var lik to ( $L/S \cong 2$ ). Tabell 4 viser høvet A/B som er utrekna på grunnlag av utlekk ved  $L/S \cong 2$  når masse Leca er lik 1 kg. Eit høve A/B >1 viser at konsentrasjon målt i utlekk frå Leca type A var høgare enn i utlekk frå Leca type B. Til samanlikning er volumkonsentrasjonar av grunnstoffa målt i utlekk vist i figurane 4 – 6.

Grunnstoffa som viste dei høgaste konsentrasjonane i dekomponert Leca var silisium, jern og aluminium (Tabell 2 og 3). Konsentrasjonen av jern og aluminium var høvesvis 1,5 og 2,6 gonger høgare i Leca type A samanlikna med type B, medan konsentrasjonen av silisium var omtrent lik i type A og B, når det blir teke omsyn til spreinga i målingane. Mangan og svovel viste eit høgare innhald i Leca type A samanlikna med type B, likeeins fosfor; forholdet A/B var høvesvis 3,9, 5,2 og 2,1 for kvart av dei tre grunnstoffa (Tabell 3). Ristetsten med Leca speglar skilnaden i totalinnhald mellom dei to slaga Leca; målt i løysing viser til dømes mangan og svovel klart høgast utlekk frå Leca type A samanlikna med type B, både i utlekk til ionefritt vatn og i utlekk til bufferløysing (Fig. 4). Ved å sjå på høvet A/B i utlekk til ionefritt vatn, er det særleg grunnstoffa jern, titan, magnesium, mangan, svovel, barium, strontium, litium og molybden som skil seg ut, alle med eit høve A/B høgare enn fem (Tabell 4). Kalium, fosfor, sink, kopar, kobolt, bly, lantan, rubidium, yttrium, samarium, gadolinium,



dysprosium, ytterbium, erbium, europium, holmium, kadmium, terbium, lutetium og thulium viser alle størst utlekk frå Leca type A (Tabell 4; Fig. 4 – 5).

**Tabell 4.** Utlekk (mg) av grunnstoffa målt i ristetest når  $\mu\text{L/S} \cong 2$  ( $n=5$ ). I forsøk med Leca type A i ionefritt vatn var pH lik 6,5, medan i forsøk med Leca type B i ionefritt vatn var pH lik 10. pH i forsøk med bufferløysing var 4,0. Leiingsevna i bufferløysinga 5,3 mS/cm mot 1,0  $\mu\text{S/cm}$  i ionefritt vatn. Høvet A/B er utrekna på grunnlag av utlekk ved  $\text{L/S} \cong 2$  når masse Leca er lik 1 kg (Sjå Tabell C1). Eit høve  $>1$  mellom dei to slaga Leca (A/B) viser at konsentrasjon målt i Leca type A er høgare enn i Leca type B.

Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A			Leca type B			A/B	A/B
	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk per kg Leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk per kg Leca til buffer- løysing [mg]	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk per kg Leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk per kg Leca til buffer- løysing [mg]	Utlekk til ionefritt vatn	Utlekk til buffer- løysing
<b>Silisium (Si)</b>	$160 \cdot 10^3$	3,5	99	$170 \cdot 10^3$	20	340	0,18	0,29
<b>Jern (Fe)</b>	$60 \cdot 10^3$	0,01	41	$38 \cdot 10^3$	0,002	91	5,0	0,45
<b>Aluminium (Al)</b>	$30 \cdot 10^3$	0,09	60	$11 \cdot 10^3$	1,5	140	0,060	0,43
<b>Kalsium (Ca)</b>	$23 \cdot 10^3$	170	550	$14 \cdot 10^3$	87	1300	2,0	0,42
<b>Kalium (K)</b>	$7,3 \cdot 10^3$	31	44	$16 \cdot 10^3$	10	18	3,1	2,4
<b>Titan (Ti)</b>	$6,9 \cdot 10^3$	0,001	0,05	$4,6 \cdot 10^3$	0,00013	0,46	7,7	0,1
<b>Magnesium (Mg)</b>	$5,6 \cdot 10^3$	13	73	$6,0 \cdot 10^3$	0,29	200	45	0,37
<b>Mangan (Mn)</b>	$3,5 \cdot 10^3$	1,3	67	$0,91 \cdot 10^3$	0,00008	2,6	16	26
<b>Svovel (S)</b>	$3,4 \cdot 10^3$	250	320	$0,65 \cdot 10^3$	25	72	10	4,4
<b>Fosfor (P)</b>	$2,0 \cdot 10^3$	0,026	5,2	$0,97 \cdot 10^3$	0,0080	2,6	3,3	2,0
<b>Barium (Ba)</b>	500	0,11	0,24	410	0,013	1,1	8,5	0,22
<b>Strontium (Sr)</b>	390	1,5	0,24	129	0,076	0,67	20	0,36
<b>Vanadium (V)</b>	250	0,0065	0,085	153	0,051	0,47	0,13	0,18
<b>Sink (Zn)</b>	210	-	0,67	107	-	0,50	-	1,3
<b>Zirkonium (Zr)</b>	150	-	0,01	84	-	0,026	-	0,4
<b>Nikkel (Ni)</b>	150	0,39	6,6	230	-	7,4	-	0,89
<b>Krom (Cr)</b>	150	-	0,03	80	-	0,096	-	0,3
<b>Kopar (Cu)</b>	110	0,008	4,3	45	-	0,77	-	5,6
<b>Litium (Li)</b>	75	2,1	4,4	39	0,014	0,13	150	34
<b>Kobolt (Co)</b>	47	0,066	1,1	21	-	0,12	-	9,2
<b>Cerium (Ce)</b>	22	0,0001	0,21	10	-	0,25	-	0,84
<b>Bly (Pb)</b>	21	-	0,057	23	-	0,23	-	2,5
<b>Molybden (Mo)</b>	20	0,02	0,015	2,9	0,0090	0,064	22	0,23
<b>Neodym (Nd)</b>	19	0,0001	0,25	17	-	0,39	-	0,64
<b>Arsen (As)</b>	14	0,008	0,18	7,1	0,014	0,47	0,57	0,38
<b>Lantan (La)</b>	9,0	0,005	0,099	5,0	-	0,012	-	8,3

Tabell 4 held fram.

Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A			Leca type B			A/B	A/B
	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk per kg Leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk per kg Leca til buffer- løysing [mg]	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk per kg Leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk per kg Leca til buffer- løysing [mg]	Utlekk til ionefritt vatn	Utlekk til buffer- løysing
<b>Rubidium (Rb)</b>	8,7	0,040	0,096	4,7	0,036	0,089	1,1	1,1
<b>Yttrium (Y)</b>	7,5	0,00006	0,14	1,8	-	0,072	-	1,9
<b>Tinn (Sn)</b>	6,7	-	-	2,6	-	0,003	-	-
<b>Hafnium (Hf)</b>	4,0	0,000008	0,0003	2,5	0,000005	0,00073	2	0,41
<b>Wolfram (W)</b>	4	0,0003	0,0048	1,1	-	-	-	-
<b>Germanium (Ge)</b>	2,6	0,00065	0,029	1,6	0,001	0,18	0,65	0,16
<b>Uran (U)</b>	2,6	0,000005	0,010	3,4	0,0000048	0,016	1	0,63
<b>Beryllium (Be)</b>	2,5	-	0,0078	2,5	-	0,013	-	0,60
<b>Selen (Se)</b>	2,4	0,041	0,065	-	-	-	-	-
<b>Praseodym (Pr)</b>	2,3	0,00001	0,028	1,2	-	0,028	-	1
<b>Antimon (Sb)</b>	2,1	0,00063	0,0027	0,44	0,0011	0,0062	0,57	0,44
<b>Samarium (Sm)</b>	1,9	-	0,029	0,74	-	0,019	-	1,5
<b>Gadolinium (Gd)</b>	1,7	0,00001	0,034	0,53	-	0,016	-	2,1
<b>Dysprosium (Dy)</b>	1,5	0,000008	0,027	0,36	-	0,014	-	1,9
<b>Thorium (Th)</b>	1,5	-	0,0019	0,94	-	0,019	-	1,0
<b>Ytterbium (Yb)</b>	1,3	-	0,017	0,78	-	0,0073	-	2,3
<b>Tantal (Ta)</b>	1,1	-	0,00006	1,1	-	-	-	-
<b>Erbium (Er)</b>	0,81	-	0,015	0,18	-	0,0077	-	2,0
<b>Cesium (Cs)</b>	0,63	0,00056	0,0027	0,86	0,00061	0,0025	0,92	1,1
<b>Europium (Eu)</b>	0,60	-	0,0066	0,14	-	0,0043	-	1,5
<b>Holmium (Ho)</b>	0,5	0,000002	0,01	0,25	-	0,0028	-	3,8
<b>Thallium (Tl)</b>	0,43	0,00001	0,00011	0,70	0,000029	0,00042	0,35	0,26
<b>Vismut (Bi)</b>	0,33	-	0,00089	0,21	-	0,0021	-	0,42
<b>Tellur (Te)</b>	0,28	-	-	0,053	-	0,002	-	-
<b>Kadmium (Cd)</b>	0,28	0,00005	0,0028	0,066	-	0,0017	-	1,7
<b>Terbium (Tb)</b>	0,27	-	0,0054	0,070	-	0,0023	-	2,4
<b>Sølv (Ag)</b>	0,23	-	-	0,11	-	0,0001	-	-
<b>Lutetium (Lu)</b>	0,20	-	0,0022	0,12	-	0,0011	-	2,0
<b>Thulium (Tm)</b>	0,11	-	0,0022	0,025	-	0,0011	-	2,0
<b>Indium (In)</b>	0,085	-	-	0,068	-	-	-	-

<sup>a</sup>L/S betyr høvet væske (*liquid*) til fast stoff (*solid*). – Utlekk ikkje kvantifisert.

Ristetest med Leca i bufferløysing speglar i mindre grad skilnaden i totalinnhald mellom dei to slaga Leca. Dekomponert Leca type B hadde høgast innhald av kalium, nikkel, bly, uran, cesium og thallium (Tabell 2 og 3). I ristetest viste Leca type B høgast utlekk av silisium og aluminium, både til ionefritt vatn og til bufferløysing (Tabell 4; Fig. 4); det same var tilfelle for vanadium, arsen, germanium, antimon og thallium (Tabell 4; Fig. 5 og 6). For ei rekkje grunnstoff var utlekk til ionefritt vatn ubetydelig, til forskjell frå vatn bufra til pH 4,0. Leca type B viser høgast utlekk i bufferløysing av zirkonium, nikkel, krom, cerium, neodym, beryllium og vismut, medan utlekk til ionefritt vatn var under kvantifiseringsgrensa (Tabell 4; Fig. 5 og 6). Zirkonium, cerium og neodym er typisk ikkje løyselege i vatn, men bunde til frie partiklar i vatnet.

