

Urban mining

Materialgjenvinning av EE-avfall med fokus
på sjeldne jordartsmetaller og edelmetaller

Elise Hermo Rusti

Environmental Toxicology and Chemistry

Innlevert: Mai 2013

Hovedveileder: Trond Peder Flaten, IKJ

Medveileder: Rolf Tore Ottesen, NGU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for kjemi

Forord

Arbeidet med oppgaven ble utført i perioden juni 2012 til mai 2013 ved Institutt for kjemi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Prøveinnsamling ble utført hos WEEE Recycling på Øysand utenfor Trondheim.

Først vil jeg takke til min veileder Trond Peder Flaten for all veiledning og som har gitt meg muligheten til å jobbe med denne spennende oppgaven. Takk for at døren din alltid er åpen, og at du alltid er positiv og hyggelig selv når du har det travelt. En stor takk for all gjennomlesning av oppgaven og verdifulle tips til både teori og diskusjon.

Takk til Rolf Tore Ottesen og Belinda Flem for hjelp med alt prøvemateriale og ellers hjelp til selve masteroppgaven. Takk til WEEE Recycling, ved Thomas Hovset og Eirik Syrstad Brattli, for hjelp med prøvetakning og ellers informative møter underveis. Takk til Klif for bruk av forside-bildet.

Takk til Martin Bland for hjelp med abstract og ellers takk til resten av de flotte menneskene jeg bor i kollektiv med. Takker også til Ingvill Marie Moen som har hjulpet meg i sluttinnspurten.

En stor takk til hele sofakrokgjengen, vi har hatt en utrolig gøy tid sammen gjennom hele masteren. En spesiell takk til Ailin, uten din hjelp i mastertiden og sosialt selskap på seminarene vet jeg ikke hva jeg hadde gjort. Takk også til Janne for godt samarbeid og hjelp. Og videre en stor takk til alle jeg har møtt gjennom studietiden som har gjort denne til et av de beste minnene i livet mitt.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke til familien, uten deres støtte hadde ikke dette gått. Takker spesielt til bestefar for gjennomlesing av mastergraden underveis og for god oppfølging og retting gjennom det siste halve året.

Elise Hermo Rusti

Trondheim, mai 2013

Sammendrag

Hensikten med denne masteroppgaven er å kartlegge ressurspotensialet i EE-avfall (elektronisk og elektrisk avfall), med fokus på sjeldne jordartsmetaller (REE) og edelmetaller. Urban mining (resirkulering/gjenvinning) skal også sammenlignes med tradisjonell gruvedrift.

Enkelte metaller gjenvinnes i dag fra EE-avfall, men i tillegg inneholder EE-avfall grunnstoffer i REE-gruppen, som er ukjente for mange. Det er stor etterspørsel etter de sjeldne jordartsmetallene, da de blant annet brukes i katalysatorer, magneter, metall-legeringer, elektronikk og glass. Råvareprisen stiger for hvert år, dette er pga. at etterspørselen øker og tilgangen minker. Kina har mellom 95 og 97 % av den globale produksjonen av sjeldne jordartsmetaller. Fordi et land kontrollerer det meste av produksjonen av REE er det ekstra interessant for resten av verden å finne metoder for resirkulering av disse. Det er per i dag bare ca. 1 % av REE som blir gjenvunnet og dette ønsker vi å gjøre noe med.

Oppgaven er gjennomført i nært samarbeid med firmaet Elretur. De har også finansiert de kjemiske analysene gjennom sin årlige miljøpris, som veileder Rolf Tore Ottesen har fått en delsum av både i 2011 og i 2012. Prøvematerialet ble hentet fra Elreturs fragmenteringsanlegg for EE-avfall på Øysand utenfor Trondheim (WEEE Recycling). Det ble også analysert prøver av flere ulike mobiltelefoner og telefonfragmenter. Prøvene ble sendt til akkrediterte laboratorier som gjør grunnstoffanalyser (ICP-MS), Eurofins og Actlab. Konsentrasjonen av sjeldne jordartsmetaller og edelmetaller i EE-avfall ble bestemt og resultatene ble sammenlignet med det som finnes naturlig i øvre del av jordskorpa.

En sammenligning mellom utvinning av metaller fra EE-avfall med god gammeldags gruvedrift gir en soleklar miljø- og klimaseierherre. Noe gjenvinning av metaller fra EE-avfall pågår i dag, men ingen norske aktører har hittil startet med materialgjenvinning av de sjeldne jordartsmetallene. Selv om vi har resirkulering må vi også fortsette med gruvedrift. Begge deler er viktig for vår måte å leve på, men gruvedrift kan ikke fortsette for alltid. Både dagbrudd (i overflata) og gruvedrift (under jorda) skaper betydelige miljøproblemer både på land, i luft, biologisk og i vannressurser.

Etter den første prøvetakningen kan det konkluderes med at enkelte eller flere produkttyper som håndteres i anlegget inneholder høye konsentrasjoner av sjeldne jordartsmetaller. Potensialet for gjenvinning er sannsynligvis stort og enkelte produkter bør undersøkes i større detalj. Noen av de sjeldne jordartsmetallene forekommer i relativt høye konsentrasjoner, for eksempel lantan, cerium, neodym, praseodym, europium og gadolinium. Når det videre ble sett nærmere på diverse produktgrupper vises det at

kretskort inneholder mye neodym, europium og gadolinium. Plast som bromplast eller mobiltelefon-plast (chassis) inneholder kun lave konsentrasjoner av REE.

I ulike mobiltelefoner og telefonfragmenter (mobiltelefon shredder) ble det funnet høye konsentrasjoner av flere viktige REE (blant annet neodym og europium). I det tilgjengelige datasettet ble det observert at hvilke REE som benyttes i mobiltelefoner har endret seg med teknologiutviklingen, spesielt gjelder dette neodym og cerium.

For edelmetaller ble det funnet høye mengder av sølv, gull og palladium i de prøvene som ble analysert for edelmetaller, bortsett fra i en prøve. Generelt for alle analysene er det lite thorium og uran, dette er dermed en stor fordel i forhold til tradisjonell gruvedrift.

EE-avfall er en stor sekundær råvare på grunn av sitt innhold av tungmetaller, edelmetaller og sjeldne jordartsmetaller. Det bør settes mer fokus på innsamling av EE-avfall og erstatninger av REE. Sjeldne jordartsmetaller og flere av edelmetallene gjenvinnes ikke fra EE-avfall i Norge i dag. Dette må det gjøres noe med!

Abstract

The purpose of this master thesis is to identify the resource potential of EE-waste (electronic and electrical waste), focusing on rare earth elements (REE) and noble metals. Urban mining (recycling/recovery) is also compared to traditional mining.

Some metals are recovered today from EE-waste, but EE-waste also contains elements in the REE group, which is unfamiliar to many. There is great demand for the rare earth metals, as they are used in catalysts, magnets, metal-alloys, electronics and glass. Raw material prices are rising rapidly; this is because the demand increases and supply decreases. China has between 95-97 % of the global production of rare earth metals. Because one country controls most of the production of REE it's particularly interesting for the rest of the world to find ways to recycle them. There are currently approx. only 1 % of REE being recycled and we want to do something about this.

The thesis is conducted in close cooperation with the company Elretur. They have also financed the chemical analyzes through its annual environmental award, that my supervisor, Rolf Tore Ottesen, has received a subtotal of both in 2011 and 2012. The samples were collected from Elreturs fragmentation facility for EE-waste at Øysand outside of Trondheim (WEEE Recycling). There were also analyzed samples of different mobile phones and mobile phone-fragments. The samples were sent to the accredited laboratories Eurofins and Actlabs that did the elemental analysis (ICP-MS). The concentration of rare earth metals and noble metals in EE-waste were determined, and the results were compared with those found naturally in the upper part of the crust.

A comparison between the extractions of metals from EE-waste with traditional mining provides an obvious environmental and climate victor. Some recycling of metals from EE-waste is going on today, but no Norwegian actors have so far started with recycling of the rare earth metals. Both mining and recycling are essential to our way of life, but mining can't continue forever. Both open pit (at the surface) and mining (underground) create significant environmental problems on land, in air, biological and in water resources.

After the first sampling it can be concluded that single or multiple product-types that are handled in the facility must contain high concentrations of rare earth metals. The potential for recycling is probably large and some products should be examined in greater detail. Some of the rare earth metals are present in relatively high concentrations, such as lanthanum, cerium, neodymium, praseodymium, europium and gadolinium. When the various product groups was further looked into is shown that printed circuit boards contain a

Abstract

lot of neodymium, europium and gadolinium. Plastics like bromine plastic or cell phone plastic (chassis) contains only low concentrations of REE.

In different mobile phones and telephone fragments high levels of several important REE (among other neodymium and europium) was found. In the available data set, we observed that the REE used in mobile phones has changed with technology developments, in particular for neodymium and cerium.

For noble metals it was found high amounts of silver, gold and palladium in the samples that were analyzed for precious metals, except in one sample. Uranium and thorium content is very low in EE-waste, this is a great advantage compared to traditional mining.

EE-waste is a large secondary raw material because of its content of heavy metals, noble metals and rare earth metals. There should be more focus on the collection EE-waste and substitutions for REE. REE and several of the noble metals are not recovered from EE-waste in Norway today. This must be dealt with!

Forkortelser

CRT – Katodestrålerør

EE – Elektrisk og elektronisk

EEA – European Environmental

EEE – Elektrisk- og elektronisk utstyr

EIB – European Investment Bank

ELV – EU End of Life Vehicles Directive

EØS – Det europeiske økonomiske samarbeidsområdet

Hi-Tech – Høyt teknologi

HREE – Tunge sjeldne jordartsmetaller

Klif – Klima- og forurensningsdirektoratet

LCD – Liquid Crystal display (skjerm av flytende krystaller)

LED – Lysdiode

LREE – Lette sjeldne jordartsmetaller

MFA – Material flow Analysis (massestrømsanalyse)

MR – Magnetresonanstomografi

NGU – Norges geologiske undersøkelse

NiMH – Nikkel-metall-hybrid

PBB – Polybromerte bifenyler

PBDE – Polybromerte difenyletere

PCB – Polyklorerte bifenyler

PET – Positronemisjonstomografi

PGE/PGM – Platinagruppens elementer/metaller

RE – Rare Earths (sjeldne jordarter)

REE – Rare Earth elements (sjeldne jordartsgrunnstoffer)

REM – Rare Earth metals (sjeldne jordartsmetaller)

REO – Rare Earth oxide (sjeldne jordartsoksider)

RoHS – Restrictions of Hazardous Substances – «begrensning i bruk av farlige stoffer»

R&D – Research and Development (forskning og utvikling)

SE – Småelektronikk

USDOE – U.S. Department of Energy

WEEE – Waste Electric and Electronic Equipment (avfall av elektriske- og elektroniske-produkter)

WTO – World Trade Organization (Verdens handelsorganisasjon)

XRF – X-ray fluorescence

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iv
Forkortelser	vi
Innholdsfortegnelse	vii
1 Innledning.....	1
1.1 Mål	1
1.2 Bakgrunn.....	1
2 Teori.....	4
2.1 EE-avfall	4
2.1.1 Generelt.....	4
2.1.2 Situasjonen for EE-avfall i Norge	8
2.2 Sjeldne jordartsmetaller (REE–rare earth elements)	9
2.2.1 Bruksområder for REE	14
2.2.2 Scandium (Sc)	17
2.2.3 Yttrium (Y)	18
2.2.4 Lantan (La)	18
2.2.5 Cerium (Ce).....	18
2.2.6 Praseodym (Pr)	19
2.2.7 Neodym (Nd)	19
2.2.8 Promethium (Pm)	20
2.2.9 Samarium (Sm)	20
2.2.10 Europium (Eu).....	20
2.2.11 Gadolinium (Gd)	21
2.2.12 Terbium (Tb).....	21
2.2.13 Dysprosium (Dy)	21
2.2.14 Holmium (Ho)	22
2.2.15 Erbium (Er).....	22
2.2.16 Thulium (Tm)	22
2.2.17 Ytterbium (Yb)	22

Innholdsfortegnelse

2.2.18 Lutetium (Lu)	23
2.2.19 Radioaktive grunnstoffer.....	23
2.2.20 Ressurssituasjon	24
2.2.21 Prosjekter utenfor Kina	30
2.3 Edelmetaller.....	36
2.3.1 Gull (Au).....	37
2.3.2 Sølv (Ag).....	38
2.3.3 Platina (Pt)	38
2.3.4 Ruthenium (Ru)	38
2.3.5 Rhodium (Rh).....	38
2.3.6 Palladium (Pd)	39
2.3.7 Osmium (Os).....	39
2.3.8 Iridium (Ir).....	39
2.4 Resirkulering av REE	40
2.4.1 Generelt.....	40
2.4.2 Teknologi for resirkulering av REE.....	50
2.4.3 Innsamling av EE-avfall i Norge	51
2.4.4 Mobiltelefon som eksempel på resirkulering	57
2.5 Urban mining VS gruvedrift	61
2.5.1 Generelt.....	61
3 Metode	67
3.1 Prøvetakning 1	69
3.2 Prøvetakning 2	69
3.3 Prøvetakning 3	72
3.4 Mobiltelefoner.....	77
Mobiltelefonbatteri, hele mobiltelefoner uten batteri og chassis mobiltelefon (plastomslag/deksel)	77
Mobiltelefon shredder	77
4 Resultater og diskusjon	79
4.1 Prøvetakning 1	79
4.2 Prøvetakning 2	81

Innholdsfortegnelse

R3 (rest i sikt av hele prøven).....	82
R6 (Rest i bøtte (støv)).....	82
S1 (CRT-støv)	82
4.3 Prøvetakning 3.....	83
Sjeldne jordartsmetaller.....	83
Edelmetaller	88
4.4 Mobiltelefoner.....	88
Mobiltelefon batteri.....	89
Hele mobiltelefoner uten batteri	89
Chassis mobiltelefon (plastomslag).....	90
Mobiltelefon-shredder	90
5 Konklusjon og anbefalinger for videre arbeid.....	93
6 Litteraturliste.....	95
Vedlegg.....	101

1 Innledning

1.1 Mål

I denne masteroppgaven har ressurspotensialet i EE-avfall (elektronisk- og elektrisk avfall) blitt kartlagt, med fokus på sjeldne jordartsmetaller (REE) og edelmetaller. I hvilke produkter finnes disse sjeldne metallene og hvordan sorterer man? Hvilke ressurser finnes i gjenvinning av EE-avfall? Kan urban mining være et supplement til tradisjonell gruvedrift?

I forhold til miljøet og klimaet har gjenvinning av EE-avfall blitt sammenlignet med gruvedrift. Begrepet som brukes om denne type gjenvinning er urban mining. Dette konseptet er ikke bare viktig for klima og miljøaspektet, men det skal også sees på hvorfor det er viktig for vår fremtidige utvikling å ta vare på ressursene dette medfører (Husby, 2010). Urban mining kan også sies å være den moderne tids gruvedrift (G. K. Husby, 2011, personlig kommunikasjon) eller å resirkulere kritiske metaller i EE-produkter (HALADA) ved at man bruker stoffene på nytt i stedet for å ta de ut fra gruver (Elektronikkbransjen).

1.2 Bakgrunn

EE-produkter

I avfallsforskriften står det dette om EE-produkter:

«*EE-produkter*; produkter og komponenter som er avhengige av elektrisk strøm eller elektromagnetiske felt for korrekt funksjon, samt utrustning for generering, overføring, fordeling og måling av disse strømmen og felt, herunder omfattes de deler som er nødvendige for avkjøling, oppvarming, beskyttelse m.m. av de elektriske eller elektroniske delene» (Norsk lovtidend, 2006).

Hvordan gå fra EE-avfall til nye produkter i dag (Husby, 2011)?

- Alle som selger EE-produkter plikter å ta produktene i retur når de blir avfall, i tillegg tar kommunale gjenvinningsstasjoner eller miljøstasjoner også imot dette avfallet
- Elreturs (eller andre returselskaper) transportører henter EE-avfallet rundt om i hele Norge
- EE-avfallet miljøsaneres
- Plast, glass osv. sorteres ut, de resterende metallene knuses til små biter (fraksjoner) før de blir sendt inn i smelteovner
- I smelteprosessen skilles de forskjellige metallene ut og vi sitter til slutt igjen med rene metaller
- Det som blir gjenvunnet kan brukes på nytt, for eksempel kan gjenvunnet stål brukes i nye kjøleskap

1 Innledning

93 % av alt elektrisk avfall som ble levert inn til kommunale gjenvinningsstasjoner ble materialgjenvunnet eller utnyttet til produksjon av energi i 2011. Det er en forbedring fra 2010 på 1,5 %. Innsamlet mengde var 49330 tonn, hvor av 40700 gikk til materialgjenvinning og 5180 tonn gikk til energigjenvinning. Hver og en av oss kaster i snitt ca. 2,6 kg EE-avfall i restavfallet hvert år, dette tilsvarer at 12 600 tonn ikke blir miljøsanert hvert år bare i Norge (EE-registeret, 2011). Det er samme mengde som for 10 år siden, men det har blitt et økende salg av EE-produkter. Det vil si at store ressurser her går tapt. Resirkulering av EE-avfall er vanskelig, da produktene ikke er laget for å demonteres igjen. Derfor er ny resirkuleringsteknologi nødvendig (Husby, 2011).

I EE-avfallsstrømmen er det tre typer materialer som dominerer; metall, plast og glass. EE-avfall inneholder mange verdifulle metaller som sølv og gull, men også andre litt mindre kjente metaller som defineres som sjeldne (Gire Dahl og Lyng, 2011). EE-produkter kan blant annet inneholde tungmetaller som kvikksølv, kadmium og bly, og organiske miljøgifter som PCB (polyklorerte bifenyl) og bromerte flammehemmere (EE-registeret, 2012). Metallene har blitt en viktig handelsvare, fordi de er ressurser verdensmarkedet har begrenset tilgang til (Steiner og Graedel, 2011). Kobber og edelmetaller blir resirkulert, mens andre metaller som sjeldne jordartsmetaller ikke resirkuleres. Dette gir dermed et stort forbedringspotensiale (Ottesen et al., 2013). Ressursene i EE-avfall ligger i stor grad i edelmetallene (inkludert platinagruppe-metallene (PGM)), men også i sjeldne jordartsmetaller fordi disse som navnet sier er sjeldne og da dermed er dyre (Zhang et al., 2012, Tanskanen, 2012). Da det stadig blir oppdaget nye bruksområder for REE er også etterspørselen økende (Massari og Ruberti, 2012, Husby, 2010).

Kina har mellom 95 og 97 % av den globale produksjonen av sjeldne jordartsmetaller og eksporten fra Kina har gått ned. Sjeldne jordartsmetaller trengs i en rekke EE-produkter. Det største området for REE er for tiden innen «grønn energi» som hybrid- og elektriske biler, vindmøller osv. De tre største bruksområdene i 2010 var magneter, metall-legeringer og katalysatorer (Massari og Ruberti, 2012). Det kan bli produksjonsstopp for blant annet disse produktene hvis vi ikke gjør noe. Siden Kina nekter å eksportere nok i forhold til dagens etterspørsel må vi finne andre løsninger. Forslag til løsninger kan være å starte opp gamle gruver igjen, starte opp nye gruver og raffineringssanlegg, samarbeide bedre med Kina evt. sikre sjeldne jordartshandel med vennlige land, som Canada og Australia eller resirkulere mer og forske på hvordan vi kan ta ut REE fra EE-avfall (Trigaux, 2012).

Betydningen av å gjenvinne sjeldne jordmetaller fra EE-avfall blir svært viktig når dagens produktutvikling i større og større grad tar i bruk disse sjeldne jordmetallene, og er avhengige av dem i dagens teknologiske utvikling. Blant annet er nyvinninger innen lasere,

røntgenmaskiner, spesielle batterier, solcellepaneler og vindmøller avhengige av flere av de sjeldne jordmetallene (Husby).

Elretur har tidligere undersøkt lette og tunge metaller, men ikke sjeldne jordartsmetaller (Paul og Campbell, 2011). Det er heller ikke så mange andre som tidligere har undersøkt disse metallene (Husby, 2011). Følgelig var det naturlig å se på REE her. Siden masteroppgaven går ut på ressurser i EE-avfall, var det viktig å få med en liten del om edelmetallene også.

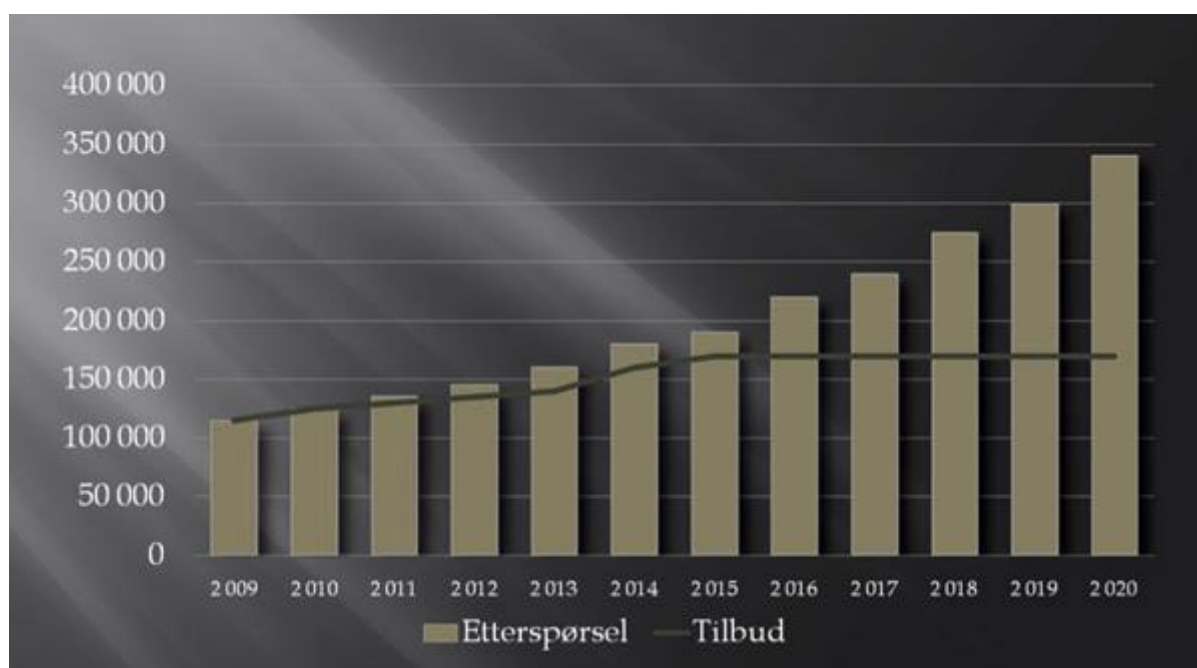
Det er kjent at edelmetaller er viktige komponenter i de strømførende delene av EE-produkter (Gire Dahl, 2012, Periodesystemet.no). I Norge har vi ingen anlegg for å utvinne edelmetaller fra EE-avfall, og både kretskort og mobiltelefoner blir dermed sendt til New Boliden i Sverige (Gire Dahl, 2012, WEEE Recycling, 2012a). New Boliden utvinner blant annet gull og sølv (New Boliden). Hvis REE først skal separeres kan det på sikt være lurt å lage en prosess som også er i stand til å utvinne andre kostbare metaller.

2 Teori

2.1 EE-avfall

2.1.1 Generelt

Enkelte metaller gjenvinnes i dag fra EE-avfall, men i tillegg inneholder EE-avfall grunnstoffer i REE-gruppen, som er ukjente for mange. Det er stor etterspørsel etter de sjeldne jordartsmetallene, da de blant annet brukes i katalysatorer, magneter, metall-legeringer, elektronikk og glass. Råvareprisen på disse stiger for hvert år, dette er pga. at etterspørselen øker og tilgangen minker (Figur 1). Det er også viktig å poengtere at ny teknologi og utvikling har behov for disse sjeldne metallene. Gevinstene ligger i urban mining (Husby, 2010). Norge har et meget velfungerende retursystem for EE-avfall, og har et fantastisk utgangspunkt for urban mining også av sjeldne jordartsmetaller (Ottesen et al., 2013).



Figur 1: Etterspørsel og tilbud av REE fra 2009 og estimert fram til 2020 (REE minerals, 2012)

EE-avfall er allestedsnærværende i det moderne samfunn. Sammen med økonomisk vekst, har det å eie elektronikk økt raskt i hele verden (Zhang et al., 2012). Det er nå mulig å masseprodusere varer som for eksempel TV, mobiltelefoner eller datamaskiner. Produkter som før i tiden var forbeholdt de rikeste, har nå blitt allemannseie. Vår livstil har ført til overforbruk av naturressurser og har dermed blitt et miljøproblem i global skala (Gire Dahl, 2012). Gjennomsnittslevetid for en ny datamaskin var i 2005 mindre enn halvparten enn i 2000 (2 mot 4,5 år) (Zhang et al., 2012). The National Safety Council estimerer levetiden til mobiltelefoner til å være 18 måneder og PCer erstattes annet hvert år. Det er estimert at

2 Teori

mellom 2000 og 2010 har en halv milliard PCer blitt EE-avfall (Pipkin et al., 2011). En kombinasjon av at produktene har blitt allemannseie og kortere levetid har ført til en rask økning i mengden uønsket og utdatert/overflødig elektronikk (kjent som EE-avfall). Håndteringen av EE-avfall har blitt en stor utfordring for samfunnet. Elektronikk inneholder verdifulle og/eller sjeldne materialer slik som gull, palladium, kobber, men også plast. En tidligere studie (Hagelüken og Meskers, 2008) har funnet ut at EE-avfall inneholder mer sjeldne- og edelmetaller enn typiske metallgruver. Gjenbruk av brukte elektriske- og elektroniske enheter har også blitt foreslått, for å forlenge deres levetid (Zhang et al., 2012).

EE-avfall kan deles inn i: (WEEE Recycling, 2012a)

- Kjølemøbler
- Store hvitevarer og elektronikk
- Tv/monitor (tjukkas-TV)
- Næringsselektroavfall (belysning, oppvarming og installasjon)

EE-avfall er den avfallstypen som vokser raskest i Europa. For å gjøre situasjonen verre vet ikke myndighetene hvor halvparten av det ender opp (Gire Dahl, 2012). I tillegg til miljø- og helse-risikoer, står Europa ovenfor en mangel på tilførsel av sjeldne materialer som trengs for å produsere elektroniske produkter. Det er derfor ingen stor overraskelse at innsamling for gjenvinning har stor prioritet for EU (Gire Dahl, 2012). Effektiv gjenvinningsteknologi, som gjenvinner de verdifulle materialene med minimal miljøinnvirkning er dyrt. Derfor pleier ikke rike land å resirkulere EE-avfall. I stedet blir det deponert (søppelfyllinger) eller eksportert til fattige land. Slik eksport er forbudt (Robinson, 2009) og blir gjort fordi dette er billigere enn å miljøsanere det (Gire Dahl, 2012). 80 % av alt EE-avfall i verden blir eksportert til Asia, der Kina mottar 90 % av dette (Ongondo et al., 2011). I fattige land er resirkuleringsteknikker gjerne brenning eller oppløsning i sterke syrer, med få tiltak for å beskytte human helse og miljøet (Robinson, 2009).

Den globale produksjonen av EE-avfall i 2009 var estimert til å være 20-25 millioner tonn per år, med mest EE-avfall produsert i Europa, USA og Australasia. Kina, Øst-Europa og Latin-Amerika vil bli store EE-avfallsprodusenter i løpet av de neste ti årene (Robinson, 2009). Elektronisk avfall er globalt en økende avfallsstrøm som må rettes mot riktige resirkuleringssystemer for å spare verdifulle naturressurser og for å unngå forurensning forårsaket av deponering eller avfallsforbrenning. Land i EU skaper 17 kg EE-avfall per innbygger årlig, mens land som Kina og India skaper 1 kg EE-avfall per innbygger i året. Tallene forventes å øke i fremtiden. EE-avfall inneholder mange resirkulerbare stoffer slik som jernholdige metaller, aluminium, kobber og edelmetaller, men også plast. De er

2 Teori

vanligvis veldig integrert i hverandre. Dette betyr at resirkulering av EE-produkter er teknologisk mer komplisert enn for eksempel glass- og papirresirkulering (Tanskanen, 2012). Produktene er ikke laget for å separeres, de er rett og slett nesten umulig å demontere automatisk (M., 2011). Et av hovedproblemene ved forskning på EE-avfall er dets komplekse natur. EE-produkter varierer kraftig både i størrelse og sammensetning, samt at de stadig forandrer seg i takt med den teknologiske utviklingen (Gire Dahl og Lyng, 2011). Det er derfor et forslag om å forby produsenter å lage produkter som ikke kan demonteres eller brukes på nytt. Det burde også være bedre kommunikasjon mellom produsenter og gjenvinnere (M., 2011).

EE-avfall forandrer også stadig karakter, det har en slik variasjon i materialet og toksiske stoffer at håndtering blir komplisert. Produktene blir også mindre og mindre og flere studier viser at jo mindre EE-produktene blir, jo mindre blir materialgjenvinningsgraden. Derfor er det viktig at resirkuleringssystemet innarbeider gode metoder for behandling av småelektronikk (Gire Dahl og Lyng, 2011).

Materialgjenvinning gjør at verdifulle ressurser i avfallet blir utnyttet i ny produksjon, man lukker kretsløpet. Dette erstatter den belastende utvinningen og vi sparer på ressursene. I tillegg er foredlingsprosessen av metaller fra avfall generelt mer miljøeffektivt enn utvinning og foredling av jomfruelig materiale (Hischier et al., 2005, Widmer et al., 2005).