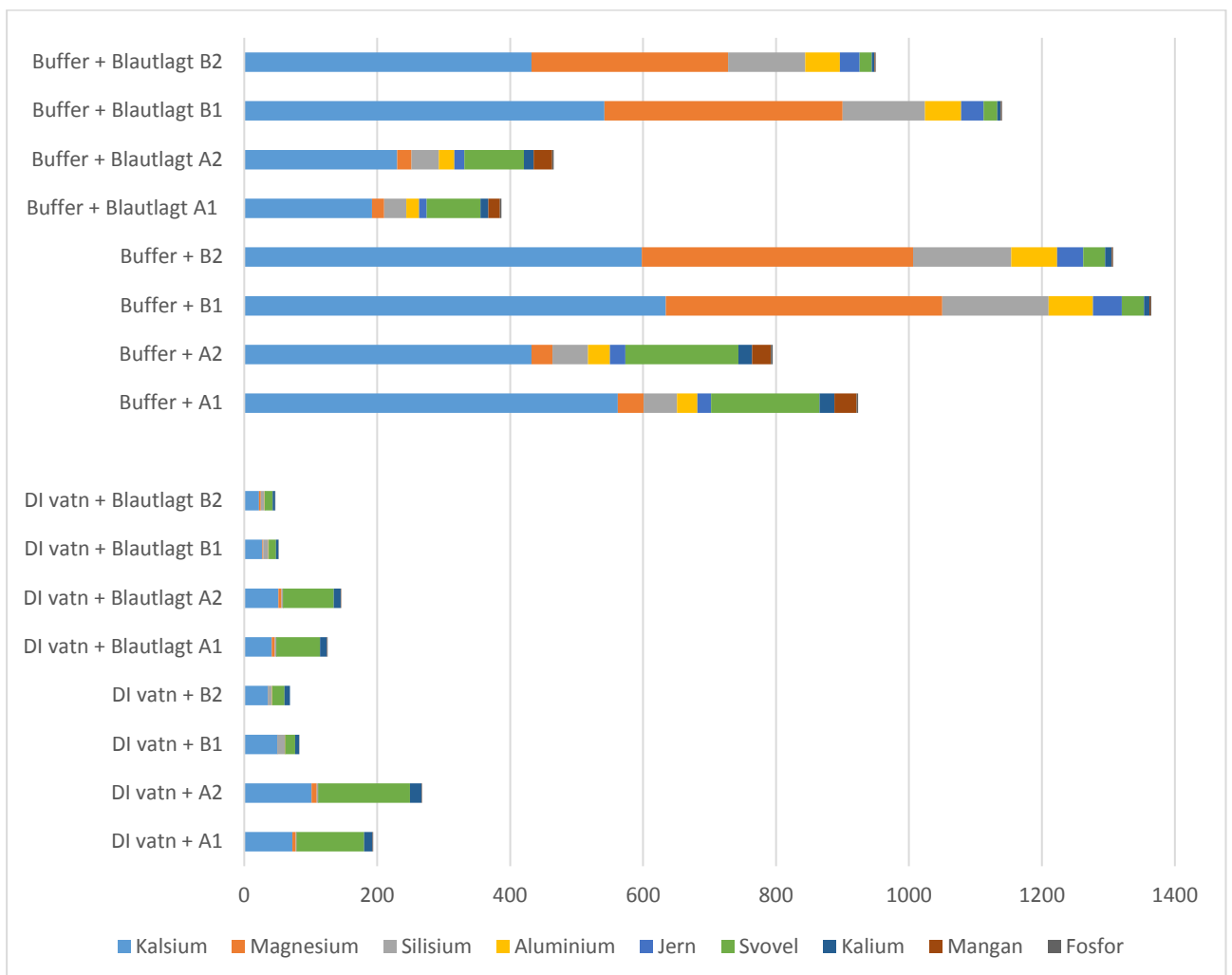
Jern, kalsium, titan, magnesium, barium, strontium, molybden og hafnium viser alle ein høgare konsentrasjon målt i utlekk frå Leca type A til ionefritt vatn samanlikna med type B, men motsett i utlekk til bufferløysing (Tabell 4; Figur 4 - 6). Denne skilnaden kan ha samband med kjemisk felling ved ulike pH. I ristetest med Leca type A og ionefritt vatn vart pH målt til 6,5, men for Leca type B og ionefritt vatn vart pH lik 10. Effekten av pH vil dermed ha mest å seie for Leca type B. Ved høg pH vil mange metall felle ut som hydroksid (Stumm & Morgan, 1995). Hydroksida er vanlegvis ikkje løyselege; unntaksvis er stoffa i hovudgruppe I løyselege medan kalsium, barium, strontium er moderat løyselege. Innan hovudgruppe II i det periodiske system (sjå vedlegg E) vil hydroksida vise aukande løysingsevne med aukande atomnummer. Denne auken har samband med at gitterenergien minkar med aukande storleik på kationet. Ved minkande pH aukar løysingsevna av metalla, men metalla som er tungtløyselege med sulfat og fosfat vil kunne felle ut. Sulfata viser minkande løysingsevne med aukande atomnummer; denne tendensen er motsett av den for hydroksida. For sulfatsalta varierer gitterenergien lite på grunn av at sulfationet er relativt stort og at det derfor er radien av dette ionet som i hovudsag bestemmer gitterenergien. Hydratiseringsenergien, som er omvendt proporsjonal med ioneradien, aukar med minkande atomnummer, og dette er utslagsgjevande for løysingsevna (Kofstad 1992). Dei fleste sulfatsalta er lettløyselege med unntak av (kalsium,) barium, strontium og bly som er tungtløyselege. Jern, kalsium og magnesium er alle tungtløyselege med fosfat. Ein auka konsentrasjon av sulfat og fosfat i utlekk vil medføre auka utfelling av kation som dannar tungtløyselege salt («*common ion effect*»); utlekk av svovel til ionefritt vatn hadde eit forhold A/B lik 10, samanlikna med 4,4 i ionefritt vatn bufra til pH 4,0.

Ved auka ionestyrke og nedgang i pH vart det målt auka konsentrasjonar av grunnstoff i utlekk; dette var eit gjennomgåande resultat i ristetesten (Fig. 4 – 6). To grunnstoff som utmerka seg med høge konsentrasjonar i Leca og klart høgare i dekomponert Leca type A samanlikna med type B, var svovel og mangan (Tabell 3). Svovel og mangan viser også høgast konsentrasjon målt i utlekk i ristetest med Leca type A samanlikna med type B; skilnaden aukar ved nedgang i pH (Fig. 4). Leca type A har høgare konsentrasjon av dei aller fleste grunnstoff samanlikna med Leca type B (Tabell 2 og 3). Unntaka, der Leca type B hadde høgast konsentrasjon er magnesium, silisium, kalium, natrium, nikkel, bly, uran, cesium og thallium.

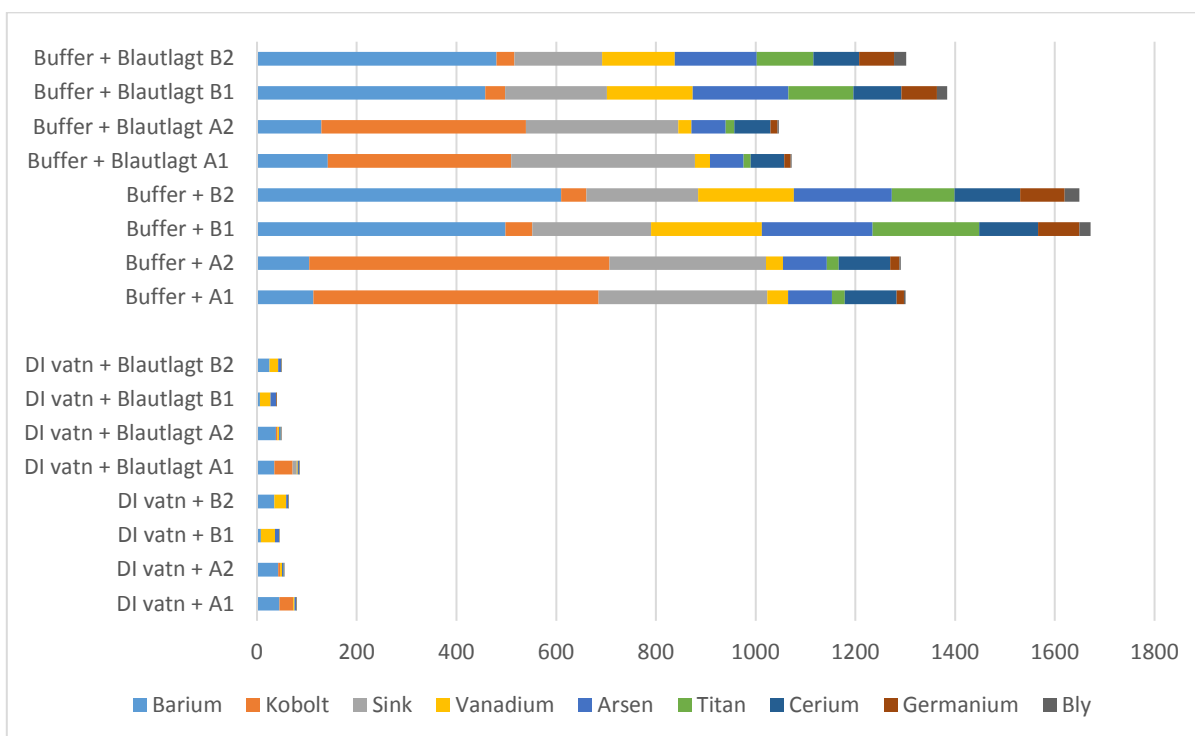
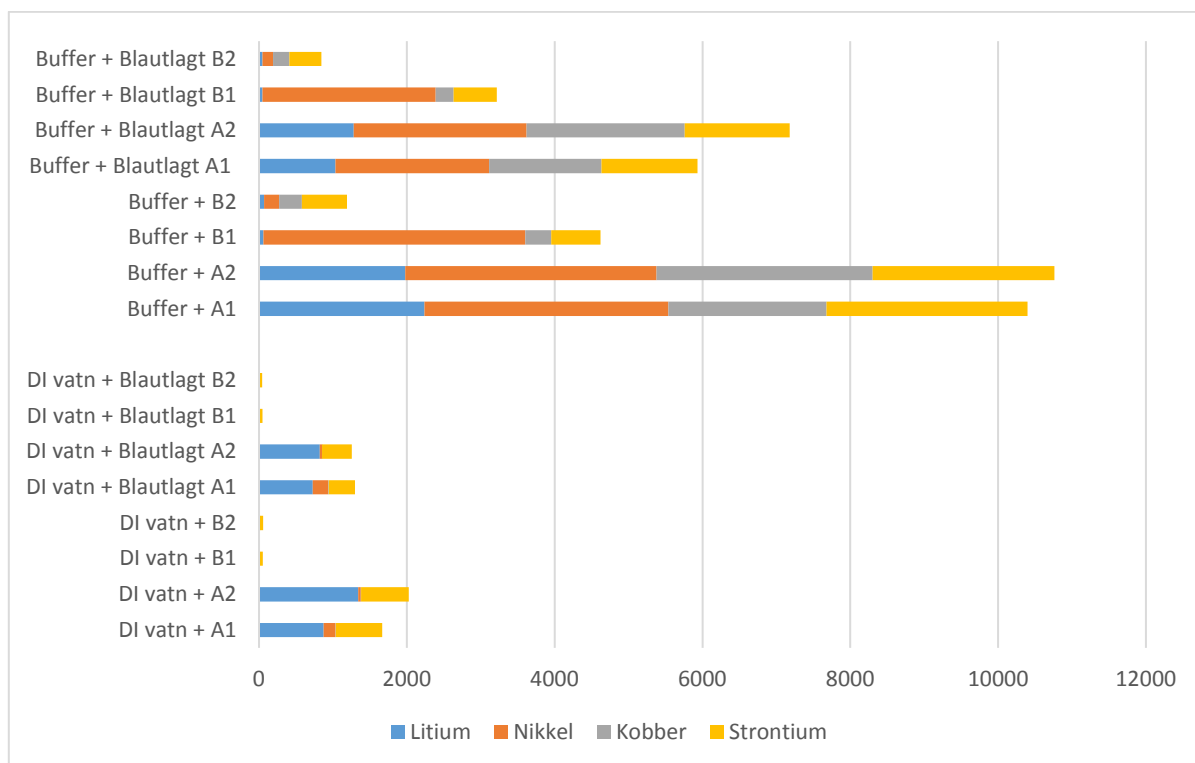
Ristetesten simulerer stagnasjon i eit biofilter. Forsøk med lecakuler som var lagt i blaut i 2 timer før bruk viste ein noko lågare konsentrasjon av grunnstoff målt etter 24 timars kontakttid enn i forsøk der utgangspunktet var tørre lecakuler; effekten skuldast sannsynligvis hydratisering av overflata på lekakulene.