EU har innført to viktige direktiver: RoHS (Restrictions of Hazardous Substances – «begrensning i bruk av farlige stoffer») er et direktiv som innebærer et forbud mot kadmium, bly, kvikksølv, seksverdig krom, polybromerte bifenyler (PBB) og polybromerte difenyletere (PBDE) i visse typer EE-produkter fra 1.7.06 (Europaportalen, 2012) og WEEE-direktivet som går ut på at produsenter og importører av EE-produkter er ansvarlige for å håndtere innsamling og gjenvinning av produkter som kastes, på en sikker og miljøvennlig måte. Norge har forpliktet seg til å følge direktivene gjennom EØS-avtalen (Gire Dahl, 2012). Norge var tidlig ute med å utarbeide et system for innsamling av EE-avfall (Gire Dahl og Lyng, 2011) og ligger derfor nå på verdenstoppen når det gjelder innsamling og gjenvinning av EE-avfall, og i gjennomsnitt blir 90 % gjenvunnet (Gire Dahl, 2012) (Der 83 % blir materialgjenvunnet, 8 % blir varmegjenvunnet, 8 % blir deponert og 1 % blir destruert i forbrenningsovner) (Gire Dahl og Lyng, 2011). Innsamlingsgraden av småelektronikk (SE-avfall) er derimot en del lavere. Vi kan enkelt si at SE-avfall er alt avfall som får plass i en bærepose (for øvrig elektronikkbransjen sin definisjon). På grunn av størrelsen på SE-avfall kan dette lett lagres i husholdningen eller kastes i restavfallet. Større produkter som for eksempel komfyrer eller fjernsyn vil være vanskeligere å kvitte seg med på denne måten

(Gire Dahl, 2012). Småelektronikk inneholder ofte høy konsentrasjon av sjeldne- og verdifulle metaller (Gire Dahl og Lyng, 2011).

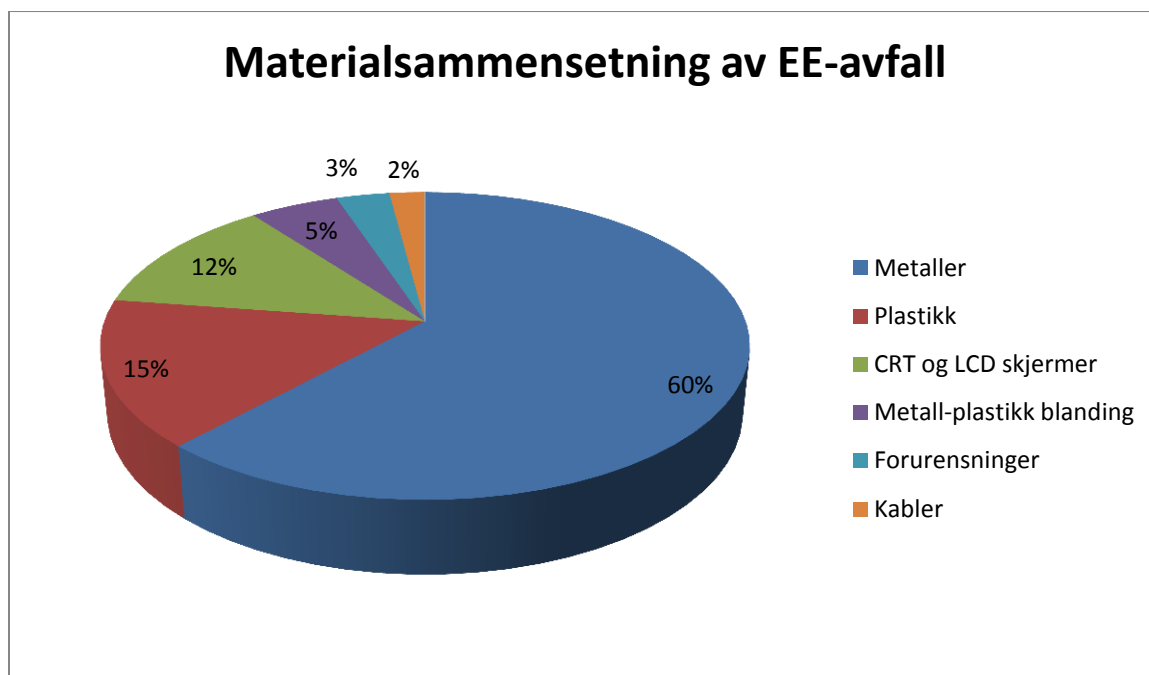
EE-avfall må samles inn separat for å resirkulere og gjenbruke materialinnholdet. EE-avfall kan samles på frivillig basis eller for å oppfylle lover og regler. Motivasjonene for å samle elektronikk for gjenvinning varierer fra økonomisk til miljøvern. Hovedmålet for de fleste av lovgivningene for EE-avfall er å hindre at det kastes sammen med husholdningsavfallet (Tanskanen, 2012). Generelt er det optimale nivået for innsamling og gjenvinning av avfallsmaterialer vanskelig å bestemme. Dette fordi resirkulerbart materiale, lokale forhold og tekniske og operative problemer har en innvirkning. Når husholdningsresirkulering har blitt studert viser resultatene at den viktigste faktor for å forbedre gjenvinning er at det skal være enkelt. Forbedringer på innsamlings servicen og designet er de viktigste faktorene for å styrke resirkulerings atferd, sammen med informasjon og profilering (Tanskanen, 2012).

Økonomi kan spille en rolle når ikke-gjenvinnere blir aktivert til å endre sin atferd, og de er de mest effektive når de retter seg for å forbedre samfunnet. Det har blitt bevist at kjennskap til resirkulering av andre husholdningsartikler, som for eksempel glass, papir, metall og plast øker viljen til å resirkulere EE-avfall (Tanskanen, 2012).

Hvorfor kommer ikke EE-avfallet inn og blir resirkulert? (Gire Dahl, 2012):

- Kastes i restavfallet og går til forbrenning
- Blir liggende hjemme for eksempel som reservemobiltelefon
- Vet ikke hva som skal gjøres med denne type avfall
- Frykt for at lagret informasjon kan komme på avveie (PC, mobiltelefon o.l.)

Avfall er en stor ressurs som må gjenbrukes, slik at kretsløpet kan lukkes og bærekraftige systemer kan utvikles (Gire Dahl, 2012). Avfall har negative assosiasjoner, men det trenger ikke å ha det da det fører til bedre miljø, flere arbeidsplasser og mer forskning og utvikling (Brastad, 2012). Materialsammensetningen av EE-avfall varierer innenfor de samme produktene (Figur 2) og materialgjenvinningen avhenger mye av materialsammensetningen. Objekter som inneholder større plast- eller metallkomponenter har en større grad av materialgjenvinning enn objekter som inneholder mindre komponenter av plast eller metall, naturlig nok. Dette gjelder særlig for sjeldne og verdifulle metaller som finnes i små konsentrasjoner i EE-avfallet (Gire Dahl, 2012).



Figur 2: Materialsammensetning av EE-avfall, basert på tall fra Widmer et al. (2005)

2.1.2 Situasjonen for EE-avfall i Norge

WEEE Recycling er et behandlingsanlegg, men også en miljøbedrift. Dermed burde miljøet være nummer en. Dette er ikke alltid tilfelle da økonomi styrer det meste. Man må unngå at miljøet blir taperen og finne brytningspunktet på kostnadene vedrørende farlig avfall (WEEE Recycling går i minus, da de betaler mer for farlig avfall og lønn til arbeidere enn det man tjener på salgsfraksjonene). For farlig avfall må man finne de løsninger som koster minst, men det er ikke så mange alternativer her. For andre fraksjoner må man finne de løsninger som man tjener mest på og her er det heldigvis flere alternativer, men hver endring må samtidig godkjennes av returselskapene. Her ser man hele tiden på forbedringer. Det er full åpenhet om hvor farlig avfall-fraksjonene sendes, men ikke for verdifraksjonene siden det er konkurranse mellom de ulike returselskapene (T. Hovset, 2013, personlig kommunikasjon).

Økonomisk blir det vanskeligere og vanskeligere, man må dermed se på gode nedstrømsløsninger og effektivisere produksjonen (noe som er vanskelig blant annet på grunn av at miljøsaneringen gjøres manuelt). I dag er det som sagt fri konkurranse mellom returselskapene. Det burde kanskje være mer statlig styrt slik at det blir mindre konkurranse mellom selskapene. Det har blitt satt ned en faggruppe i Norge som skal arbeide med utfordringer i bransjen, blant annet sporbarhet (T. Hovset, 2013, personlig kommunikasjon).

Noe som også gjør økonomien vanskelig er at miljøgebyrene for importører blir mindre og mindre (det er importørene som betaler miljøgebyret), dette på grunn av sterk konkurranse. Det må være miljøgebyr som er tilpasset produktene, dagens miljøgebyr gjenspeiler ikke

kostnaden for å deponere produktene. Returselskapene minker miljøgebyret for å skaffe nye medlemmer/kunder, da må WEEE Recycling kutte i kostnadene (må dekke opp det som ikke blir dekt av miljøgebyret). Å effektivisere produksjonen er vanskelig, for eksempel tar det ikke kortere tid å ta ut et batteri nå enn før. Vi vil ha behandlingsanleggene i Norge, men i Norge er det dyr lønn noe som fører til at det er billigere i utlandet (T. Hovset, 2013, personlig kommunikasjon).

2.2 Sjeldne jordartsmetaller (REE–rare earth elements)

REE består av de 15 lantanoidene, scandium (atomnummer 21) og yttrium (atom nummer 39) (Figur 3). Lantanoidegruppen består av de 15 grunnstoffene lantan, cerium, praseodym, neodym, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutetium (Figur 3) (Periodesystemet.no). Grunnen til at scandium og yttrium også regnes som REE er at de har fysiske og kjemiske egenskaper som ligner på lantanoidene. Alle disse 17 grunnstoffene forekommer ofte sammen i naturen, bortsett fra promethium som er et radioaktivt grunnstoff med kort halveringstid (Massari og Ruberti, 2012). REE deles inn i lette (LREE) og tunge (HREE) og blir vanligvis funnet sammen (Figur 3) (Trigaux, 2012). Alle disse REE finnes som spormetaller i mange mineraler og dermed bergarter (Periodesystemet.no). Disse 17 grunnstoffene er strategiske metaller som det er stor mangel på i Europa og USA. Kina har full kontroll med tradisjonelle fremstillinger av disse metallene fra gruver og dagbrudd. Metallene er viktige i en lang rekke høyteknologiprodukter, som mobiltelefoner, LED-lys (lysdiode), katalysatorer, ultrasterke magneter, fiberoptikk, lysfiltre, keramiske materialer, oppladbare batterier og pigmenter (Periodesystemet.no, Ottesen, 2011). Verdens sterkeste permanente magneter lages av REE (Australian Rare Earths, 2009).

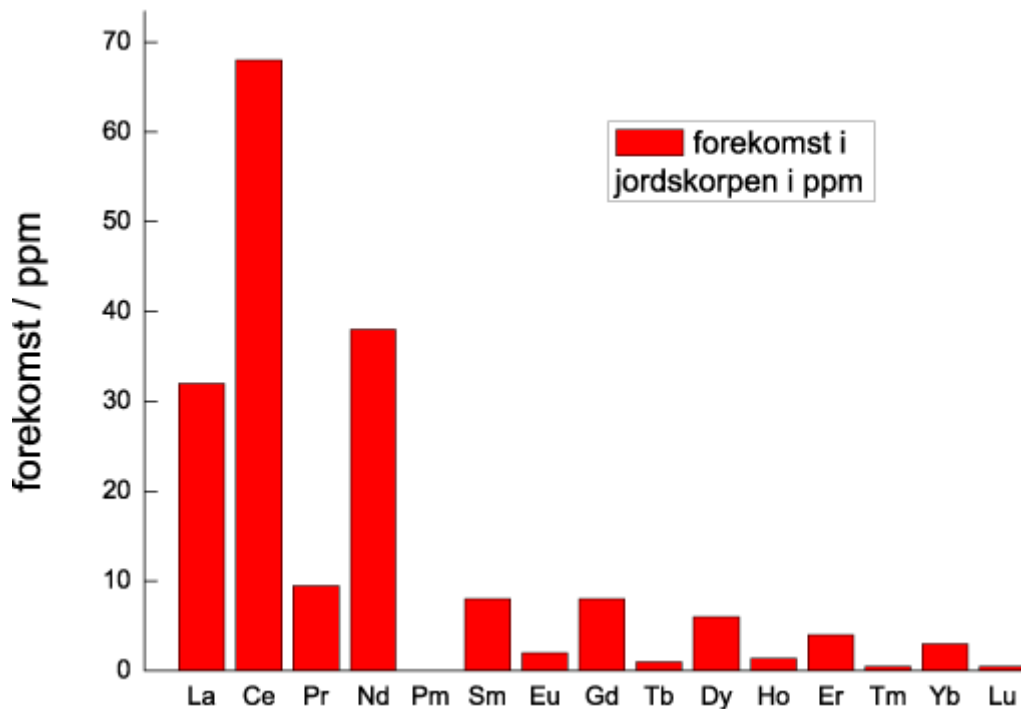
Det brukes mange forskjellige uttrykk for REE, både på norsk og engelsk. Eksempler er sjeldne jordarter, rare earth elements, rare earth metals, rare earths, sjeldne jordartsmetaller, sjeldne jordartsgrunnstoffer. Men alle disse er det samme og jeg har i min oppgave valgt å skrive sjeldne jordartsmetaller (forkortet REE). Lantanoidene er den største gruppen med naturlig forekommende grunnstoffer. Flere betegnelser har blitt benyttet om disse grunnstoffene.

HEAVY Rare Earth Elements
LIGHT Rare Earth Elements
by Geology.com

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										
Lanthanides																		
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Actinides																		
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Figur 3: Grunnstoffenes periodiske system, med utheving av de lette og tunge sjeldne jordartsmetallene (Geology.com).

Fortsatt diskuteres hvilke grunnstoffer som skal inkluderes i REE-gruppen og hva begrepet sjeldne jordartsmetaller innebærer. Før 1920 ble begrepet sjeldne jordartsmetaller benyttet om nesten alle ukjente nye oksider. På denne tiden endret det seg til å ikke omhandle oksidene, men i stedet deres metaller. Navnet sjeldne jordartsmetaller er misvisende. Disse grunnstoffene er slettet ikke sjeldne. Det finnes mer cerium (lantanoiden med høyest forekomst i jordskorpa) i jordskorpa enn det er kobber, og det finnes mer av den mest sjeldne lantanoiden thulium i jordskorpa enn det finnes sølv. Hva er årsaken til at vi likevel snakker om sjeldne jordartsmetaller? Lantanoidene, scandium og yttrium er svært godt "spredd" i jordskorpen og derfor tok det lang tid før disse ble påvist. Det finnes så mange som 160 sjeldne jordartsmetaller og i svært mange av disse finnes mange av disse grunnstoffene sammen, de fleste eller alle i relativ beskjedne konsentrasjoner. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen av lantanoidene i jordskorpen er gitt i Figur 4. Som ellers i periodesystemet er forekomsten av grunnstoffer med partall atomnummer større enn forekomsten av grunnstoffer med oddetall atomnummer (Periodesystemet.no). REE fikk navnet sjelden (rare) pga. at da de første REE ble oppdaget trodde en at de bare fantes som små mengder i jordskorpa. Jord (earth) kommer fra, at som oksider, har sjeldne jordartsmetaller et jordlig utseende (Massari og Ruberti, 2012).