I ristetesten vart variasjon mellom to ulike leveransar av lecakuler undersøkt.

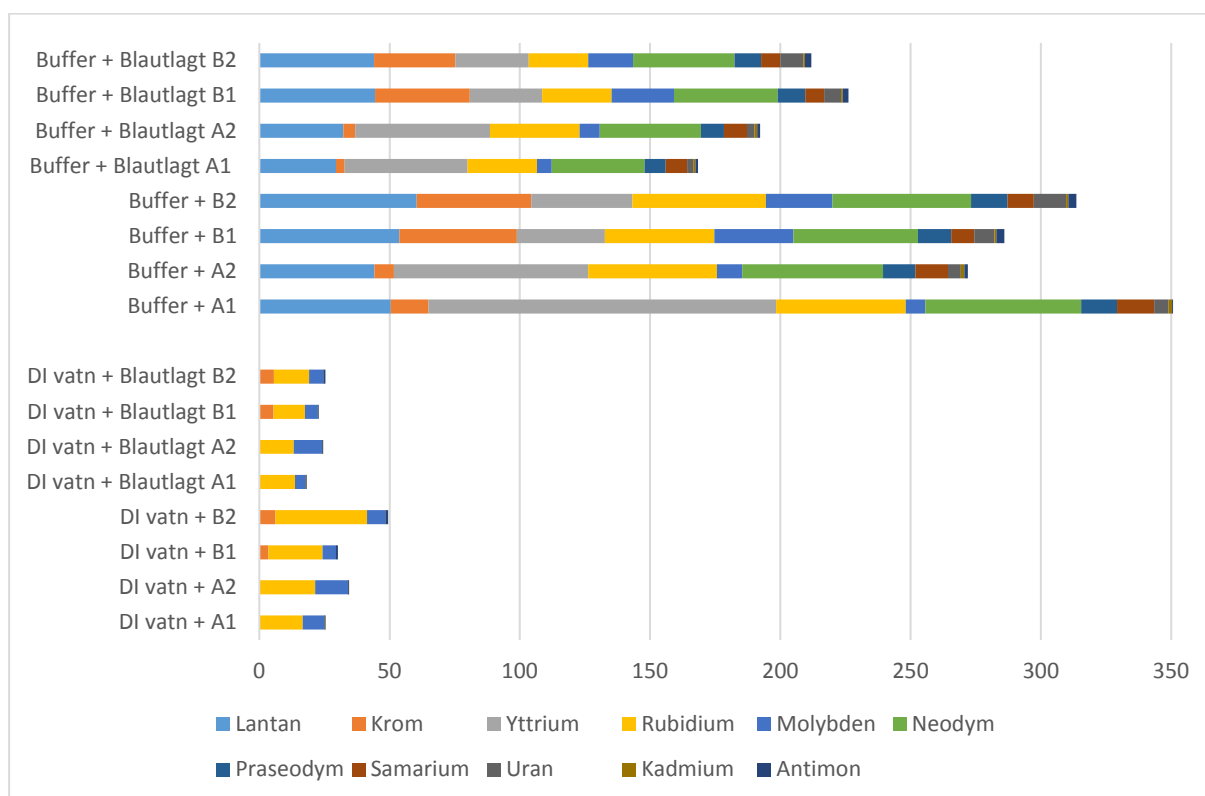
Konsentrasjonen av kalsium i utlekk varierte noko mellom leveransane, både for Leca type A og type B (Fig. 4). For nikkel var skilnaden mellom leveransane spesielt tydelig for Leca type B (Fig. 5), medan for mange av de andre grunnstoffa var variasjonen mellom leveransane mindre/ubetydelige (Fig. 4 – 6).



**Figur 4.** Utlekk (mg/L) av kalsium, magnesium, silisium, aluminium, jern, svovel, kalium, mangan og fosfor frå lecakuler rista i høvesvis ioneфриtt (DI) vatn (Leca type A: pH 6,5; Leca type B: pH 10) og ioneфриtt vatn bufra til pH 4,0. Leiingsevna i bufferløysinga var 5,3 mS/cm mot 1,0  $\mu$ S/cm i ioneфриtt vatn. Ristetesten vart utført med 12 g lecakuler i 25 mL ioneфриtt vatn (n=5), og 25 mL ioneфриtt vatn bufra til pH 4,0 ved tilsetning av eddiksyre og natriumacetat (n=5). Leca type A1 og A2, B1 og B2 er henta frå ulike leveransar av lecakuler. Effekten av blautlegging av lecakuler i ioneфриtt vatn i 2 timar vart undersøkt for både Leca type A og type B. Kontaktida i sjølve ristetesten var 24 timar.



**Figur 5.** Utlekk ( $\mu\text{g/L}$ ) av (øverst) litium, nikkel, kopar og strontium, og (nederst) barium, kobolt, sink, vanadium, arsen, titan, cerium, germanium og bly frå lecakuler rista i høvesvis ioneffritt (DI) vatn (Leca type A: pH 6,5; Leca type B: pH 10) og ioneffritt vatn bufret til pH 4,0. Leiingsevna i bufferløysinga var 5,3 mS/cm mot 1,0  $\mu\text{S/cm}$  i ioneffritt vatn. Ristetesten vart utført med 12 g lecakuler i 25 mL ioneffritt vatn ( $n=5$ ), og 25 mL ioneffritt vatn bufra til pH 4,0 ved tilsetjing av eddiksyre og natriumacetat ( $n=5$ ). Leca type A1 og A2, B1 og B2 er henta frå ulike leveransar av lecakuler. Effekten av blautlegging av lecakuler i ioneffritt vatn i 2 timar vart undersøkt for både Leca type A og type B. Kontaktida i sjølve ristetesten var 24 timar.

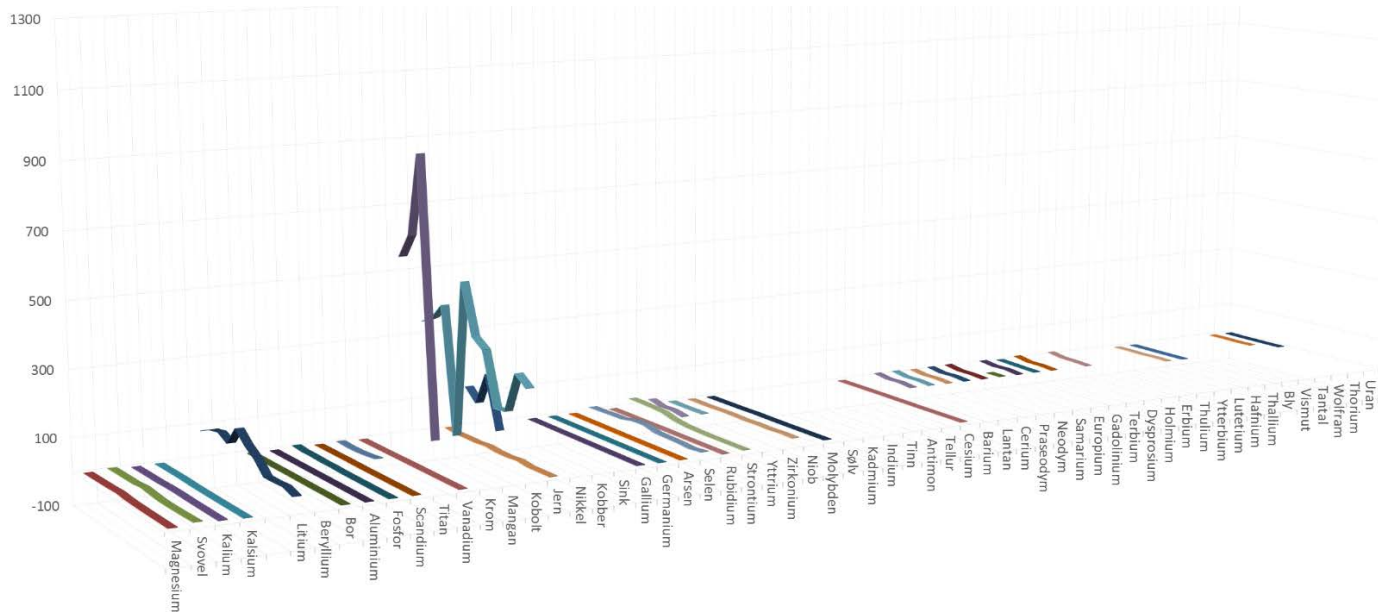


**Figur 6.** Utlekk ( $\mu\text{g/L}$ ) av lantan, krom, yttrium, rubidium, molybden, neodym, praseodym, samarium, uran, kadmium og antimon frå lecakuler rista i høvesvis ionefritt (DI) vatn (Leca type A: pH 6,5; Leca type B: pH 10) og ionefritt vatn bufra til pH 4,0. Leiingsevna i bufferløysinga var 5,3 mS/cm mot 1,0  $\mu\text{S/cm}$  i ionefritt vatn. Ristetesten vart utført med 12 g lecakuler i 25 mL ionefritt vatn ( $n=5$ ), og 25 mL ionefritt vatn bufra til pH 4,0 ved tilsetjing av eddiksyre og natriumacetat ( $n=5$ ). Leca type A1 og A2, B1 og B2 er henta frå ulike leveransar av lecakuler. Effekten av blautlegging av lecakuler i ionefritt vatn i 2 timer vart undersøkt for både Leca type A og type B. Kontakttida i sjølve ristetesten var 24 timar.

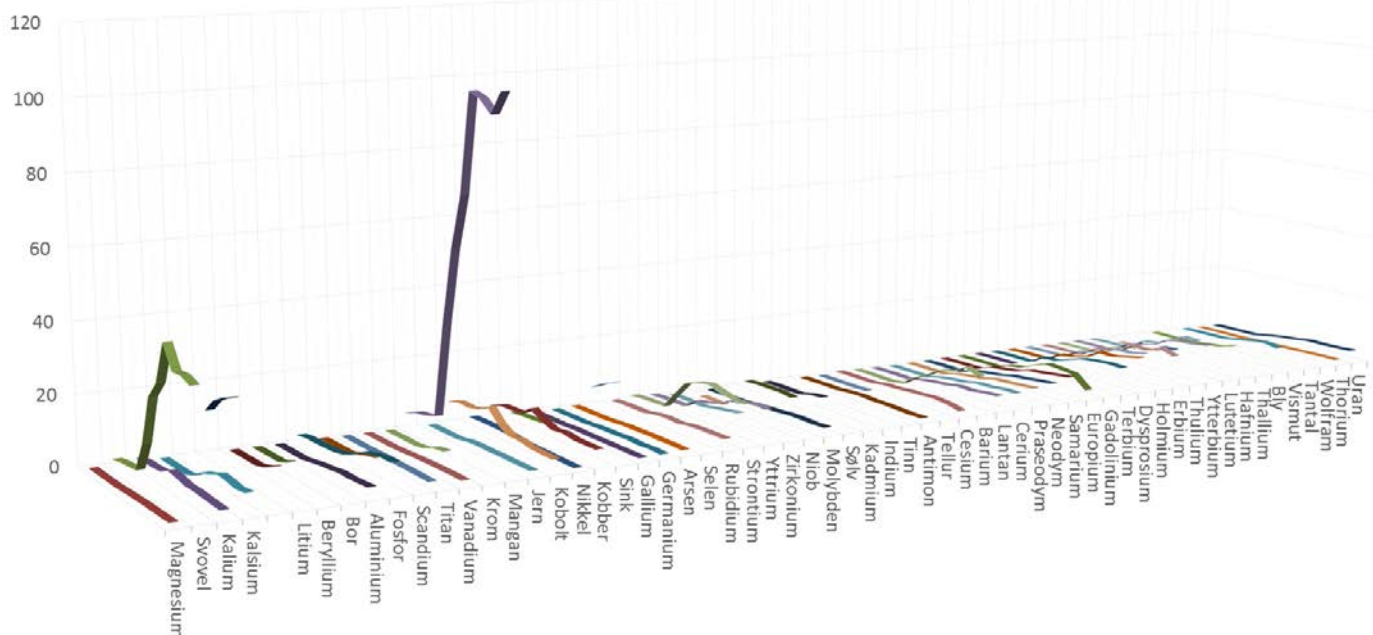
### 3.3 Utlekking av grunnstoff frå Leca type A og B studert i kolonnetest ved ulik pH og ionestyrke

I ein kolonnetest vil kjemiske reaksjonar ikkje gå til jamvekt sidan vatnet vil strøyme kontinuerleg. Kontakttida er avhengig av hastighet for gjennomstrøyming; i dette forsøket vart gjennomstrøymingshastighet sett til 2 mL/min. Samanlikna med ristetesten vil kolonnetesten vere nærare tilhøva som gjeld for lecakuler nytta i biofilter.

Grunnstoffa litium, mangan, kobolt og nikkell målt i utlekk frå kolonnar pakka med lecakuler og med gjennomstrøyming av ionefritt vatn viste ein auka forskjell fram til 1-2 døgn etter oppstart av kolonnetesten. Konsentrasjon av mangan i utlekk var 1300 gonger høgare for Leca type A samanlikna med type B etter 48 timar. Ved auka ionestyrke og nedgang i pH auka konsentrasjonen av grunnstoff i utlekk i ristetest; dette var eit gjennomgåande resultat (Fig. 4 – 6). Lik trend er tydeleg i kolonnetest (Fig. 7 og 8).



**Figur 7.** Utlekk frå kolonnar pakka med lecakuler og med gjennomstrøyming av ionefritt vatn ( $n=3$ ). Høvet mellom dei to slaga Leca (vertikal akse: A/B) er plotta som funksjon av tid (horisontal akse: 0,25 timer – 168 timer). Eit høve A/B > 1 viser at konsentrasjon målt i Leca type A er høgare enn i type B. Grunnstoffa litium, mangan, kobolt og nikkel målt i utlekk viste ein auka skilnad fram til 1-2 døgn etter oppstart av kolonnetesten. Konsentrasjon av mangan i utlekk var 1300 gonger høgare for Leca type A samanlikna med type B etter 48 timar.



**Figur 8.** Utlekk frå kolonnar pakka med lecakuler og med gjennomstrøyming av ionefritt vatn bufra til pH 4,0 (eddiksyre/natriumacetat;  $n=3$ ). Høvet mellom dei to slaga Leca (vertikal akse: A/B) er plotta som funksjon av tid (horisontal akse: 0,25 timer – 168 timer). Eit høve A/B > 1 viser at konsentrasjon målt i Leca type A er høgare enn i type B. For svovel og mangan målt i utlekk var skilnaden mellom Leca type A og type B aukande frå oppstart og fram til dag 4 og 5, og framleis stabilt høgare utlekk frå Leca type A 7 døgn etter oppstart av kolonnetesten. Konsentrasjon av svovel og mangan i utlekk var høvesvis omtrent 40 og 100 gonger høgare for Leca type A samanlikna med type B etter 4-5 døgn med gjennomstrøyming av bufferløysing i kolonnane.

Kolonnetesten med bufferløysing pH 4,0 viste aukande skilnad for svovel og mangan målt i utlekk frå Leca type A og B frå oppstart og fram til dag 4 og 5, og framleis stabilt høgare utlekk frå Leca type A 7 døgn etter oppstart av kolonnetesten. Konsentrasjon av svovel og mangan i utlekk var høvesvis omtrent 40 og 100 gonger høgare for Leca type A samanlikna med Leca type B etter 4-5 døgn med gjennomstrøyming av bufferløysing i kolonnane (Fig. 8).

### 3.4 Grunnstoffkonsentrasjonar målt i utlekk frå lecakuler sett i samanheng med relevante forskrifter og grenseverdier

For små avlaupsanlegg – opptil 50 pe, er det berre krav til utslipp av organisk materiale (BOF<sub>5</sub>) – 20 mg/L og fosfor (P) – 1 mg/L. For større avlaupsanlegg er det fleire krav (Klima- og miljødepartementet 2017). For anlegg med meir enn 20000 pe er det krav om overvaking av arsen, krom, kopar, nikkel, sink, bly, kadmium og kvikksølv. Utslippsstad for avlaupsvatn frå reinseanlegg skal lokaliserast og utformast slik at verknadane av utslippet på resipienten blir minst mogeleg. Utslipp skal ikkje medføre fare for forureining av drikkevatt.

Som eit utgangspunkt for dette arbeidet er det interessant å sjå grunnstoffkonsentrasjonar målt i utlekk frå lecakuler i samanheng med grenseverdier for avfallsdeponi. I SFT (2003) sin rettleiar om miljørisikovurdering av botntetting og oppsamling av sigevatt ved deponi er det definert terskelverdier til hjelp for å vurdere miljørisiko. Konsentrasjonar over terskelverdi for eit eller fleire stoff er sett på som uakseptabel risiko og søkjar må gjere ei vurdering om det er diffus transport av miljøfarlege stoff ut av deponiet. Utlekk i kolonnetest frå Leca type A til ionefritt vatn (pH 6,5) overskrid terskelverdien for arsen, kopar, mangan og nikkel i sigevatt, medan utlekk fra Leca type B (pH 10) har ingen overskridingar i høve til definerte terskelverdier (Tabell 5). Det er ikkje gitt terskelverdi med omsyn til pH i sigevattnet. Ureinsa sigevatt frå avfallsdeponi har generelt nøytral pH (Okkenhaug og Arp, 2012).

Det finnes fleire standardmetodar for å karakterisere utlekking frå eit granulært materiale; testar tiltenkt karakterisering av avfall (Norsk Standard 2003a-d, Norsk Standard 2006). Ristetesten gjennomført i dette arbeidet er utført på intakte lecakuler og avvik dermed frå krav til partikkelstørrelse. Lecakulene er porøse og det gir ei relativ stor kontaktflate med vatnet. Truleg vil kontaktflata mellom Leca og væske vere mindre for intakte lecakuler samanlikna med lecakuler knust i mindre fraksjonar, høvesvis <4 mm eller <10 mm, og målte konsentrasjonar i utlekk i dette arbeidet kan i så fall vere underestimert i høve til krava til utlekkingspotensial målingane blir samanlikna med. Ei samanlikning med krav til utlekkingspotensial for lett forureina masser som blir teke imot ved deponi for inert avfall (L/S = 2 L/kg, partikkelstørrelse <4 mm; Council Decision 2003/33/EC) viser at Leca type A overskrid grenseverdien for svovel og nikkel i ristetest med ionefritt vatn (pH 6,5); samtidig er utlekk ved L/S lik 0,1 L/kg i kolonnetest innanfor kravet med omsyn på lagring saman med stabilt ikkje-reaktivt farleg avfall (Tabell 5). Svovel og nikkel viste i dette arbeidet høgast utlekking etter gjennomstrøyming med ionefritt vatn i 2 timer. Første eluat ved kolonnetest ved L/S lik 0,1 L/kg (CEN/TS 14405:2004 ) kan samanliknast med målingar gjort i prøver teke etter 45 minutt gjennomstrøyming i dette arbeidet (Tabell 5). Konsentrasjonen av svovel og nikkel i utlekk held fram å auke etter måletidspunktet som samsvarer med L/S lik 0,1 L/kg



definert i standardmetoden. Det var ingen overskridingar for utlekk av svovel frå Leca type B til ionefritt vatn (pH 10), verken i riste- eller kolonnetest.

Kolonnetesten utført i dette arbeidet stoppar ikkje etter 45 minutt, men varer i 168 timer (7 døgn). I kolonnetest med gjennomstrøyming av ionefritt vatn auka grunnstoffa litium, mangan, kobolt og nikkell målt i utlekk fram til 1-2 døgn etter oppstart av kolonnetesten (Fig. 7). Litium og kobolt har ikkje definerte krav til utlekkingspotensial i ristetest eller kolonnetest.

Utlekk frå Leca type A og type B av arsen, kopar og nikkell til ionefritt vatn bufra til pH 4,0 viste ein klar auke samanlikna med utlekk til ionefritt vatn. Det er ikkje sett krav til pH ved lagring saman med stabilt ikkje-reaktivt farleg avfall, men for deponi for ordinært avfall er det krav om minimum pH 6.