Figur 4: Forekomst av lantanoidene i jordskorpa (Periodesystemet.no)

Lantanoidene finnes som sagt overalt, men i svært små konsentrasjoner i jordskorpa (0-70 ppm). Lantanoidene kan imidlertid ikke utvinnes fra slike lavkonsentrasjonskilder. I stedet utvinnes disse grunnstoffene fra de to viktigste mineralene; monasitt (et fosfatmineral) og bastnasitt (et fluoridkarbonatmineral). Begge disse inneholder alle lantanoidene, men lantan og cerium dominerer (Periodesystemet.no). Det virkelige problemet er ikke deres absolutte konsentrasjon, men den relative (Massari og Ruberti, 2012). Det vil si: Det finnes mye, men høygrads forekomster som kan utnyttes økonomisk er sjeldne (Zhang et al., 2012). Det er også vanskelig å finne enkle metoder for ekstraksjon og separasjon pga. deres veldig like egenskaper. De eneste grunnstoffene som er veldig sjeldne og vanskelig å finne er europium, thulium og lutetium (Massari og Ruberti, 2012).

De 15 grunnstoffene har nesten den samme ytre elektronkonfigurasjonen og derfor ganske like egenskaper. Lantanoidene viser sterkt slektskap og har mye av de samme egenskapene. Historisk var det derfor vanskelig å skille disse grunnstoffene fra hverandre. Det såkalte mischmetallet inneholder ca. 50 % cerium, 25 % lantan, 18 % neodym, 5 % praseodym og flere andre lantanoider. Legeringen benyttes i jern og stål og også i aluminium og magnesiumlegeringer (Periodesystemet.no).

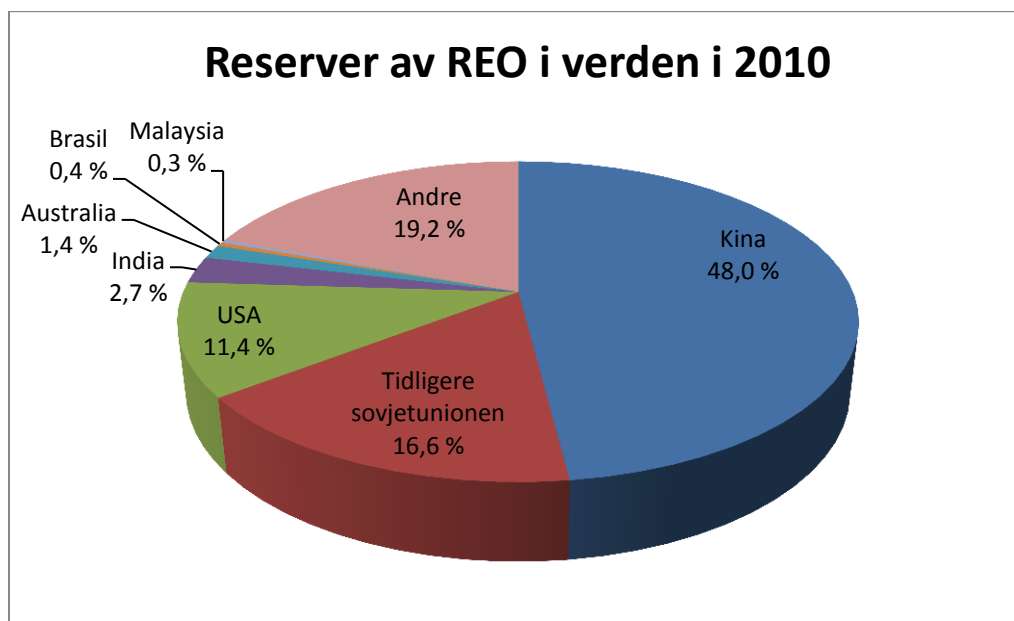
Historisk har blandingen av sjeldne jordsartmetaller blitt separert ved en lang rekke av krystalliseringer (utfellinger), der hvert steg ga finere og finere materiale. Men dette var en lang og dyr prosess. Kommersielt ble derfor ionebytting benyttet i mange år. De forskjellige

2 Teori

grunnstoffene ble her separert i en lang kolonne som inneholdt et stoff som absorberte de forskjellige grunnstoffene i forskjellige områder av kolonnen. I dag benyttes væske-væske ekstraksjon. Forskjellige metaller og salter løser seg i ulik grad i forskjellige væsker; ved å benytte par av en vannfase og en oljefase blir grunnstoffene separert. Prosessen består av mer enn 60 steg (Periodesystemet.no).

Det første sjeldne jordartsmetallet ble funnet i en gruve i Sverige tidlig på 1700-tallet. På 1830- til 1840 tallet separerte en svensk kjemiker, Carl Gustav Mosander, terbium, cerium, lantan og yttrium ved å bruke primitive teknikker. I løpet av de neste 60 årene ble forskjellige grunnstoff isolert av enkeltpersoner rundt om i Europa. Det var en del forvirring da forskjellige grunnstoff ble gitt forskjellige navn, og metoden for å skille dem forble primitive (Trigaux, 2012).

Det er registrert reserver av REE i 34 land: Seks i Europa (blant annet Russland, Estland og Grønland), fjorten i Asia, ti i Afrika, og videre USA, Canada, Brasil og Australia. Ifølge US Geological Survey, var hele verdens sjeldne jordartsoksider (REO) reserver i 2010 på 113,778 millioner tonn, se Figur 5 for fordeling (Massari og Ruberti, 2012).



Figur 5: Fordeling av reserver av sjeldne jordartsoksider (REO) i verden i 2010, basert på tall fra Massari og Ruberti (2012)

På 1960-tallet åpnet MolyCorp Mountain Pass Mine i California. Denne gruen utvant REE og hadde nesten ingen konkurrenter fram til 1980-tallet. Gruven hadde store mengder av lette sjeldne jordartsmetaller, og spormengder av de andre grunnstoffene som hadde kommersiell bruk. Fremveksten av kinesisk produksjon i Indre Mongolia regionen førte til at prisene på sjeldne jordartsmetaller kollapset. På grunn av møtet med lave priser og høye

2 Teori

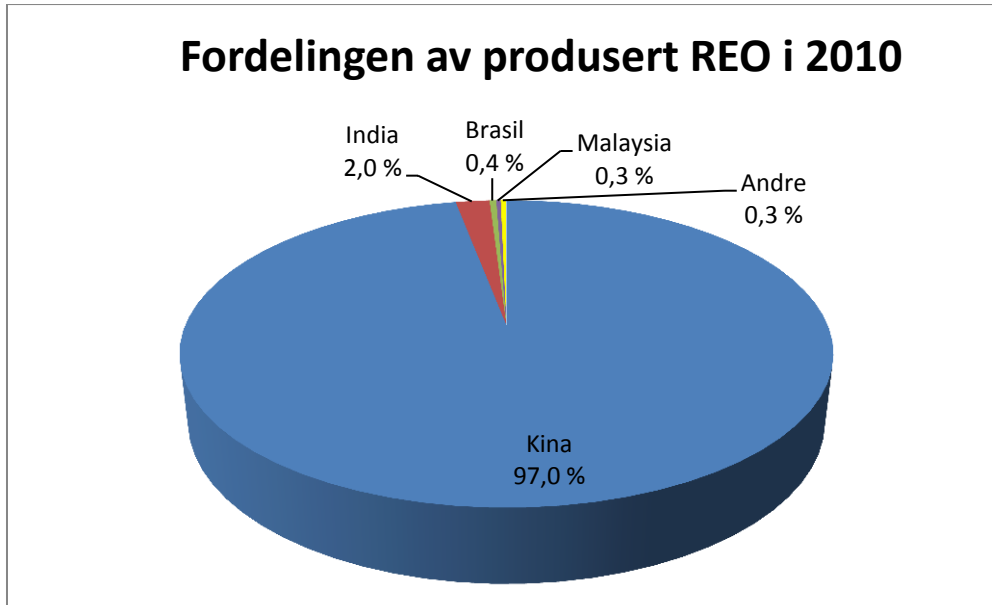
kostnader pga. miljøkrav ble Mountain Pass gruve stengt i 2002, noe som ga markedet til kineserne (Trigaux, 2012). Siden har produksjonen vært begrenset til noen få oksider, som må behandles i Asia for å bli omdannet til sjeldne jordartsmetaller (REM) (Massari og Ruberti, 2012).

Kinas statsminister Deng Xiaoping så sjeldne jordartsmetaller som et verktøy for økonomisk vekst. Kina var svak, over-befolket, hovedsakelig landbruksland og hadde lite industri eller eksport som er verd å nevne. Xiaopings mål var å utnytte kinesisk kontroll av REE-markedet for både å øke prisen på mineralene, og dermed øke fortjenesten for Kinas voksende økonomi, og for å lokke de næringene som er avhengige av mineraler til å produsere sine høyteknologiske produkter på kinesisk jord. REE relaterte industrier bidro til økningen i det Kina vi kjenner i dag. Hans plan fungerte. Kina produserer nå mellom 90 og 100 % av alle de sjeldne jordartsmetallene. Verden må inntil videre leve med Kinas dominans innenfor REE-produksjon (Trigaux, 2012).

Kina har derimot ikke monopol på REE-forekomster, de har i 2012 bare 37 % av verdens forekomster av REE. Hovedmonopolet som Kina nå har er ikke bare basert på mineralproduksjon, men også på verdens REE raffinering og Kina er i dag (2012) den eneste nasjonen som kommersielt kan masseprodusere REE i store nok mengder til å møte den globale etterspørselen. De har også en stor fordel innenfor REE-kjemi og i å trene forskere til å jobbe med REE (USA har, i sammenligning, bare et universitet med en grad i sjeldne jordartskjemi) (Trigaux, 2012).

En gruppe med forskere fra Japan har identifisert store områder med REE i sedimentærleiren på havbunnen i Stillehavet. Dette har blitt verdsatt til ca. 100 milliarder tonn (noe som er tusen ganger større enn det som har blitt funnet på land). Problemet er at disse ressursene ligger veldig dypt og ekstraksjon av dem vil være teknologisk vanskelig og dyrt (Massari og Ruberti, 2012), men de er i ferd med og utforske hvordan de kan utvinne mineralene på denne dybden (Trigaux, 2012).

Hoved-forbrukerne av REO er USA, Europa, Japan, Korea og Kina. Den største produsenten av REO i 2010 var Kina med hele 97 % og fordelingen kan sees i Figur 6 (Massari og Ruberti, 2012). Verdens produksjon av REO har gått litt ned fra 2008 og 2009 til 2010 for landene Brasil og India (Figur 6 sammenlignet med Tabell 1). For andre land er det ikke tilgjengelig data for 2008 og 2009 (Schüler et al., 2011).



Figur 6: Fordelingen av produserte sjeldne jordartsoksider (REO) i 2010, basert på tall fra Massari og Ruberti (2012)

Tabell 1: Verdens produksjon av sjeldne jordartsoksider (REO) i 2008 og 2009, basert på tall fra Schüler et al (2011)

Land	Tonn REO per år	Andel
Kina	120 000	96,8 %
Brasil	650	0,5 %
India	2700	2,2 %
Malaysia	380	0,3 %
Andre land	Ikke tilgjengelig data	
Totalt	124 000	100 %

2.2.1 Bruksområder for REE

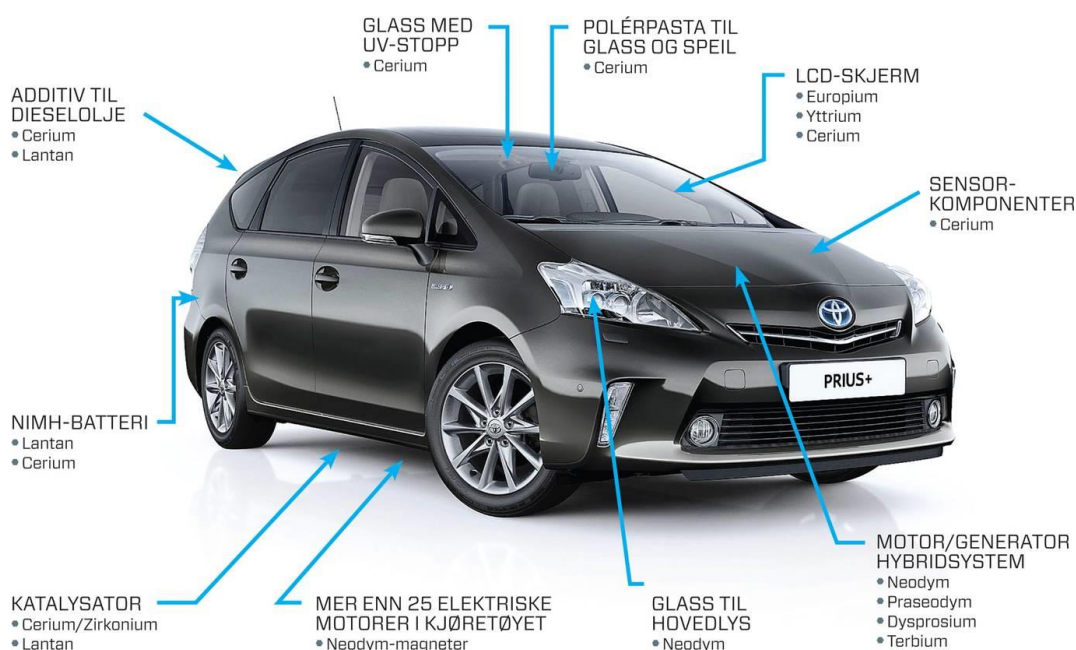
Bruksområdene til disse metallene har økt pga. deres egenskaper (unike katalytiske, magnetiske og optiske egenskaper) (Massari og Ruberti, 2012, Paul og Campbell, 2011) og REE har mange ønskelige egenskaper (Massari og Ruberti, 2012):

- Evnen til å danne legeringer med andre metaller, veldig sterke og lette magnetiske materialer
- Verdifulle og karakteristiske optiske egenskaper, inkludert fluorescens og utslipp av koherent lys, som er viktig for laserenheter
- Andre unike metallurgiske, kjemiske, katalytiske, elektriske, magnetiske og optiske egenskaper har ført til et stadig økende utvalg av applikasjoner

2 Teori

I bilindustrien brukes REE for å bygge effektive og holdbare katalysatorer, neodym supereffektive magneter for elektriske motorer, super lette og holdbare lantan-NiMH (nikkel-metall-hybrid) batterier osv. (Massari og Ruberti, 2012). En blandet REE-legering brukes som anode i NiMH-batterier, og utgjør ca. 26 % av batteriets vekt. Lantan er den viktigste REE i NiMH-batterier (Australian Rare Earths, 2009).