Utslippsstad for avlaupsvatn frå reinseanlegg skal lokaliserast og utformast slik at verknadane av utslipp på resipienten ikkje medfører fare for forureining av drikkevatt. For lett forureina masser som blir teke imot ved deponi for inert avfall er det ikkje definert krav til utlekkingspotensial for aluminium og mangan. *Drikkevattforskrifta* gir tiltaksgrenser for aluminium og mangan på høvesvis 0,2 mg/L og 0,05 mg/L. Utlekk av aluminium til ionefritt vatn i kolonnetest av Leca type B var 0,72 mg/L. Utlekk av mangan til ionefritt vatn i kolonnetest av Leca type A var 0,28 mg/L. *Drikkevattforskrifta* gir tiltaksgrense for sulfat, her omrekna til 63 mg sulfat-S/L. Utlekk av svovel til ionefritt vatn i kolonnetest av Leca type A var 84 mg/L. Leca type A utpeiker seg dessutan negativt i høve til utlekk av nikkell. Resultat i kolonnetesten gir grunn til uro ut frå at konsentrasjonen av fleire grunnstoff i utlekk held fram å auke etter måletidspunktet som samsvarer med L/S lik 0,1 L/kg definert i standardmetoden.

Fleire grunnstoff av toksikologisk interesse har ingen grenseverdi i Norge, verken i høve til drikkevatt (Helse- og omsorgsdepartementet, 2016) eller i høve til basiskarakterisering av avfall og/eller klassifisering av farleg avfall (Klima- og miljødepartementet, 2004). Uran er eit grunnstoff som har fått auka interesse, og regulering er på gang internasjonalt (WHO, 2012). Løysingsevne og tilstandsform av uran er avhengig av pH (Chernorukov & Nipruk, 2006; Rayner-Canham & Overton, 2014). Uran eksisterer i oksidasjonstrinn +2, +3, +4, +5 og +6, men berre +4 og +6 er tilstrekkelig stabile til å ha nokon praktisk betydning. U(VI) er mest stabil og den vanlegaste tilstandsforma er triuran-oktaoksid ( $U_3O_8$ ). Uran er eit relativt mobilt grunnstoff i oksygenrikt vatn på grunn av stabiliteten av U(VI) kompleks med vatn, men kan felle ut ved reduksjon til U(IV) som fosfat, silikat, fluorid, arsenat, vanadat eller oksyhydroksid med låg løysingsevne. Konsentrasjon av uran i vatn er avhengig av løysingsevne, pH og den kjemiske samansetninga av vatnet. Uran har høgast innhald i Leca type B, og viser eit høgare utlekk til vatn bufra til pH 4,0 frå Leca type B samanlikna med type A, medan i forsøk med ionefritt var det ingen skilnad. I ristetest med Leca type B og ionefritt vatn vart pH mål til 10. Forsøket viser at uran er meir løyseleg i surt miljø (Fig. 6), og det stemmer med litteraturen. Det vil difor vere viktig å unngå låg pH i biofilteret.

**Tabell 5.** Utlekk i ristetest (12 g intakte lecakuler rista i 25 mL løysing gir L/S  $\cong$  2) og oppstrams kolonnetest (gjennomstrøymingshastighet 2 mL/min gjennom kolonnar fylt med 95 g intakte lecakuler) samanlikna med utlekkingspotensial (mg/kg tørrstoff) for lett forureina masser lagra ved deponi for inert avfall (L/S = 2 L/kg og L/S = 10 L/kg ved ristetest med partikkelstørrelse < 4 mm, og L/S = 0,1 L/kg ved kolonnetest), terskelverdiar for sigevatn frå avfallsdeponi, og grenseverdiar for drikkevatt. I forsøk med Leca type A i ionefritt vatn var pH lik 6,5, medan i forsøk med Leca type B i ionefritt vatn var pH lik 10. pH i forsøk med bufferløysing var 4,0. Leiingsevna i bufferløysinga var 5,3 mS/cm mot 1,0  $\mu$ S/cm i ionefritt vatn.

Grunn-stoff	Eluent	Resultat frå ristetest		Resultat frå kolonnetest		Grenseverdi ordinært avfall; Council Decision 2003/33/EC <sup>a</sup> , L/S 2 L/kg [mg/kg]	Grenseverdi ordinært avfall; Council Decision 2003/33/EC <sup>a</sup> , L/S 10 L/kg [mg/kg]	Grenseverdi ordinært avfall; Council Decision 2003/33/EC <sup>a</sup> , C <sub>0</sub> (kolonnetest), L/S 0,1 L/kg [mg/L]	Terskelverdi sigevatn SFT TA-1995/2003 <sup>b</sup> [mg/L]	Grenseverdi/Tiltaks-grense Drikkevatt <sup>c</sup> [mg/L]
		Leca type A, L/S 2 L/kg [mg/kg]	Leca type B, L/S 2 L/kg [mg/kg]	Leca type A, L/S 0,1 L/kg [mg/L]	Leca type B, L/S 0,1 L/kg [mg/L]					
Aluminium (Al)	Ionefritt vatn	0,09	1,5	0,070	0,72					
	Buffer	60	140	6,5	42	--	--	--	--	--/0,2
Antimon (Sb)	Ionefritt vatn	0,00063	0,0011	0,0002	0,0001					
	Buffer	0,0027	0,0062	0,0006	0,002	0,02	0,06	0,1	--	0,0050/--
Arsen (As)	Ionefritt vatn	0,008	0,014	0,003	0,004					
	Buffer	0,18	0,47	0,10	0,27	0,1	0,5	0,06	0,002?	0,010/--
Barium (Ba)	Ionefritt vatn	0,11	0,013	0,050	-					
	Buffer	0,24	1,1	0,18	0,38	7	20	4	--	--
Bly (Pb)	Ionefritt vatn	-	-	-	-					
	Buffer	0,057	0,23	-	0,021	0,2	0,5	0,15	0,0019	0,010/--
Jern (Fe)	Ionefritt vatn	0,01	0,002	0,024	0,021					
	Buffer	41	91	2,5	22	--	--	--	0,2	0,2/0,2
Kadmium (Cd)	Ionefritt vatn	0,0005	-	0,0001	-					
	Buffer	0,0028	0,0017	0,001	0,0006	0,03	0,04	0,02	0,0002	0,0050/--
Kopar (Cu)	Ionefritt vatn	0,008	-	0,007	-					
	Buffer	4,3	0,77	0,81	0,17	0,9	2	0,6	0,0023	2,0/--
Krom (Cr)	Ionefritt vatn	-	-	-	0,002					
	Buffer	0,03	0,096	0,001	0,040	0,2	0,5	0,1	0,0063	0,050/--
Mangan (Mn)	Ionefritt vatn	1,3	0,00008	0,28	0,0005					
	Buffer	67	2,6	4,5	0,76	--	--	--	0,1	--/0,05

Tabell 5 held fram.

Grunn-stoff	Eluent	Resultat frå ristetest		Resultat frå kolonnetest		Grenseverdi ordinært avfall; Council Decision 2003/33/EC <sup>a</sup> , L/S 2 L/kg	Grenseverdi ordinært avfall; Council Decision 2003/33/EC <sup>a</sup> , L/S 10 L/kg	Grenseverdi ordinært avfall; Council Decision 2003/33/EC <sup>a</sup> , C <sub>0</sub> (kolonnetest), L/S 0,1 L/kg	Terskelverdi i sigevatn SFT TA-1995/2003 <sup>b</sup>	Grenseverdi/ Tiltaks-grense Drikkevatn <sup>c</sup>
		Leca type A, L/S 2 L/kg	Leca type B, L/S 2 L/kg	Leca type A, L/S 0,1 L/kg	Leca type B, L/S 0,1 L/kg					
		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Molybden (Mo)	Ionefritt vatn	0,02	0,009	0,003	0,003	0,3	0,5	0,2	--	--
	Buffer	0,015	0,064	0,004	0,029					
Nikkel (Ni)	Ionefritt vatn	0,39	-	0,088	0,001	0,2	0,4	0,12	0,005	0,020/--
	Buffer	6,6	7,4	1,4	1,3					
Selen (Se)	Ionefritt vatn	0,041	-	0,010	0,0007	0,06	0,1	0,04	--	0,010/--
	Buffer	0,065	-	0,015	0,002					
Svovel (S)	Ionefritt vatn	250	25	84	12	140 <sup>d</sup>	250 <sup>d</sup>	375 <sup>d</sup>	--	--/63 <sup>e</sup>
	Buffer	320	72	81	35					
Sink (Zn)	Ionefritt vatn	-	-	-	-	2	4	1,2	0,035	--
	Buffer	0,67	0,50	0,22	0,20					

<sup>a</sup>Lett forureina masser som blir teke imot ved deponi for inert avfall kan ikkje overskride grenseverdiar for utlekkingspotensial gitt i *Avfallsforskrifta* Kapittel 9 Deponering av avfall (Klima- og miljødepartementet, 2004); fastsatt med rettsgrunnlag i *Forureiningslova* § 9, § 11, § 12, § 16, § 20 og § 31. Jamfør EØS-avtala vedlegg XX nr. 32d (direktiv 1999/31/EF endra ved vedtak 2003/33/EF) (European Union, 2003).

<sup>b</sup>Konsentrasjonar over terskelverdi for eit eller fleire stoff er uakseptabelt; risiko for transport av forureining må vurderast ( SFT, 2003).

<sup>c</sup>Helse- og omsorgsdepartementet (2016).

<sup>d</sup>560 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/kg = 140 mg SO<sub>4</sub>-S/kg; 1000 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/kg = 250 mg SO<sub>4</sub>-S/L; 1500 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L = 375 mg SO<sub>4</sub>-S/L; 250 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L = 63 mg SO<sub>4</sub>-S/L.

- Utlekk ikkje kvantifisert; -- Ingen grenseverdi/terskelverdi/tiltaksverdi

## 4 Konklusjon

Med omsyn på totalkonsentrasjon har Leca type A høgare konsentrasjon av dei aller fleste grunnstoff samanlikna med type B. Unntaka, der Leca type B hadde høgast gjennomsnittskonsentrasjon var magnesium, silisium, kalium, natrium, nikkel, bly, uran, cesium og thallium; standardavviket viser likevel at skilnaden med omsyn på magnesium, silisium og bly var ubetydeleg. To grunnstoff som utmerka seg med høge konsentrasjonar, og klart høgare i Leca type A samanlikna med type B, var svovel og mangan. Molybden, antimon, tellur og kadmium viste óg høgare konsentrasjonar i Leca type A samanlikna med type B. Begge slaga Leca inneheld dessutan høge konsentrasjonar av titan. Med unntak av molybden og wolfram, som begge fekk høge RSD-verdiar, var variasjonen liten og jamt over lågare enn 20%. Det tyder på at prøvematerialet var godt homogenisert før prøveuttak til dekomponering og at analyseresultata er representative for både Leca type A og Leca type B.

Ristetesten med leakuler speglar skilnaden i totalinnhald mellom dei to slaga Leca. Målt i løysing viser mangan og svovel klart høgast utlekk frå Leca type A samanlikna med type B, både i utlekk til ionefritt vatn og i utlekk til bufferløysing. Ved å sjå på høvet A/B i utlekk til ionefritt vatn, er det særleg grunnstoffa jern, titan, magnesium, mangan, svovel, barium, strontium, litium og molybden som skil seg ut, alle med eit høve A/B høgare enn fem. Kalium, fosfor, sink, kopar, kobolt, bly, lantan, rubidium, yttrium, samarium, gadolinium, dysprosium, ytterbium, erbium, europium, holmium, kadmium, terbium, lutetium og thulium viser alle størst utlekk frå Leca type A.

Ristetest med leakuler i bufferløysing speglar i mindre grad skilnaden i totalinnhald mellom dei to slaga Leca. I ristetest viste Leca type B høgast utlekk av silisium og aluminium, både til ionefritt vatn og til bufferløysing; det same var tilfelle for vanadium, arsen germanium, antimon og thallium. For ei rekkje grunnstoff var utlekk til ionefritt vatn ubetydelig, til forskjell frå utlekk til bufferløysing pH 4,0. Leca type B viser høgast utlekk i bufferløysing av zirkonium, nikkel, krom, cerium, neodym, beryllium og vismut, medan utlekk til ionefritt vatn for desse grunnstoffa var under kvantifiseringsgrensa.

I ein kolonnetest vil kjemiske reaksjonar ikkje gå til jamvekt sidan vatnet vil strøyme kontinuerleg. Samanlikna med ristetest, er ein kolonnetest nærare tilhøva som gjeld for leakuler nytta som biofilter i reinsing av avlaupsvatn. Grunnstoffa litium, mangan, kobolt og nikkel målt i utlekk frå kolonnar pakka med leakuler og med gjennomstrøyming av ionefritt vatn viste ein auka forskjell fram til 1-2 døgn etter oppstart av kolonnetesten. Konsentrasjon av mangan i utlekk var 1300 gonger høgare for Leca type A samanlikna med type B etter 48 timar. Ved auka ionestyrke og nedgang i pH auka konsentrasjonen av grunnstoff i utlekk i ristetest; dette var eit gjennomgåande resultat. Lik trend er tydeleg i kolonnetest.

Kolonnetesten med bufferløysing pH 4,0 viste aukande skilnad for svovel og mangan målt i utlekk frå Leca type A og Leca type B frå oppstart og fram til høvesvis dag 4 og 5, og framleis stabilt høgare utlekk frå Leca type A 7 døgn etter oppstart av kolonnetesten. Konsentrasjon av svovel og mangan i utlekk var høvesvis omtrent 40 og 100 gonger høgare for Leca type A samanlikna med Leca type B etter 4-5 døgn med gjennomstrøyming av bufferløysing i kolonnane.

Miljøprofilen til eit produkt er bestemt på grunnlag av analyse med omsyn på helse- og miljøfarlege stoffer. For mange av grunnstoffa som er bestemt i dette arbeidet er det i dag ikkje sett grenseverdier, sidan kunnskapen om stoffa sin oppførsel i miljøet og potensielle helseeffekt ikkje er kjend. Leca Lettklinker, utgangspunktet for alle Leca-produkta, blir marknadsført som eit reint naturprodukt som ikkje tynger naturen med avfallsstoff. Dette arbeidet har likevel vist at utlekk i kolonnetest frå Leca type A til ionefritt vatn (pH 6,5) overskrid terskelverdien for arsen, kopar, mangan og nikkel i sigevatn SFT (2003), medan utlekk fra Leca type B (pH 10) har ingen overskridingar i høve til definerte terskelverdier. Konsentrasjonar over definerte terskelverdar for sigevatn er sett på som uakseptabel risiko, og ei vurdering om det er diffus transport av miljøfarlege stoff ut av deponiet er naudsynt. Ei samanlikning med krav sett til utlekkingspotensial for lagring av lett forureina masser i deponi for inert avfall ( $L/S = 2 \text{ L/kg}$ , *Council Decision 2003/33/EC*) viser at Leca type A i ristetest med ionefritt vatn (pH 6,5) overskrid grenseverdien for svovel og nikkel. Samtidig er utlekk ved  $L/S$  lik  $0,1 \text{ L/kg}$  i kolonnetest innanfor kravet med omsyn på lagring saman med stabilt ikkje-reaktivt farlig avfall; ikkje desto mindre, konsentrasjonen av svovel i utlekk held fram å auke etter måletidspunktet definert i standardmetoden. For Leca type B derimot, var det inga overskriding for utlekk til ionefritt vatn (pH 10), verken i riste- eller kolonnetest. I forsøk med bufferløysing pH 4,0 vart det målt auka utlekking av metall, både i ristetest og kolonnetest med Leca type A og type B.

Leca type B, norskprodusert Filtralite® NR 10-20, viser best resultat målt i utlekkingsforsøk (pH 10) og rangerast med best kvalitet. Ved bruk som biofilter for reinsing av avlaup er det viktig å sikre drift med basisk pH for å unngå utlekking av toksiske eller potensielt toksiske grunnstoff. Ut frå eit føre var-prinsipp er det ikkje tilrådeleg å bruke Leca type A i reinsing av avlaup utan først å undersøkje utlekkingspotensiale under aktivt bruk *in situ*.

## 5 Referansar

Chernorukov, N.G. & Nipruk, O.V., 2006. Physico-chemical study of heterogeneous equilibria in salt-aqueous systems of inorganic compounds of uranium(VI). Czechoslovak Journal of Physics 56: D349. doi:10.1007/s10582-006-1038-x.

European Union, 2003. European Union Council Decision 2003/33/EC (COUNCIL DECISION of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC (2003/33/EC), Official Journal of the European Communities <http://www.ecolex.org/details/legislation/council-decision-200333ec-establishing-criteria-and-procedures-for-the-acceptance-of-waste-at-landfills-pursuant-to-article-16-of-and-annex-ii-to-directive-199931ec-lex-faoc039228/>. (Lest 27.03.2017).

Helse- og omsorgsdepartementet, 2016. *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften)*. Helse- og omsorgsdepartementet <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>. (Lest 27.03.2017).

Hensel, G.R., 2008. Testrapport – Uttesting av Ecomotive A01 gråvannsanlegg for fritidsbolig. Bioforsk Rapport Vol. 3 Nr. 106/2008, 9 sider.

Klima- og miljødepartementet, 2004. *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften)*. Klima- og miljødepartementet [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-930/KAPITTEL\\_9#KAPITTEL\\_9](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-930/KAPITTEL_9#KAPITTEL_9). (Lest 27.03.2017).

Klima- og miljødepartementet, 2009. *Lov om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven)*. Klima- og miljødepartementet [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100#KAPITTEL\\_1](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100#KAPITTEL_1) (Lest 27.03.2017).

Kofstad, P., 1998. Uorganisk kjemi. En innføring i grunnstoffenes kjemi. Tano Aschehoug, Oslo.

Miljødepartementet, 2017. *Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931>. (Lest 27.03.2017).

NENT, 2015. Forskningsetiske retningslinjer for naturvitenskap og teknologi. Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi (NENT). <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/naturvitenskap-og-teknologi/> (Lest 27.03.2017).

Norsk Standard 2003a. NS-EN 12457-1:2002 Karakterisering av avfall - Utlekking - Samsvarsprøving for utlekking av granulært avfallsmateriale og slam - Del 1: Ettrinnsprøving ved et væske/faststofforhold på 2 l/kg med partikkelstørrelse under 4 mm (med eller uten størrelsesreduksjon). Standard Norge.

Norsk Standard 2003b. NS-EN 12457-2:2002 Karakterisering av avfall - Utlekking - Samsvarsprøving for utlekking av granulært avfallsmateriale og slam - Del 2: Ettrinnsprøving ved et væske/faststofforhold på 10 l/kg med partikkelstørrelse under 4 mm (med eller uten størrelsesreduksjon). Standard Norge.

Norsk Standard 2003c. NS-EN 12457-3:2002 Karakterisering av avfall - Utlekking - Samsvarsprøving for utlekking av granulært avfallsmateriale og slam - Del 3: Totrinnspartiprøving ved et væske/faststofforhold på 2 l/kg og 8 kg/l med partikkelstørrelse under 4 mm (med eller uten størrelsesreduksjon). Standard Norge.

Norsk Standard 2003d. NS-EN 12457-4:2002 Karakterisering av avfall - Utlekking - Samsvarsprøving for utlekking av granulært avfallsmateriale og slam - Del 4: Ettrinnspartiprøving ved et væske/faststofforhold på 10 kg/l med partikkelstørrelse under 10 mm (med eller uten størrelsesreduksjon). Standard Norge.

Norsk Standard 2006. CEN/TS 14405:2004 Karakterisering av avfall - Prøving av utlekkingssegenskaper - Oppstrøms kolonneprøving (under spesielle betingelser). Standard Norge.

Okkenhaug, G. & H.P. Arp, 2012. Miljøgifter i sigevatn fra avfallsdeponier. Data fra perioden 2006-2010. Hovedrapport. Norges Geotekniske Institutt (NGI) TA-2978/2012.

Rayner-Canham, G. & T. Overton, 2014. *Descriptive inorganic chemistry* 6<sup>th</sup> Edition. W. H. Freeman and company, N.Y.


SFT, 2003. *Veileder om miljørisikovurdering av bunntetting og oppsamling av sigevatn ved deponier*. Statens forurensningstilsyn, TA-1995/2003. ISBN 82-7655-477-6.

Stumm, W. & J.J. Morgan, 1995. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3<sup>rd</sup> Edition. John Wiley & Sons, N.Y.

WHO (World Health Organization), 2012. *Uranium in Drinking-water. Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO, Geneva.