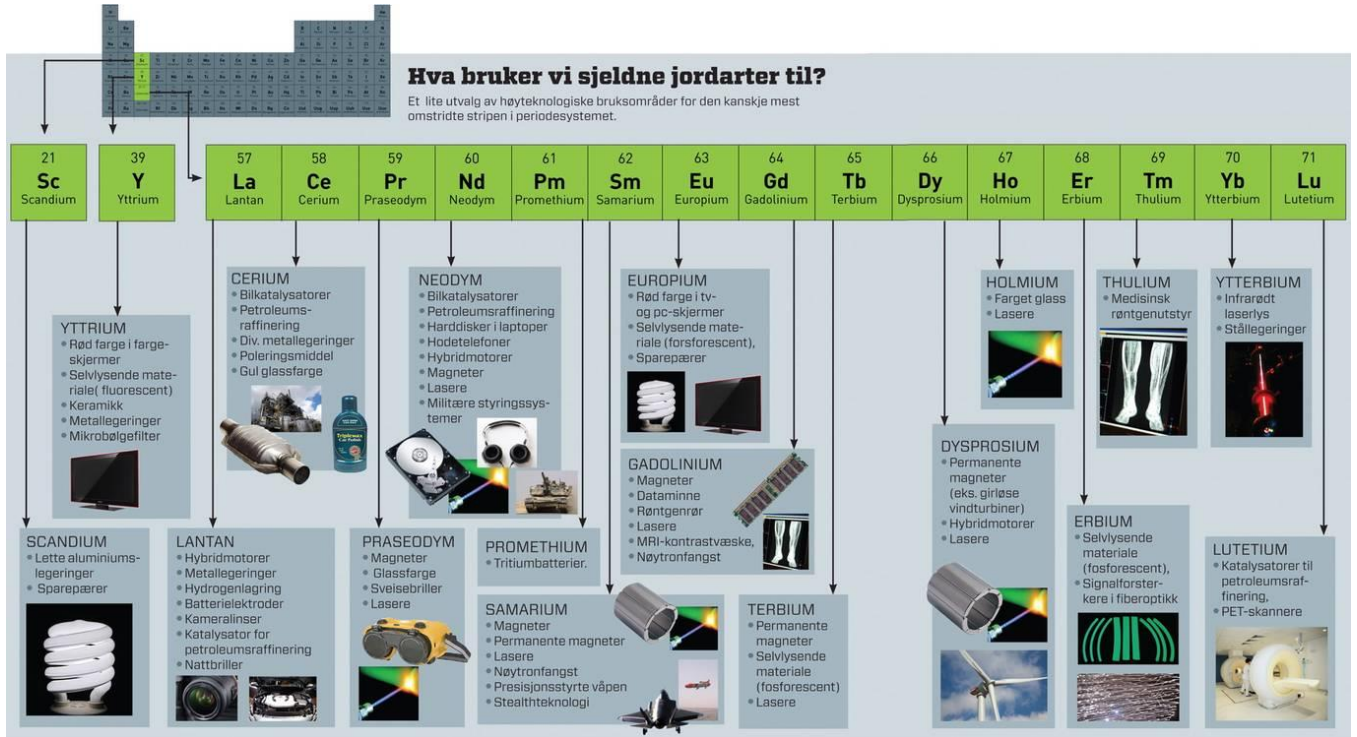
Den elektriske motoren i Toyota Prius (Figur 7), bruker ca. 0,9 kg neodym i dens permanente magneter, mens hvert Prius-batteri benytter mellom 9 og 13 kg lantan (Australian Rare Earths, 2009). Til sammenligning bruker iPhone 9 av 17 REE (Trigaux, 2012).



Figur 7: Sjeldne jordartsmetaller i en Toyota Prius (Hamnes, 2012)

Andre områder der REE kan brukes (Figur 8 og Figur 9) er i olje-industrien, katalysatorer, fornybar energi, kjemikalier, metallurgi, kjernekraft, EE-utstyr, glass polering, glass-tilsetningsstoffer for optiske linser og skjermer, magneter, batterier, lys-emne, fiber optikk/lasere, keramikk, drivstofftilsetninger og pigmenter (Massari og Ruberti, 2012). Sjeldne jordartsmetaller har ført til at datamaskinene har gått fra å kreve sine egne rom i bygninger til en enhet i en ryggsekk, plassert på et fang, eller i stor grad byttet ut av en mobiltelefon (Trigaux, 2012).

2 Teori

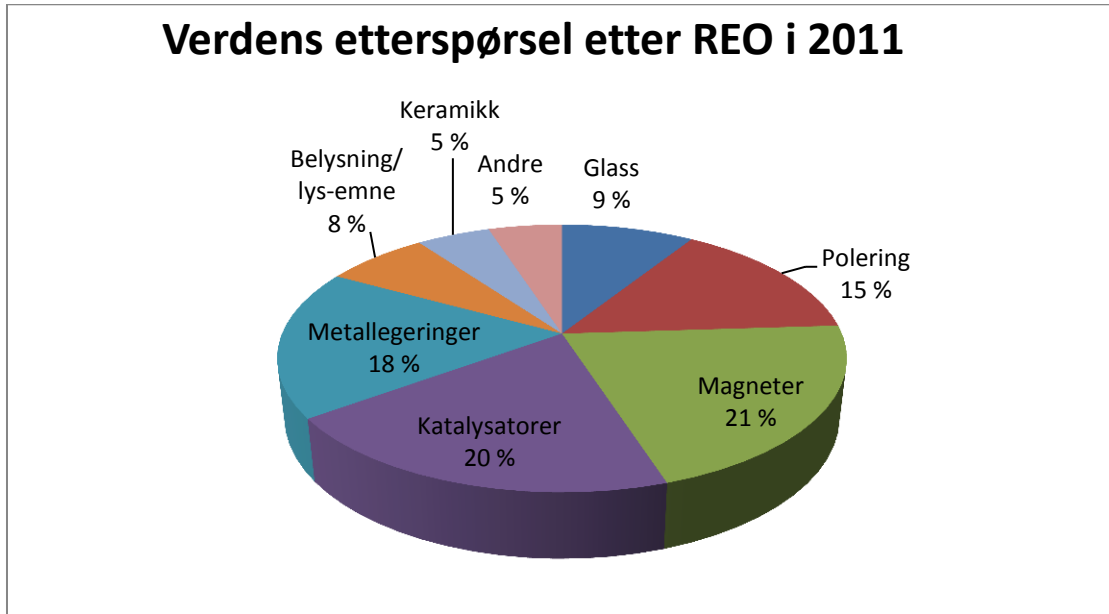


Figur 8: Hva bruker vi sjeldne jordartsmetaller til? (Hamnes, 2012)



Figur 9: Hva brukes sjeldne jordartsmetaller til? (Molycorp)

Etterspørselen etter REO var i 2011 størst for magneter og katalysatorer (Figur 10). En betydelig økning i bruk av REO i magneter er forventet innen 2015 (Massari og Ruberti, 2012).



Figur 10: Prosentvis fordeling av etterspørsel i forhold til bruksområder av sjeldne jordartsoksider (REO) i Verden i 2011, basert på tall fra Massari og Ruberti (2012)

I Norge importerer Elkem REE fra Kina til bruk i flere typer Mg-Fe-Si-legeringer som har inntil 6,5 % REE. Det har aldri vært produksjon av REE i Norge, men flere norske selskaper har kompetanse tilknyttet REE. Avhengig av valg av teknologi, kan Norges behov for REE i form av neodym i supermagneter til bruk i vindmøller være betydelig større enn Elkems årlige import har vært. De mest effektive magneter (som også finnes i Prius-motorer) består av legeringer av jern, bor og neodym, vanligvis med ca. 29 % neodym. I vindmøller brukes det 150-300 kg/MW neodym. Til motorene i hybrid- og elektriske biler benyttes nesten alle leverandører Nd-førende magneter (Boyd, 2011).

2.2.2 Scandium (Sc)

Scandium er et av de minst utnyttede av alle REE. Hvis vi tilsetter scandium vil metalllegeringene bli lettere uten at styrken av metallet blir redusert (Trigaux, 2012). Mer enn 800 mineraler inneholder scandium, men de fleste mineralene inneholder kun spormengder (Periodesystemet.no). Lite informasjon finnes på scandium, som er produsert i ekstremt små mengder (ca. 5 t årlig) (Schüler et al., 2011). Grunnstoffet i seg selv har blitt benyttet som et nøytronfilter. Scandium benyttes også i noen legeringer. Scandium er et lettmetall med mange av de samme gode egenskapene som aluminium og har dessuten et mye høyere smeltepunkt enn aluminium. Dette har gjort metallet interessant for flyprodusenter. Bruken

er likevel begrenset; den høye prisen på metallet har gjort at scandiums høye smeltepunkt i liten grad har blitt utnyttet (Periodesystemet.no). Scandium blir også brukt til aluminiumslegeringer (Paul og Campbell, 2011). Årlig global scandium-produksjon er veldig lav, bare små mengder blir brukt i dagens teknologier. Økende bruk i metalllegeringer og for brenselceller vil trolig øke forsyningen (Beauford, 2010).

2.2.3 Yttrium (Y)

Yttrium er en av de få REE som det finnes mer av utenfor Kina enn i Kina, noe som fører til mangelfull forsyning. Problemet er at yttrium brukes for en rekke type anvendelser (Trigaux, 2012). Yttrium blir blant annet brukt som lys-emne (kan også kalles fosfor, eller på engelsk phosphor). Lysfenomenet skyldes fluorescens og fosforesens (Paul og Campbell, 2011). Yttriumforbindelser har en rekke anvendelser og noen spesielle yttriumoksider brukes blant annet i tjukkas-tv'er. Yttrium brukes også i legeringer, dette på grunn av at det gjør råjern mer formbart og lager materialer som er korrosjonsbestandig (Periodesystemet.no). Yttrium er klassifisert som en kritisk kilde fordi yttrium finnes bare i signifikante mengder i få kjente malm-beliggenheter. Forventet fremtidig etterspørsel overskrider global produksjon (Beauford, 2010).

2.2.4 Lantan (La)

Lantan er et sølvhvitt metall, det er mykt og finnes i mange mineraler. Lantan brukes i moderne miljøvennlige batterier (Ni-MH batterier). Lantanlegeringer er et materiale som kan brukes i biler som kan drives på hydrogen, lantan er også en bestand i superledere (Periodesystemet.no). Lantan er en av de mest tilgjengelige REE og det mest gjenkjennelige av alle. Lantan er ofte mellom 20-30 % av REE forekomsten, og er derfor ikke en mangelvare. Dette kan forandre seg, da lantan har et stort bruksområde. Det største forbruket av lantan er i energiproduksjon og grønn teknologi (Trigaux, 2012).

2.2.5 Cerium (Ce)

I naturen finnes cerium i en rekke mineraler. Totalt utgjør cerium 0,0075 masse-% av jordskorpen, og med det er cerium det mest utbredte av lantanoidene (Periodesystemet.no). Cerium utgjør en betydelig andel av REE som finnes i mange malmføremster. Cerium er også lettere å separere fra malm og fra tilhørende grunnstoffer enn for mange av de andre sjeldne jordartsmetallene. Dette fører til at ekstraksjon og raffinering av dette grunnstoffet er langt mer effektiv og rimeligere enn sammenlignbare prosesser for flere av de andre REE (Beauford, 2010). Med jern gir cerium legeringer som lenge ble anvendt som flintstein i lettere og gasstennere. Små mengder cerium (ca. 0,1 %) settes ofte til høytemperaturlegeringer, noe som gir økt bestandighet mot korrosjon ved høye temperaturer. Cerium brukes også til polering av speil, linser, presisjonsoptikk og

energisparepærer (Periodesystemet.no). Den store fordel med cerium i forhold til de fleste andre REE er at det er lett å produsere, raffinere og bruke (Trigaux, 2012). Cerium brukes i hovedsak som katalysator (Paul og Campbell, 2011). De 25 millioner biler som blir produsert hvert år benytter hver typisk 25 mg av metallet. Det gir et totalt årsforbruk i størrelsesorden 1000 tonn (Periodesystemet.no). Cerium-ettterspørselen for produksjon av energieffektive fluorescerende og kompakt fluorescerende lyspærer vokser raskt. Det har også vist lovende fremtidig potensial i utviklingen av hydrogen brenselceller, et bærekraftig grønn energi alternativ (Beauford, 2010).

2.2.6 Praseodym (Pr)

Grunnstoffet praseodym er et mykt, formbart og sølvglinsende metall. Praseodym benyttes som metall i elektroder i spesiellamper (flombelysning, filmstudiolamper etc.) og i noen permanentmagneter (Periodesystemet.no). Praseodym er både sjelden og lett å finne. Det finnes i nesten alle store REE forekomster, men aldri i stor mengde. Tilgangen til praseodym er ikke et stort problem, selv om det er sjeldent. Dette fordi det har veldig få bruksområder, noen eksempler er permanente magneter, farget glass, keramikk og noen batterier. Ettterspørselen øker raskt når forskere finner flere bruksområder for dens magnetiske egenskaper (Trigaux, 2012). Praseodym blir brukt for å produsere glass og magneter (Paul og Campbell, 2011). Praseodymoksid tilsettes glass som benyttes i sveisebriller. Glasset absorberer gult lys og beskytter dermed øynene (Periodesystemet.no).

2.2.7 Neodym (Nd)

Neodym finnes i mange mineraler. Det produseres lite neodym metall, men ca. 7000 tonn neodymoksid pr år. Metallisk neodym har til nå få anvendelser, men er i spesielle tilfeller brukt som legeringstilsetning. Neodymoksid og -klorid blir brukt til å farge glass, emalje og porselen for å motvirke jernfarger i disse og til fremstilling av blåfiolette neophanglass. Neodymbaserte magneter finner du overalt. Disse benyttes i mikrofoner, i høyttalere og i de små elektromotorene som styrer dørlåser og elektriske vindusruter i bilen (Periodesystemet.no). Neodym er også et av de viktigste REE, spesielt for grønn teknologi (Trigaux, 2012) på grunn av at det blir brukt i supersterke magneter (Paul og Campbell, 2011). Neodym er heldigvis en av de høyest konsentrerte og tilgjengelige av de sjeldne jordartsmetallene. Pga. at dets store utvalg av bruk er ettterspørselen etter neodym høy, og ettterspørselen øker eksponentielt med overgangen til grønn teknologi (Trigaux, 2012). Neodym er derfor definert som en kritisk ressurs. Veksten i ettterspørselsnivået, sammenlignet med veksten i produksjonen av ressursen, peker på et alvorlig behov for utvidet produksjon (Beauford, 2010).

2.2.8 Promethium (Pm)

Promethium er et radioaktivt metall. Det er lite studert rett og slett fordi det ikke finnes noe særlig av det. Grunnstoffet dannes kontinuerlig ved fisjon i uran-holdige mineraler, men det forsvinner også kontinuerlig fordi det ikke finnes isotoper med lang levetid. Det er estimert til ca. 10^{-12} gram Pm pr tonn mineral. ^{147}Pm ble i en periode brukt i malingen som får viserne på klokker til å lyse i mørket. Denne anvendelsen var kortvarig pga. at promethium er radioaktivt (Periodesystemet.no). Promethium er en av de mest sjeldne grunnstoffene (bare ca. 1/5 kg har blitt funnet i jordskorpa). Etterspørselen etter dette grunnstoffet er ikke eksisterende, da det nesten ikke kan brukes (Trigaux, 2012). Dette metallet vil på grunn av at det er radioaktivt ikke være mulig å resirkulere fra EE-avfall og inngår derfor ikke videre i denne masteren hvor formålet er å se på resirkuleringspotensialet for de ulike sjeldne jordartsmetallene (Ottesen et al., 2013).

2.2.9 Samarium (Sm)

Samarium blir i stor grad utvunnet, men er relativt sjeldent (Trigaux, 2012). Det produseres 700 tonn samariumoksid pr år. SmI_2 benyttes for å uskadeliggjøre PCB, ved at klorret fjernes og det dannes ufarlige avfallsstoffer (Periodesystemet.no). Grunnstoffet brukes i magneter, spesialglass, lasere og i kjernekraftverk (Paul og Campbell, 2011). Etterspørselen etter samarium vil øke betydelig når superledere blir brukt mer (Trigaux, 2012), da samarium viser betydelig potensial i fremtidig produksjon av superledere som opererer på praktisk oppnåelige temperaturområder. For øyeblikket, er forsyning og etterspørsel av samarium relativt balansert, men som med mange av de andre sjeldne jordartsmetaller, venter man en økende antall potensielle anvendelser slik at tilførsel av materialet også øker (Beauford, 2010).

2.2.10 Europium (Eu)

Europium er et metallisk grunnstoff, det er sølvglinsende og relativt mykt. Det er et av de sjeldneste lantanoidene og er også det mest reaktive lantanoidemetallet. Europium og europiumforbindelser har viktige industrielle anvendelser, da det blir brukt i kontrollstaver i atomreaktorer. Det brukes også i lys-emne for å gi rød farge, det som gir rødfargen er laget av yttriumoksisulfid $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ dopa med Eu (Periodesystemet.no). Dette røde lys-emnet brukes i TV- og PC skjermer (Trigaux, 2012). Eu benyttes også i energisparepærer (Periodesystemet.no). Potensielle bruksområder overstiger forsyningen. Både nye applikasjoner og realisering av det fullstendige potensialet til kjente anvendelser venter på kostnadsreduksjoner (Beauford, 2010).

2.2.11 Gadolinium (Gd)

Gadolinium er et metallisk grunnstoff, som er sølvhvitt, formbart og relativt stabilt i tørr luft (i fuktig luft korroderer gadolinium raskt) (Periodesystemet.no). Gadolinium innhold i REE malm varierer fra mindre enn 1 % til nesten 7 % (Beauford, 2010). Det kan brukes som kontrastmiddel i MR. Gd-baserte materialer studeres for bruk i magnetisk avkjøling, som er et miljøvennlig alternativ til konvensjonell kompressorbasert avkjøling (Periodesystemet.no). Gadolinium har en rekke bruksområder relatert til radioaktive materialer (Trigaux, 2012). Gadolinium blir også brukt til keramikk og magneter (Paul og Campbell, 2011).

2.2.12 Terbium (Tb)

Terbium er et mykt sølvaktig metall som reagerer sakte med vann og som løser seg i syrer. Det er relativt stabilt i tørr luft. Terbium innholdet i de vanligste lantanoideminerale er lavt, men det finnes terbium i andre mineraler. 10 tonn terbium produseres årlig. Terbium ble tidligere brukt i lys-emne som gir blå farge, men i dagens flatskjermer benyttes ikke slike lys-emner. I stedet kan det være organiske forbindelser av Eu (rødt), Tb (blått) og Ce (grønt) som gir fargene. Terbium blir som cerium og europium brukt til energisparepærer (Periodesystemet.no). Terbium er ganske sjelden, og er av de primære grunnstoffene der tilgangen er utilstrekkelig for å møte etterspørselen. Terbium er det viktigste grunnstoffet i konstruksjon av fluoriserende-lyspærer. Dette er hovedkilden til dets etterspørsel, og forventes å vokse betydelig både på grunn av kulturelle endringer og lovendringer (Trigaux, 2012). Terbium blir også brukt i magneter (Paul og Campbell, 2011).

2.2.13 Dysprosium (Dy)

Dysprosium er et klart sølvaktig metall, som er ganske mykt. Ca. 100 tonn produseres årlig. Dysprosium brukes i halidlamper, bremsestaver i atomreaktorer og magneter (Periodesystemet.no, Paul og Campbell, 2011). Det største problemet med dysprosium er at det ikke alltid finnes sammen med andre REE. Dvs. at hvis en nasjon har gruver med REE vil det ikke nødvendigvis inneholde dysprosium. Verdens tilgang kommer i hovedsak fra Kina. Selv om andre land begynner å produsere store mengder av REE, vil tilgangen til dette spesielle metallet finnes i Kina. I alle fall inntil en ny kilde blir funnet, hvis den finnes (Trigaux, 2012). I desember 2010 rapporterte U.S. Department of Energy at dysprosium var den mest kritiske grunnstoff ressursen. Dette er tilfelle både når det gjelder betydning for ren energiteknologi og når det gjelder sårbarhet innenfor forsyningssikkerhet, både på kort sikt og mellomlang sikt. Etterspørselen etter dysprosium for hybridbil-produksjonen er forventet å overstige dagens globale produksjon på kort sikt. Dysprosium er også brukt, sammen med neodym, i produksjonen av veldig sterke permanente magneter (som brukes i mobiltelefoner, datamaskiner, iPods osv.) og i miljøvennlige teknologier slik som hybridbiler

og vindmølle generatorer. En liten mengde av dette metallet øker både styrken og korrosjonresistansen til disse magnetene. Dysprosium brukes videre til datamaskin-minne og datalagrings-enheter og sammen med terbium i mange sensorer og analytiske instrumenter (Beauford, 2010).

2.2.14 Holmium (Ho)

Holmium er mykt og sølvglinsende. Holmium har ikke mange anvendelser, men det finnes lasere som inneholder holmium som har en bølgelengde som ikke skader øyet. Denne benyttes i operasjoner (Periodesystemet.no). Holmium er en av de mest sjeldne REE, det har også den sterkeste magnetiske tiltrekningen i forhold til hvilket som helst annet grunnstoff. Holmium, til tross for sin sjeldenhet, er veldig viktig for det moderne samfunn (Trigaux, 2012) da det blir brukt i magneter (Paul og Campbell, 2011). Selv med utvidet gruvedrift og resirkulering av dette grunnstoffet, er det sannsynlig at det fortsetter å være sjeldent. Holmium kan også brukes til lasere som brukes i medisin eller i analytiske instrumenter. Det kommersielle potensialet til dette grunnstoffet er ennå ikke fullt undersøkt, og kan utvikle seg med økt tilførsel (Beauford, 2010).

2.2.15 Erbium (Er)

Erbium er et sølvaktig metall. Det er kun ett tilsetningsstoff som farger glass rosa; erbiumoksid. Mesteparten av de 500 tonn erbium som produseres hvert år er i form av Er_2O_3 . Oksidet benyttes som fargestoff også i keramikk og ved glasering (Periodesystemet.no). Erbium er et relativt sjeldent REE, som kan fungere som erstatning for holmium. I likhet med holmium, blir erbium blant annet brukt i kjernekraftverk som kontrollstaver (Trigaux, 2012). Erbium er også en viktig bestanddel i fiberoptiske forsterkere (Paul og Campbell, 2011).

2.2.16 Thulium (Tm)

Thulium er et skinnende sølvaktig og mykt metall. Det produseres ca. 50 tonn Tm_2O_3 årlig og thulium har få anvendelser (Periodesystemet.no). Thulium er det mest sjeldne av alle REE. I likhet med promethium er thulium så sjeldent at det har veldig få bruksområder. Det er derfor ikke noe problem med tilgang og etterspørsel. Bruk av thulium finnes, hvis det kan finnes i større mengder (Trigaux, 2012, Paul og Campbell, 2011). Det kan brukes i medisinske lasere, og det har potensial i utviklingen av superledere (Beauford, 2010).

2.2.17 Ytterbium (Yb)

Ytterbium er et mykt, sølvaktig metall. Ca. 50 tonn produseres årlig og ytterbium har få anvendelser. ^{169}Yb benyttes som en transportabel røntgenkilde. Metallet benyttes dessuten som tilsetning til rustfritt stål (Periodesystemet.no). Ytterbium er en av de få REE som det

finnes mer av utenfor Kina enn i Kina. Store forekomster finnes i Canada og Malaysia, men disse har ikke blitt mye utforsket, noe som fører til at Kina leder verdens forsyning. Denne mangelen på forsyning har begrenset dagens bruk av dette mineralet, men potensialet er nesten uendelig. Ytterbium er en viktig komponent i solceller, stål-legeringer, lasere, anti-forfalskning blekk, nattbriller og stress måling teknologi (Trigaux, 2012). Det blir også brukt som lys-emne (Paul og Campbell, 2011).

2.2.18 Lutetium (Lu)

Lutetium er et sølvglinsende metall som er stabilt i luft. Det er hardere og tettere enn de andre lantanoidene. Selv om dette grunnstoffet er et av de mindre vanlige av lantanoidene er det syv ganger vanligere enn sølv. Siden lutetium i seg selv i liten grad har noen anvendelser, produseres lite av dette metallet og det er derfor blant de dyrere metallene; en halv million kroner per kg! Det produseres ca. 10 tonn lutetiumoksid pr år. ^{175}Lu benyttes til datering (aldersbestemmelse) av meteoritter siden den har en halveringstid på 36 milliarder år (Periodesystemet.no, Trigaux, 2012). Lutetium har blitt brukt som kjemisk katalysator og i petroleumsraffinering. Det har også viktige aktuelle medisinske anvendelser, inkludert bruk i kreftbehandling og som sensor-materiale i positronemisjonstomografi (PET). Dersom pris og tilgjengelighet endres, kan lutetium brukes i en rekke applikasjoner i analytiske verktøy, avansert datamaskinminne, produksjon, kjernekraft industri, i fosfor og i både medisinsk diagnose og behandling (Beauford, 2010). Lutetium blir også brukt som en scintillator i datastyrt tomografi (Paul og Campbell, 2011). Forsynings-begrensninger og høye priser utgjør for tiden betydelige begrensninger på bruk av dette grunnstoffet (Beauford, 2010).

2.2.19 Radioaktive grunnstoffer

Ofte forekommer uran (U) og thorium (Th) sammen med de sjeldne jordartsmetallene. Uran er et sølvgrått metall, der alle isotopene er radioaktive i større eller mindre grad (Periodesystemet.no). Uran er ikke bare radioaktivt, det er også giftig i seg selv (Emsley, 2011). Uran finnes naturlig i små mengder over hele kloden; i jord, i berggrunn og i havet. Uran brukes hovedsakelig som brensel i kjernereaktorer (Periodesystemet.no). Uran er mye mer rikelig og utbredt i miljøet enn generelt realisert (Emsley, 2011). Det finnes relativt mye thorium i naturen, det er for eksempel tre ganger hyppigere forekommende enn uran. Thoriumsoksid kan brukes i glødenettingen til gass- og parafinlamper (Periodesystemet.no). Thorium er, som uran, radioaktiv i alle dens former, og thorium-forbindelser er moderat giftig (Emsley, 2011). Norge er et av de landene som har interessante forekomster av thorium. I fremtiden vil thorium bli en meget viktig energikilde, siden man kan bruke det som brensel i kjernereaktorer på samme måte som uran benyttes i dag. Kjernereaktorer med bruk av thorium lager mye mindre radioaktivt avfall enn ved bruk av uran

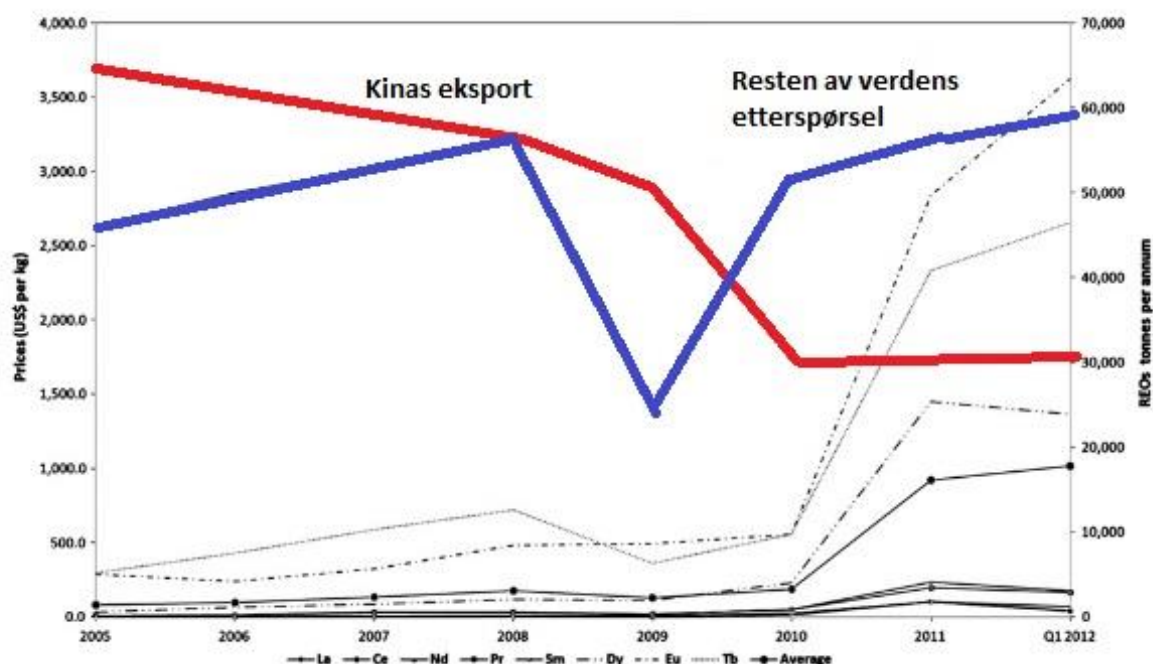
(Periodesystemet.no). Thorium er en viktig komponent i monasitt, og dette er for tiden kilden til verdens forsyning av thorium (Emsley, 2011).

Uran- og thorium-innholdet er meget lavt i EE-avfall, i kontrast til de fleste malmer egnet for utvinning av sjeldne jordartsmetaller (Ottesen et al., 2013). Det finnes en stor mengde uran i sjeldne jordartsmetallforekomster og det kan utvinnes som et biprodukt. Høyere uranpriser og geopolitiske utviklinger har forsterket det økonomiske potensialet for gjenvinning. Noen av forekomstene av REE utenfor Kina inneholder betydelig mengder uran, blant annet Nolans Bore i Australia og Kvanefjeld i Grønland (World Nuclear Association, 2013).