# Vedlegg A – Produktdatablad Leca type A (Leca® 10-20 round)

Issued: 01-08-2011  
 Substitue for: 01-09-2010

 06	<b>Saint-Gobain Weber A/S</b> Ølstvej 6 · Ølst · DK-8940 Randers SV			
	<b>BS EN 13055-2</b> Lightweight aggregate for unbound and bound applications.			
Product name	Leca® 10 -20 round			
Article number	15 21 00 00			
Property	Test method	Declared value		
		Limits <sup>1</sup>	Typical value	
Loose bulk density	BS EN 1097-3	(Limits ±15%)	225 - 295 kg/m <sup>3</sup>	260 kg/m <sup>3</sup>
Aggregate size	BS EN 933-1		8 - 20 mm	
Particle shape			Round	
Aggregate size distribution	BS EN 933-1 Dry sieving	Mesh size		Passing
		31,5 mm	100 - 100 %	100 %
		20 mm	97 - 100 %	99 %
		16 mm	70 - 96 %	84 %
		14 mm	45 - 80 %	61 %
		12,5 mm	20 - 65 %	43 %
		10 mm	0 - 30 %	13 %
		8 mm	0 - 10 %	3 %
		0,25 mm	0 - 2 %	1 %
Water absorption	BS EN 1097-6	Time		Water absorption
		5 min.	11 - 20 %	15 %
		60 min.	14 - 22 %	18 %
		24 hour	18 - 31 %	25 %
Water suction height	BS EN 1097-10		NPD	
Crushing resistance	BS EN 13055-1	min.	0,45 N/mm <sup>2</sup>	0,75 N/mm <sup>2</sup>
Percentage of crushed particles	BS EN 933-5/A1		NPD	
Volume stability	BS EN 13055-1		Stable according to long term experience	
Duability against freeze/thaw	BS EN 13055-1		Durable according to long term experience	
Chloride	BS EN 1744-1	max.	0,04 %	
Acid-soluble sulphate	BS EN 1744-1	max.	0,5 %	
Total sulphur	BS EN 1744-1	max.	0,32 %	
Cleanliness	BS EN 1744-1		Not relevant	
Release of heavy metals by leaching	BS EN 1744-3		NPD	
Release of dangerous substance			NPD	

<sup>1</sup> 90 % tolerance interval with a confidence level of 90 % according to ISO 12491 unless otherwise stated

#### Additional declaration (not covered by the CE-marking)

Property	Test method	Declared value		
		Limits <sup>1</sup>	Typical value	
Particle density	BS EN 1097-6	(Limits ±15%)	445 - 595 kg/m <sup>3</sup>	520 kg/m <sup>3</sup>

The Leca® plant has the quality management system acc. to DS/EN ISO 9001:2000, the environmental management system acc. to DS/EN ISO 14001:2004 and the energy management system acc. to DS 2403:2001

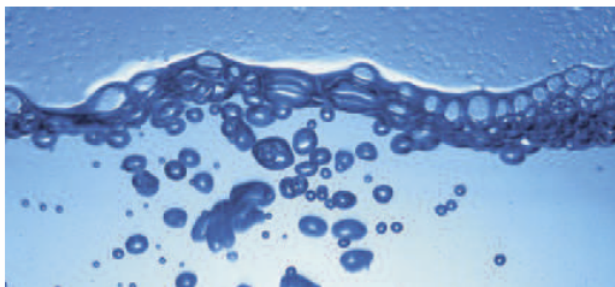
Leca® is a registered trademark owned by Leca Trading & Concession A/S



## Vedlegg B – Produktdatablad Leca type B (Filtralite® NR 10-20)



### FILTRALITE® NR 10-20



#### Product description

##### PRODUCT

Filtralite® is high quality filter media, manufactured from a unique expanded clay material.

##### ADVANTAGES

Filtralite® media, with its highly porous structure, enables improved filter efficiency by reduced backwash frequency and improved water velocity. Filtralite® media generate substantial savings by both improved filter capacity, and reduced operational costs.

##### EXPLANATIONS

N = Normal density, M = Medium density, H = High density, C = Crushed, R = Round  
The numbers are particle sizes.

#### Product specification

Commercial name	FILTRALITE® NR 10-20
Density	Bulk density: 260 kg/m <sup>3</sup> Particle density: 450 kg/m <sup>3</sup>
Type of material	Expanded clay
Appearance	Round particles, smooth surface with micropores
Manufactured by	Weber Leca Rælingen, Norway
Version	6

Size and weight	Value	Deviation	Comments
Particle size range	10-20 mm	> 20,0 mm max. 10 % < 10,0 mm max. 15 %	
Bulk density, loose	260 kg/m <sup>3</sup>	± 50 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-3
Particle density, apparent	450 kg/m <sup>3</sup>	± 100 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-6.C

Other properties	Value	Comments
Voids	42 %	Approximately value. EN 1097-3
Crushing degree	13 %	

#### CHEMICAL COMPOSITION, APPROXIMATELY VALUES

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O
63%	17%	7%	4%	2%	2%

Side 1/2  
2014-06-24

### FILTRALITE® NR 10-20

#### Disclaimer

The information provided in this data sheet is based on our current knowledge and experience. All the above information must be considered as guidelines. It is the user's responsibility to ensure that the product is suitable for the intended use and perform self-monitoring. The user is responsible if the product is used for purposes other than those recommended, or improper execution. We are available for consultation in the use of our products.

## Vedlegg C – Resultat frå ristetest

**Tabell C1.** Utlekk av grunnstoff målt i ristetest (batchforsøk) når  $L/S \cong 2$  (n=5). Utlekk er uttrykt høvesvis som prosent av totalinnhald og som mg utlekk frå eit kilo Leca når  $L/S \cong 2$ . Ristetesten vart utført med 12 g lecakuler i 25 mL ionefritt vatn (n=5), og 25 mL ionefritt vatn bufra til pH 4,0 ved tilsetjing av eddiksyre og natriumacetat (n=5). pH i forsøk med Leca type A i ionefritt vatn hadde pH 6,5, medan forsøk med Leca type B i ionefritt vatn hadde pH 10.

Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A					Leca type B				
	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk til ionefritt vatn [%]	Utlekk per kg leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk til bufferløysing [%]	Utlekk per kg leca til buffer- løysing [mg]	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk til ionefritt vatn [%]	Utlekk per kg leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk til bufferløysing [%]	Utlekk per kg leca til buffer- løysing [mg]
<b>Silisium (Si)</b>	$160 \cdot 10^3$	0,0022±0,00035	3,5	0,062±0,013	99	$170 \cdot 10^3$	0,0119±0,00038	20	0,20±0,010	340
<b>Jern (Fe)</b>	$60 \cdot 10^3$	0,00002±0,000037	0,01	0,068±0,011	41	$38 \cdot 10^3$	0,000006±0,000001 5	0,002	0,24±0,027	91
<b>Aluminium (Al)</b>	$30 \cdot 10^3$	0,0003±0,00017	0,09	0,20±0,021	60	$11 \cdot 10^3$	0,014±0,0019	1,5	1,3±0,049	140
<b>Kalsium (Ca)</b>	$23 \cdot 10^3$	0,75±0,048	170	2,4±0,33	550	$14 \cdot 10^3$	0,62±0,056	87	9,6±0,37	1300
<b>Kalium (K)</b>	$7,3 \cdot 10^3$	0,42±0,044	31	0,60±0,083	44	$16 \cdot 10^3$	0,065±0,0065	10	0,11±0,0033	18
<b>Titan (Ti)</b>	$6,9 \cdot 10^3$	0,00002±0,000027	0,001	0,0007±0,00017	0,05	$4,6 \cdot 10^3$	0,0000029±0,00000 046	0,00013	0,010±0,00066	0,46
<b>Magnesium (Mg)</b>	$5,6 \cdot 10^3$	0,23±0,017	13	1,3±0,63	73	$6,0 \cdot 10^3$	0,0048±0,00083	0,29	15±0,73	200
<b>Mangan (Mn)</b>	$3,5 \cdot 10^3$	0,038±0,0048	1,3	1,9±0,29	67	$0,91 \cdot 10^3$	0,000009±0,000003	0,00008	0,29±0,012	2,6
<b>Svovel (S)</b>	$3,4 \cdot 10^3$	7,2±0,61	250	9,4±1,3	320	$0,65 \cdot 10^3$	3,9±0,37	25	11±0,63	72
<b>Fosfor (P)</b>	$2,0 \cdot 10^3$	0,0013±0,00024	0,026	0,26±0,065	5,2	$0,97 \cdot 10^3$	0,00082±0,000043	0,0080	0,27±0,0070	2,6
<b>Barium (Ba)</b>	500	0,022±0,0033	0,11	0,047±0,020	0,24	410	0,0032±0,00056	0,013	0,26±0,0060	1,1
<b>Strontium (Sr)</b>	390	0,39±0,024	1,5	0,7±0,50	0,24	129	0,059±0,0055	0,076	0,52±0,040	0,67
<b>Vanadium (V)</b>	250	0,0026±0,00061	0,0065	0,034±0,0064	0,085	153	0,033±0,0014	0,051	0,31±0,011	0,47
<b>Sink (Zn)</b>	210	-	-	0,32±0,060	0,67	107	-	-	0,47±0,041	0,50
<b>Zirkonium (Zr)</b>	150	-	-	0,008±0,0011	0,01	84	-	-	0,031±0,0023	0,026

Tabell C1 held fram.

Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A					Leca type B				
	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk til ionefritt vatn [%]	Utlekk per kg leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk til bufferløysing [%]	Utlekk per kg leca til buffer- løysing [mg]	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk til ionefritt vatn [%]	Utlekk per kg leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk til bufferløysing [%]	Utlekk per kg leca til buffer- løysing [mg]
<b>Nikkel (Ni)</b>	150	0,26±0,066	0,39	4,4±0,81	6,6	230	-	-	3,2±0,055	7,4
<b>Krom (Cr)</b>	150	-	-	0,02±0,017	0,03	80	-	-	0,12±0,0059	0,096
<b>Kopar (Cu)</b>	110	0,007±0,0028	0,008	3,9±0,55	4,3	45	-	-	1,7±0,059	0,77
<b>Litium (Li)</b>	75	2,8±0,26	2,1	5,8±0,90	4,4	39	0,035±0,0017	0,014	0,33±0,019	0,13
<b>Kobolt (Co)</b>	47	0,14±0,039	0,066	2,4±0,60	1,1	21	-	-	0,55±0,067	0,12
<b>Cerium (Ce)</b>	22	0,0006±0,00043	0,0001	0,94±0,038	0,21	10	-	-	2,5±0,12	0,25
<b>Bly (Pb)</b>	21	-	-	0,27±0,068	0,057	23	-	-	1,0±0,030	0,23
<b>Molybden (Mo)</b>	20	0,09±0,021	0,02	0,075±0,014	0,015	2,9	0,31±0,028	0,0090	2,2±0,11	0,064
<b>Neodym (Nd)</b>	19	0,0005±0,00037	0,0001	1,3±0,25	0,25	17	-	-	2,3±0,057	0,39
<b>Arsen (As)</b>	14	0,06±0,018	0,008	1,3±0,26	0,18	7,1	0,20±0,010	0,014	6,6±0,38	0,47
<b>Lantan (La)</b>	9,0	0,06±0,14	0,005	1,1±0,25	0,099	5,0	-	-	2,3±0,059	0,012
<b>Rubidium (Rb)</b>	8,7	0,46±0,043	0,040	1,1±0,15	0,096	4,7	0,77±0,082	0,036	1,9±0,060	0,089
<b>Yttrium (Y)</b>	7,5	0,0008±0,00047	0,00006	1,9±0,078	0,14	1,8	-	-	4,0±0,14	0,072
<b>Tinn (Sn)</b>	6,7	-	-	-	-	2,6	-	-	0,1	0,003
<b>Hafnium (Hf)</b>	4,0	0,0002±0,00016	0,000008	0,007±0,0010	0,0003	2,5	0,0002±0,00012	0,000005	0,029±0,0023	0,00073
<b>Wolfram (W)</b>	4	0,008±0,0023	0,0003	0,12±0,0074	0,0048	1,1	-	-	-	-
<b>Germanium (Ge)</b>	2,6	0,025±0,0028	0,00065	1,1±0,22	0,029	1,6	0,06±0,021	0,001	11±0,49	0,18
<b>Uran (U)</b>	2,6	0,0002±0,00078	0,000005	0,4±0,18	0,010	3,4	0,00014±0,000010	0,0000048	0,48±0,021	0,016
<b>Beryllium (Be)</b>	2,5	-	-	0,31±0,073	0,0078	2,5	-	-	0,53±0,017	0,013
<b>Selen (Se)</b>	2,4	1,7±0,15	0,041	2,7±0,29	0,065	-	-	-	-	-
<b>Praseodym (Pr)</b>	2,3	0,0006±0,00035	0,00001	1,2±0,18	0,028	1,2	-	-	2,3±0,11	0,028

Tabell C1 held fram.