2.2.20 Ressurssituasjon

Fra midten av 2009 har etterspørselen (fra resten av verden) vært mye høyere enn eksporten fra Kina (Figur 11). Eksporten fra Kina minker (den minket brått fra 2009 til 2010, men har siden holdt seg ganske stabil, men på et lavt nivå i forhold til etterspørselen) (Massari og Ruberti, 2012). Totalt var eksporten 40 % mindre i 2010 enn i 2009 (Tabell 2), legg spesielt merke til nedgangen fra første og andre halvdel av 2010 (Australian Rare Earths, 2009). Etterspørselen øker, noe som gir et stort gap mellom eksport (tilbud) og etterspørsel. Som vi kan se fra Figur 11 er gapet mellom tilførsel og etterspørsel økende, i 2011 var kinesisk tilførsel av REO lavere enn 60 % av etterspørselen. Dette har også ført til en høy økning i prisene fra 2010 til 2011 og prisen øker fortsatt. De tre metallene som har økt mest er terbium, dysprosium og europium. I tillegg til å være sjeldne, har de også blitt viktigere i industrien (Massari og Ruberti, 2012).

2 Teori



Figur 11: Den røde grafen er Kinas eksport, den blåe grafen er resten av verdens etterspørsel og de resterende grafene er prisene til utvalgte sjeldne jordartsmetaller i perioden 2005-2012 (Massari og Ruberti, 2012)

Tabell 2: Kinas eksport av REE i 2009 og 2010 basert på tall fra Australian Rare Earths (2009)

	Første del av 2009	Andre del av 2009	Totalt i 2009	Første del av 2010	Andre del av 2010	Totalt i 2010
Utenlandske investeringsbedrifter	6685	10160	16845	5978	1768	7746
Lokale bedrifter	15043	18257	33300	16305	6208	22513
Totalt	21728	28417	50145	22283	7976	30259

USA er bekymret for forsyningen av sjeldne jordartsmetaller, pga. at de er viktige for elektronikk, ren energi og produksjon av militær-teknologi. Alt dette påvirker økonomien direkte (Paul og Campbell, 2011). USDOE (U.S. Department of Energy) har en strategiplan for å finne andre muligheter. For eksempel: Erstatte de, resirkulering av elektronikk og/eller utvikle en global tilgang av disse grunnstoffene (Paul og Campbell, 2011). Etterspørselen er stor og prisen høy (REE minerals, 2012). USA produserer de fleste produktene som trenger

2 Teori

REE, mens Kina har det meste av REE-produksjonen. Dermed trengs det et samarbeid, men for å få til det må USA ha noe å tilby Kina (Trigaux, 2012).

Fremtidens forsyning avhenger av noen viktige faktorer: Utviklingen av den totale kinesiske REO produksjon, utviklingen av den kinesiske eksporten, fremgang i installasjonen for gruvene Mountain Pass (USA) og Mount Weld (Australia) og fremdriften av andre gruveprosjekter (godkjenning, mulighetsstudier, anleggsarbeid) (Schüler et al., 2011).

I de siste årene har etterspørselen etter sjeldne jordartsmetaller, som sagt, økt. Dette er på grunn av at ny teknologi har ført til utvikling av flere produkter som inneholder REE. En stor del av denne etterspørselen er relatert til såkalt grønn teknologi, som blir designet for å bidra til å redusere energiforbruket, til videre utvikling av fornybare kilder eller til kontroll av luftforurensingene (Schüler et al., 2011). For eksempel er det veldig stor etterspørsel etter sjeldne jordartsmetaller for å bruke i vindmøller. England har blant annet planer om å bygge vindmøller i Nordsjøen som skal dekke 1/3 av Englands energi-forbruk (REE minerals, 2012). Problemet er at noen av de sjeldne jordartsmetallene kan gå tom innen få år. For eksempel hvis Kina ikke eksporterer nok, vil vi i de nærmeste årene ha større etterspørsel enn tilførsel (Schüler et al., 2011).

Et eksempel på hva som kan skje hvis Kina strammer eksportkvoten av REE mer, er at mange av leverandørene til USA-forsvaret får problemer. Uten sjeldne jordartsmetaller kan ikke disse leverandørene bygge, noe som vil føre til at bransjen kollapser. På grunn av innholdet i mange militære anvendelser er ikke erstatninger mulige. Det største eksempelet er USAs flyvåpen, som blir mer og mer avhengig av REE. Når fly blir raskere, må de bli lettere, samtidig som det blir tilført vekt pga. ekstra datamaskiner og andre funksjoner om bord. For å gjøre flyet lettere blir scandium brukt for å produsere lett aluminiumlegeringer til flykropper (Trigaux, 2012).

Ved at det har blitt større etterspørsel og at Kina har restriksjoner på eksport på disse metallene har prisene økt mye (Schüler et al., 2011). I perioden 1991-2007 økte produksjon av REO råmaterialer fra ca. 50 000 tonn/år til nesten 130 000 tonn/år, mens den gjennomsnittlige prisen falt. Fra 2007 og fremover begynte produserte mengder å nærme seg 134 000 tonn/år (2010), mens prisen på REO har vært stigende. Den mest betydelige økningen var fra 2009 til 2011, riktignok med et midlertidig fall i prisene i 2010. Trenden med fallende priser skyldes forskjellige grunner: Den vedvarende tunge økonomiske krisen i industrilandene, mindre Hi-tech forbruk og omsetning av store lagre av REO fra private aktører som var redde for mulige inspeksjoner og beslag fra den kinesiske regjeringen (Massari og Ruberti, 2012).

En ulempe med at det var lave priser før er at det da ble sløst med ressursene. Inntil nå har det nesten ikke vært noe resirkulering av sjeldne jordartsmetaller. De høye prisene kan kanskje bli startpunktet for mer utvikling innenfor resirkulering av REE (Schüler et al., 2011). I forhold til gruver burde man begynne nå, pga. at det tar mange år før nye gruvedriftprosjekter er oppe. For eksempel har Mountain Pass gruen i USA som nevnt tidligere planer om å gjenåpne, men det vil ta mange år før den kommer til å være i fullstendig drift igjen (Massari og Ruberti, 2012). Man burde også forske mer på erstatninger av de REE som det er mangel på og jobbe videre med å effektivisere prosessene (Schüler et al., 2011). På lang sikt er det sannsynlig at nanoteknologi vil erstatte blant annet REE. Dette kan gjøres ved å etterligne egenskapene deres og redusere mengden som trengs (Massari og Ruberti, 2012).

I de fleste tilfeller kan ikke sjeldne jordartsmetaller erstattes av et annet grunnstoff eller en annen forbindelse (Schüler et al., 2011). Med dagens teknologi kan de ikke erstattes av andre metaller uten tap av funksjonalitet (Boyd, 2011). I de fleste tilfeller krever erstatning et helt nytt produktdesign (Schüler et al., 2011). For noen sjeldne jordartsmetaller er det ingen kjente erstatninger. De sjeldne jordartsmetallene har unike kjemiske og magnetiske egenskaper som gjør dem selvlysende og effektiv på radioaktiv skjerming, som ikke har blitt funnet i noen andre grunnstoffer. Av de erstatningene som foreligger kommer de ofte til for kort. Et område som kan løftes etter hvert, hvis teknologien fungerer, er syntetiske erstatninger (Trigaux, 2012). I forhold til grønn teknologi er det nesten ingen muligheter for alternative teknikker uten bruk av REE, i alle fall ikke som har en like god ytelse og økonomisk konkurransevne. Intensiv forskning innenfor dette feltet er sterkt anbefalt (Schüler et al., 2011).

Av alle de 17 REE er det forventet i 2014 at 8 av dem (lantan, cerium, neodym, praseodym, samarium, dysprosium, europium og terbium) vil representere over 90 % av produksjonen og 93 % av den forventede etterspørselen (Massari og Ruberti, 2012). Tilførselsrisikoen for de tunge sjeldne jordartsmetallene terbium og dysprosium virker som den høyeste, fordi Mountain Pass og Mount Weld gruvene ikke produserer relevante mengder av disse metallene, og potensiell kinesisk forsyningsbegrensninger angående tunge sjeldne jordartsmetaller (HREE) kan ikke kompenseres av relevante produksjonskapasiteter utenfor Kina. Videre vil Kina sannsynligvis ikke øke sin HREE produksjonen de neste årene, mens den globale etterspørselen øker kraftig. En relevant forsyningsrisiko for de lette sjeldne jordartsmetallene neodym og praseodym er den komplekse behandlingsteknologien som kreves for sjeldne jordarts-raffinering som kan føre til forsinkelser i gjennomføringen i California og Malaysia (Schüler et al., 2011).

Med stor grad av sannsynlighet vil det vil være mangel på sjeldne jordartsmetaller for produksjon av permanente magneter på kort sikt. De relevante grunnstoffene er terbium, dysprosium, praseodymium og neodym, der anvendelsene er vindturbiner, hybrid- og elektriske biler. Det kan derimot finnes erstatninger. Produksjonen av Ni-MH-batterier for hybridbiler kan bli begrenset på grunn av knapphet i neodym og lantan. Dette vil trolig føre til en økt erstatning av Ni-MH-batterier med Li-ion-batterier. Med høy grad av sannsynlighet vil det være mangel på sjeldne jordartsmetaller for produksjon av belysningsenheter på kort sikt. Vesentlige mangler er forventet for europium og terbium. Videre forsyning for yttrium og lantan vil trolig også bli knappe. Relevante anvendelser er energieffektiv belysning som kompakt lysrør, LED, plasma og LCD-skjermer. En ekstra tilførselsrisiko for de fleste av disse anvendelsene er mangelen på gode erstatninger for mange lys-emner på kort sikt. Katalysatorer i raffinering og videreforedling kan lide av en lantanmangel. Her er heller ingen erstatninger tilgjengelige på kort sikt (Schüler et al., 2011).

Når vi ser på mulige mangel på naturressurser og utfordringen ved å finne alternativer for erstatning, er det fire alternativer (Schüler et al., 2011):

- Flere gruver
- Mer resirkulering
- Erstatte REE med et annet materiale
- Designe produktene slik at de ikke trenger REE

I følge analyser vil verdens etterspørsel etter REO øke hvert år med mellom 10 og 20 %. Den globale etterspørselen i perioden 2011-2014 forventes å øke mellom 8 og 10 % per år; der den høyeste veksten er forventet for magneter (10-15 %) og metall-legeringer (15-20 %), som trengs i hybrid- og elektriske biler. Det forventer en gradvis økning i etterspørselen etter REO i verden med opp til 225 000 tonn innen 2015. Sammenbruddet av resten av verdens etterspørsel i 2009, som i stor grad kom som følge av den globale økonomiske nedgangen og nedgangstider, synes ikke å ha hatt umiddelbare konsekvenser for prisene på sjeldne jordartsmetaller, med kanskje unntak av svak nedgang i prisen på terbium. Selv med i hovedsak stabil etterspørsel og forsyning i de første årene etter 2010, har prisene fortsatt å stige på grunn av ubalanse mellom forsyning og etterspørsel. Det er vanskelig å forutsi, med sikkerhet, hvilket nivå prisene i fremtiden vil ligge på. På grunn av denne usikkerheten må vi se på alternative teknologier og resirkuleringsmuligheter. I tillegg kan høyere priser føre til utvikling av gruvedrift for REE utenfor Kina (Massari og Ruberti, 2012).

2 Teori

For å oppnå sikker REE tilførsel må man se på mangfold/variasjon. Dette kan gjøres ved å (Massari og Ruberti, 2012):

- Variere og globalisere tilførselskjeden ved å få en bedre og uhindret tilgang til råmaterialer på verdensmarkedet
- Signere flere tosidige handelsavtaler og oppmuntre til mer tverrgående kontakter med utviklingsland
- Berike nasjonale strategiske reserver for årene fremover
- Investere i forskning og utvikling av egnede erstatninger
- Anvende mer miljøvennlige og enklere ekstraksjonsmetoder
- Finne måter å resirkulere og gjenbruke disse sjeldne og strategiske materialene
- Øke ressurseffektivitet og optimalisere deres bruk på en mer fornuftig og effektiv måte
- Promotere og forbedre tilgjengeligheten av statistisk informasjon
- Identifisere produserende land som har lavere risiko for tilførsel, evaluere deres økonomi og politisk stabilitet og miljøkonsekvenser
- Promotere forskningsaktiviteter, bærekraftig leting og utvinning («intelligent gruve drift»), og forskning på erstatninger

Videre bekymringsfullt er det midlertidige eksportkuttet som skjedde i oktober 2011. Kina erklærte at de trengte å bevare reservene for innenlandsk forbruk. Verdens største sjeldne jordartsselskap bestemte seg for å stoppe eksport i en måned. Dette gjorde at de globale prisene eksploderte, og ifølge House Armed Services Committee, kom det som en "vekker" for å bli raskere med å finne nye kilder til sjeldne jordartsmetaller. Eksportforbudet var strategisk, og det forteller oss sannsynligvis om hvordan Kina til slutt vil at den globale økonomien skal se ut. Eksport-kuttet var bare for REE, noe som betyr at dersom et selskap ønsket å kjøpe sjeldne jordartsmetaller, kunne de kun kjøpe de ferdige produktene (mobiltelefoner, solcellepaneler, etc.) fra Kina, som den eneste gjenværende kilden (Trigaux, 2012).

Enda mer problematisk er det at Kina ikke bare reduserer eksporten for å passe på innenlandsk etterspørsel, men at de også aktivt samler en frittstående reserve av sjeldne jordartsmetaller. Dette kan tillate kineserne å oversvømme markedet med sjeldne jordartsmetaller for å kollapse de høye prisene. Noe som videre fører til at konkurrenter, som ikke er støttet av statlige midler, vil falle ut av virksomheten raskt, og dermed kan Kina ta tilbake sin kontroll. "Kina lyktes i å drive andre ut av business en gang, og mange frykter at de vil kunne gjøre det igjen" (Trigaux, 2012). Men i dag er ikke Kina lenger i posisjon til å

gjøre dette, da etterspørselen i Kina i seg selv er så stor og de må da beskytte sin innenlands industri (Australian Rare Earths, 2009).

En idé som oppsto i Kongressen i USA er å kopiere Kina, og opprette et amerikansk beredskapslager av sjeldne jordartsmetaller. Det virker som en av de viktigste måtene å avslutte USAs avhengighet, er å arbeide med nasjoner utenfor Kina for å bygge opp deres gruvedrift, og raffineringsskapasiteter (Trigaux, 2012).