Grunnstoff (Kjemisk symbol)	Leca type A					Leca type B				
	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk til ionefritt vatn [%]	Utlekk per kg leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk til bufferløysing [%]	Utlekk per kg leca til buffer- løysing [mg]	Total- innhald [mg/kg]	Utlekk til ionefritt vatn [%]	Utlekk per kg leca til ionefritt vatn [mg]	Utlekk til bufferløysing [%]	Utlekk per kg leca til buffer- løysing [mg]
<b>Antimon (Sb)</b>	2,1	0,030±0,0036	0,00063	0,13±0,020	0,0027	0,44	0,25±0,016	0,0011	1,4±0,082	0,0062
<b>Samarium (Sm)</b>	1,9	-	-	1,5±0,31	0,029	0,74	-	-	2,5±0,080	0,019
<b>Gadolinium (Gd)</b>	1,7	0,0006±0,00041	0,00001	2,0±0,82	0,034	0,53	-	-	3,0±0,044	0,016
<b>Dysprosium (Dy)</b>	1,5	0,0005±0,00037	0,000008	1,8±0,10	0,027	0,36	-	-	3,9±0,051	0,014
<b>Thorium (Th)</b>	1,5	-	-	0,13±0,023	0,0019	0,94	-	-	2,0±0,069	0,019
<b>Ytterbium (Yb)</b>	1,3	-	-	1,1±0,059	0,017	0,78	-	-	0,94±0,038	0,0073
<b>Tantal (Ta)</b>	1,1	-	-	0,005±0,0014	0,00006	1,1	-	-	-	-
<b>Erbium (Er)</b>	0,81	-	-	1,9±0,081	0,015	0,18	-	-	4,3±0,093	0,0077
<b>Cesium (Cs)</b>	0,63	0,089±0,0074	0,00056	0,42±0,086	0,0027	0,86	0,071±0,0073	0,00061	0,29±0,0083	0,0025
<b>Europium (Eu)</b>	0,60	-	-	1,1±0,51	0,0066	0,14	-	-	3,1±0,15	0,0043
<b>Holmium (Ho)</b>	0,5	0,0003±0,00022	0,000002	2±1,3	0,01	0,25	-	-	1,1±0,05	0,0028
<b>Thallium (Tl)</b>	0,43	0,0026±0,00051	0,00001	0,026±0,0070	0,00011	0,70	0,0042±0,00041	0,000029	0,060±0,0041	0,00042
<b>Vismut (Bi)</b>	0,33	-	-	0,27±0,068	0,00089	0,21	-	-	1,0±0,03	0,0021
<b>Tellur (Te)</b>	0,28	-	-	-	-	0,053	-	-	4	0,002
<b>Kadmium (Cd)</b>	0,28	0,019±0,0048	0,00005	1,0±0,22	0,0028	0,066	-	-	2,5±0,18	0,0017
<b>Terbium (Tb)</b>	0,27	-	-	2±1,1	0,0054	0,070	-	-	3,3±0,10	0,0023
<b>Sølv (Ag)</b>	0,23	-	-	-	-	0,11	-	-	0,09	0,0001
<b>Lutetium (Lu)</b>	0,20	-	-	1,1±0,044	0,0022	0,12	-	-	0,90±0,016	0,0011
<b>Thulium (Tm)</b>	0,11	-	-	2,0±0,11	0,0022	0,025	-	-	4,5±0,12	0,0011
<b>Indium (In)</b>	0,085	-	-	-	-	0,068	-	-	-	-

<sup>a</sup>L/S betyr forholdet væske til fast stoff.

## Vedlegg D – Deteksjons- og kvantifiseringsgrenser

**Tabell D1:** Deteksjonsgrense (LOD) og kvantifiseringsgrense (LOQ) for grunnstoffer i prøver analysert ved bruk av ICP-MS etter en dekomponering med salpetersyre og saltsyre.

<b>Grunnstoff</b>	<b>Enhet</b>	<b>Deteksjonsgrense</b>	<b>Kvantifiseringsgrense</b>
Magnesium	g/kg	0,0004	0,0014
Aluminium	g/kg	0,002	0,0069
Rubidium	mg/kg	0,01	0,044
Yttrium	mg/kg	0,00006	0,00019
Lantan	mg/kg	0,0003	0,001
Cerium	mg/kg	0,0008	0,0027
Praseodym	mg/kg	0,0003	0,0011
Neodym	mg/kg	0,0005	0,0016
Samarium	mg/kg	0,0005	0,0018
Europium	mg/kg	0,0003	0,00088
Gadolinium	mg/kg	0,0005	0,0017
Terbium	mg/kg	0,0003	0,00087
Dysprosium	mg/kg	0,0005	0,0018
Erbium	mg/kg	0,0004	0,0013
Thulium	mg/kg	0,0005	0,0016
Gull	mg/kg	0,001	0,0048
Thorium	mg/kg	0,0002	0,00068

**Tabell D2:** Deteksjonsgrense (LOD) og kvantifiseringsgrense (LOQ) for grunnstoffer i prøver analysert ved bruk av ICP-MS etter en dekomponering med salpetersyre og flussyre.

<b>Grunnstoff</b>	<b>Enhet</b>	<b>Deteksjonsgrensen</b>	<b>Kvantifiseringsgrense</b>
Litium	mg/kg	0,06	0,19
Beryllium	mg/kg	0,005	0,016
Bor	mg/kg	10	49
Natrium	g/kg	0,02	0,054
Silisium	g/kg	0,6	2
Fosfor	g/kg	0,001	0,0047
Svovel	g/kg	0,002	0,0066
Kalium	g/kg	0,005	0,017
Kobolt	mg/kg	0,003	0,012
Kalsium	g/kg	0,001	0,0047
Scandium	mg/kg	0,007	0,023
Titan	g/kg	0,003	0,0087
Vanadium	mg/kg	0,003	0,01
Krom	mg/kg	0,09	0,3
Mangan	g/kg	0,0001	0,00032
Jern	g/kg	0,002	0,0061
Nikkel	mg/kg	0,1	0,34
Kopar	mg/kg	0,7	2,2
Sink	mg/kg	0,4	1,5
Gallium	mg/kg	0,02	0,056
Germanium	mg/kg	0,01	0,043
Arsen	mg/kg	0,01	0,041
Selen	mg/kg	0,1	0,4
Strontium	mg/kg	0,1	0,37
Zirkonium	mg/kg	0,02	0,06

**Tabell D2** held fram.

<b>Grunnstoff</b>	<b>Enhet</b>	<b>Deteksjonsgrensen</b>	<b>Kvantifiseringsgrense</b>
Neodym	mg/kg	0,005	0,016
Molybden	mg/kg	0,008	0,028
Rhodium	mg/kg	0,002	0,0074
Palladium	mg/kg	0,003	0,011
Sølv	mg/kg	0,001	0,0043
Kadmium	mg/kg	0,002	0,0067
Indium	mg/kg	0,001	0,0032
Tinn	mg/kg	0,01	0,048
Antimon	mg/kg	0,006	0,019
Tellur	mg/kg	0,003	0,012
Cesium	mg/kg	0,003	0,01
Barium	mg/kg	0,2	0,73
Holmium	mg/kg	0,0005	0,0017
Ytterbium	mg/kg	0,004	0,012
Lutetium	mg/kg	0,0005	0,0017
Hafnium	mg/kg	0,005	0,018
Tantal	mg/kg	0,001	0,0048
Wolfram	mg/kg	0,02	0,072
Iridium	mg/kg	0,002	0,0063
Thallium	mg/kg	0,001	0,0042
Bly	mg/kg	0,03	0,11
Vismut	mg/kg	0,0009	0,0031
Uran	mg/kg	0,0007	0,0024

# Vedlegg E – Periodesystemet

## Grunnstoffenes periodesystem

1																18	
1 H Hydrogen 1,00794	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	2 He Helium 4,003
3 Li Litium 6,941	4 Be Beryllium 9,012182											5 B Bor 10,811	6 C Karbon 12,0107	7 N Nitrogen 14,00674	8 O Oksygen 15,9994	9 F Fluor 18,998403	10 Ne Neon 20,1797
11 Na Natrium 22,989770	12 Mg Magnesium 24,3050											13 Al Aluminium 26,981538	14 Si Silisium 28,0855	15 P Fosfor 30,973761	16 S Svovel 32,066	17 Cl Klor 35,4527	18 Ar Argon 39,948
19 K Kalium 39,0983	20 Ca Kalsium 40,078	21 Sc Scandium 44,955910	22 Ti Titan 47,867	23 V Vanadium 50,9415	24 Cr Krom 51,9961	25 Mn Mangan 54,938049	26 Fe Jern 55,845	27 Co Kobolt 58,933200	28 Ni Nikkel 58,6934	29 Cu Kobber 63,546	30 Zn Sink 65,39	31 Ga Gallium 69,723	32 Ge Germanium 72,61	33 As Arsen 74,92160	34 Se Selen 78,96	35 Br Brom 79,904	36 Kr Krypton 83,80
37 Rb Rubidium 85,4678	38 Sr Strontium 87,62	39 Y Yttrium 88,90585	40 Zr Zirkonium 91,224	41 Nb Niob 92,90638	42 Mo Molybden 95,94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101,07	45 Rh Rhodium 102,90550	46 Pd Palladium 106,42	47 Ag Sølv 107,8682	48 Cd Kadmium 112,411	49 In Indium 114,818	50 Sn Tinn 118,710	51 Sb Antimon 121,760	52 Te Tellur 127,60	53 I Jod 126,90447	54 Xe Xenon 131,29
55 Cs Cesium 132,90545	56 Ba Barium 137,327	57 * La Lantan 138,9055	72 Hf Hafnium 178,49	73 Ta Tantal 180,9479	74 W Wolfram 183,84	75 Re Rhenium 186,207	76 Os Osmium 190,23	77 Ir Iridium 192,217	78 Pt Platina 195,078	79 Au Gull 196,96655	80 Hg Kvikksølv 200,59	81 Tl Thallium 204,3833	82 Pb Bly 207,2	83 Bi Vismut 208,98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astat (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 * Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (262)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113	114				

*	58 Ce Cerium 140,116	59 Pr Praseodym 140,90765	60 Nd Neodym 144,24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150,36	63 Eu Europium 151,964	64 Gd Gadolinium 157,25	65 Tb Terbium 158,92534	66 Dy Dysprosium 162,50	67 Ho Holmium 164,93032	68 Er Erbium 167,26	69 Tm Thulium 168,93421	70 Yb Ytterbium 173,04	71 Lu Lutetium 174,967
**	90 Th Thorium 232,0381	91 Pa Protactinium 231,03588	92 U Uran 238,0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

OBK,2004