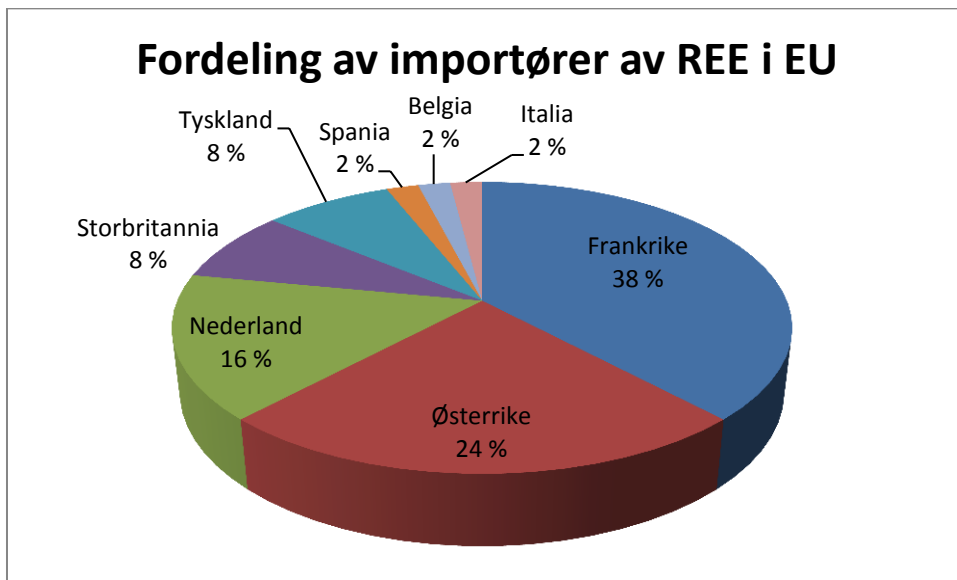
Kina bruker også sitt monopol på sjeldne jordartsmetaller som utenrikspolitisk maktmiddel, et eksempel på det kan være da de stoppet eksporten til Japan grunnet krangling om landegrenser (Gire Dahl, 2012). Senest den 13. mars i år sendte USA, Japan og EU inn en klage til World Trade Organization (WTO) der de bad om konsultasjoner med Kina angående de restriksjoner Kina har innført på eksport av sjeldne jordartsmetaller, wolfram (tungsten) og molybden (Ottesen et al., 2013).

Høye priser, lav forsyningssikkerhet og mangel på gode erstatninger, har ført til at det forskes mye på materialgjenvinning av sjeldne metaller, særlig i Japan og i Europa, hvor det er få forekomster (Massari og Ruberti, 2012). Skjevheten med knappe ressurser og usikkerheten i forsyningen gjør det også desto mer viktig med resirkulering (Gire Dahl og Lyng, 2011).

2.2.21 Prosjekter utenfor Kina

Som sagt er Kina verdens ledende eksportør av sjeldne jordartsmetaller. Hovedimportørene av sjeldne jordartsmetaller er Europa, USA og Japan. De importerte totalt 78 000 t av forbindelser som inneholder sjeldne jordartsmetaller i 2008, av disse var 90 % importert fra Kina. Industrien i Europa (her definerer som EU33, dvs. EØS-området samt søkerland til EU) forbruker 20 % av verdensproduksjonen av metaller, men produserer bare 3 % (Schüler et al., 2011). Europeisk industri er sterkt avhengig av import av metalliske råstoffer generelt, og er spesielt avhengig av mange av metallene som er nødvendig i høyteknologiske anvendelser (Boyd, 2011).

I EU var hovedimportørene i 2008 Frankrike og Østerrike, men også Nederland, Tyskland, Storbritannia, Spania, Belgia og Italia (Figur 12). Det er bare noen få industrielle aktiviteter på sjeldne jordarts-raffinering og bearbeiding i EU. De europeiske bedriftene er i hovedsak involvert i produksjonsprosesser av halvfabrikat eller ferdige produkter som inneholder REE. For eksempel magneter, legeringer, bilkatalysatorer osv. Mesteparten av REE raffinering- og prosesserings aktivitetene er lokalisert i Kina (Schüler et al., 2011).



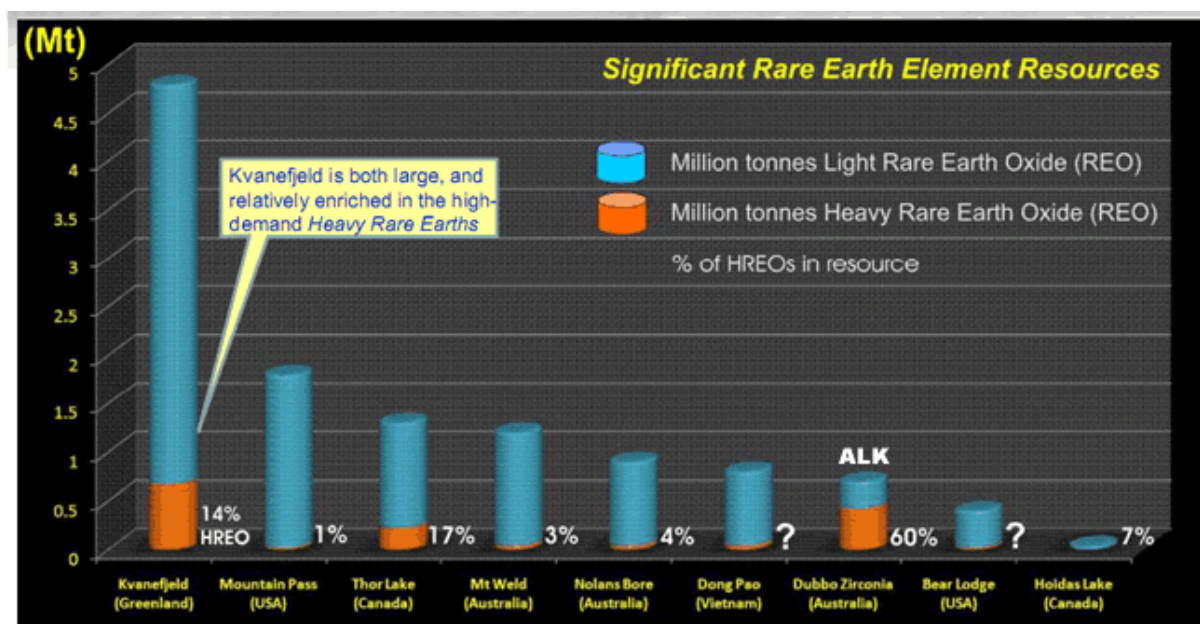
Figur 12: Fordeling av importører av sjeldne jordartsmetaller i EU, basert på tall fra Schüler et al. (2011)

Siden REE fortsetter å være relativt kostbare på råvaremarkedet har mange prosjektet fra hele verden kommet sammen for å prøve å bryte det kinesiske monopolet (Trigaux, 2012). Bare små mengder av REE kommer fra andre land enn Kina. (2700 t fra India, 650 t fra Brazil og 380 t fra Malaysia). I forhold til den høye etterspørselen og minkende eksport fra Kina, er det mange aktiviteter som er rettet mot åpning av nye gruver utenfor Kina (Schüler et al., 2011). Over 200 gruver har planer om å åpne i løpet av 2025, men sannsynligheten for at dette skjer er lav. En studie av langtids-industriekspert Jack Lifton forklarer at ca. fire prosent av nye selskaper eller mindre enn ti av de 244 nye selskapene som har lansert i de siste tre årene vil lykkes. Men så mange selskaper som starter opp er det rett og slett ikke nok ekspertise til at det går i rundt. Dette fører til at mange selskaper har investorer og malm, men ingen til å gjøre noe med steinene de drar ut av grunnen eller ikke engang noen til å peke ut hvilke steiner som burde bli utvunnet (Trigaux, 2012). Til tross for det høye antallet planlagte gruveprosjekter, er bare to av dem tilstrekkelig avansert til å ha fått godkjenning fra myndighetene og konstruksjon har begynt: Mountain Pass i California, USA og Mount Weld i Australia (Schüler et al., 2011). Disse prosjektene kan konkurrere med Kina i en begrenset form. Lynas Corp, det australske selskapet som dominerer REE sektoren «down

under», forhandler nå om å bygge det første raffineriet for REE utenfor Kina, i Malaysia (Trigaux, 2012). Den andre primære hindringen for oppstart er mangelen på raffineringsevne, som så å si bare finnes i Kina, i alle fall frem til Lynas raffineriet er oppe å gå (selv da er Lynas raffineriet primært utviklet for å behandle den australske produksjonen av sjeldne jordartsmetaller) (Trigaux, 2012).

Fra 1965 til 1984 var det Mountain Pass og USA som hadde hoveddelen av REO produksjon, etter 1984 har Kina tatt mer og mer over (Australian Rare Earths, 2009). Mountain Pass Mine har vært i dvale siden 2002. Molycorp fikk inn nok penger fra investeringer til å åpne gruva igjen i begynnelsen av 2011, men har nå gått ut å sagt at de har gjenåpnet den. En stor begrensning for enhver REE produksjon er kostnadene. Investorer liker kortsiktig avkastning, noe som REE, som tar alt fra fem til 15 år å gjøre lønnsomme, ikke kan gi. De fleste investorer ønsker ikke å vente en generasjon til investeringer begynner å gi avkastning. Molycorp brukte store midler (mye penger) for å gjenåpne gruva. Aksjene stupte, og det ble tatt for få konkrete tiltak for å forsikre investorene om den finansielle framtiden til selskapet. ¼ av de opprinnelige investorene har dermed trukket seg. De fleste industrieksperter mener at meningsfull produksjon i det minste er fem år unna, og at det også finnes andre utfordringer. Med migrering av mange bransjer som er avhengige av sjeldne jordartsmetaller til Kina, er et innenriks-marked for visse mineraler ikke eksisterende for å støtte utvidelsen av Molycorp gruva (Trigaux, 2012).

Et annet stort problem med Molycorpgruva er innholdet i den. USAs Mountain Pass forekomstene er relativt mangelfull på HREE og har nesten ikke noe samarium og svært lite HREE annet enn neodym og praseodym. De tunge REE er de som trengs i militærteknologi. (Trigaux, 2012). Mens Nolans (Australia), Mt Weld (Australia) og Kvanefjeld (Grønland) forekomstene er relativt sett godt utrustet (Figur 13) (Australian Rare Earths, 2009).



Known REE resources that are compliant by either the Australian JORC code, or Canadian National Instrument 43-101 standards. China also contains very significant REE resources but compliant figures are uncertain (Source IMCOA).

Figur 13: Sjeldne jordartsmetallressurser globalt sett hvis man ser bort i fra Kina (Australian Rare Earths, 2009)

Australia er et av få land som har store mengder sjeldne jordartsmetaller (de har ca. 1/3 av verdens kjente ressurser), både lette og tunge (Australian Rare Earths, 2009). Lynas Corp står som en av de som dominerer globalt for å levere verdens fremtidige behov for sjeldne jordartsmetaller (Beauford, 2010). Lynas Corps gruve Mount Weld er lokalisert i Vest-Australia og er verdens rikeste REO forekomst. Gruven er også en av de mest kjente REE forekomster i verden og er estimert til å inneholde 1,8 Mt REO (Tabell 3) (Australian Rare Earths, 2009). De ekstremt høygradige malmene er tilstrekkelig for langsiktig produksjon, med over 1,4 millioner tonn av sjeldne jordartsoksider i bakken. Betydelige lagres over bakken og er klar til sending. Gruven er dominerende av lette sjeldne jordartsmetaller (LREE), med cerium og lantan som utgjør om lag 73 % av oksidene. Store mengder av neodym og praseodym (ca. 23,8 % av oksidene), sammen med mindre mengder av et par andre grunnstoffer gir gruve et solid grunnlag for langsiktig konkurranse (Beauford, 2010).

2 Teori

Tabell 3: Ressurser i forskjellige gruver, basert på tall hentet fra Australian Rare Earths (2009)

Prosjekt	Eier	Hvor?	Ressurser (REO)	Startes opp
Kvanefjeld	Grønland Minerals & Energy	Grønland	10,3 Mt	2016
Mountain Pass	Molycorp	CA, USA	1,8 Mt	2012
Mt Weld	Lynas Corp	WA, Australia	1,8 Mt	2012
Nechalacho	Avalon Rare Metals	NT, Canada	4,35 Mt	2016
Strange Lake	Quest	QC, Canada	2,4 Mt	2017+
Zandkopsdrift	Frontier	Sør-Afrika	0,94 Mt	2017
Nolans	Arafura	NT, Australia	1,7 Mt	2017?
Dubbo Zirconia	Alkane Resources	NSW, Australia	0,5 Mt	2015
Steenkamskraal	Great Western Minerals Group	Sør-Afrika	0,03 Mt	2013?

Sør-Afrika og Brasil er også delaktige land. Ved å investere i sine gruveanlegg, ønsker de å få et kostnadseffektivt alternativ til kinesisk dominans og forhåpentligvis få en del av de høyteknologiske industriene som har oppstått i Kina. Dette kan øke deres økonomi på lignende måte som for kineserne. Estlands deltar også, der produksjon på Sillamae tilfeldigvis avdekket tonnevis av sjeldne jordartsmetaller. Disse blir nå eksportert (Trigaux, 2012).

En av de mest kontroversielle kildene av REE finnes i Afghanistan. Mineralrikt, hvis det blir riktig forvaltet, kan gjøre underverker for den afghanske økonomien. Det er usannsynlig at dette kommer til å skje. For det første, mangler afghanerne infrastruktur for å tillate lønnsom gruvedrift, som for eksempel elektrisitet og jernbaner. Dernest er territoriet som er identifisert som mineralrikt for tiden holdt av Taliban. Dette fører til sikkerhets- og politiske hensyn om hvor mineralrikdommen vil gå når den er utvunnet fra jorden, og hvilke konsesjoner Taliban vil forvente for å tillate utnyttelse av deres mineralrikt. Et annet poeng er at gruvedrift er en vannintensiv industri, og Afghanistan har fint lite vann som det er. Det lille vannet de har kanaliseres inn i småskala-vanning for jordbruk. Mye gruvedrift kan føre til at hele nasjonen kommer til å lide av tørst og sult (Trigaux, 2012).

Canadas Hoidas Lake prosjekt har et av de største potensialene for å utfordre Kinas overlegenhet i å produsere i det minste noen REE, men på grunn av sin avsidesliggende beliggenhet og langsomme investeringer blir prosjektet ansett for å ligge bak andre prosjekter. Andre prosjekter i Nord-Amerika er den Canadiske finansierte virksomheten i Nebraskas Pea Ridge Mine og Kvanefjeld prosjektet på Grønland. Pea Ridge Mine går tilbake til jern-produksjon og Kvanefjeld prosjektet er fortsatt i utforskningsfasen. Videre har ikke

USA noen REE-raffinerings muligheter, det er heller ikke noen som dukker opp i nærmeste framtid. Å være avhengig av australske raffinerier er mer geopolitisk pålitelig enn kinesiske raffinerier. Men det er verken praktisk eller kostnadseffektivt å sende mineraler halvveis verden rundt for at de skal bli sendt tilbake (Trigaux, 2012).

Det høye presset på åpningen av nye gruver utenfor Kina øker bekymring for at nye gruver, som ikke holder minimum miljøstandarder, kan åpnes. Et tilfelle kan være Kvanefjeld på Grønland hvor rester fra malm-konsentrasjon (avgangsmasser) skal oppbevares i en naturlig innsjø med tilknytning til sjøen. EU og European Environmental (EEA), som har en generell samarbeid med Grønland, bør appellere klart til de grønlandske myndigheter slik at de handler ansvarlig (Schüler et al., 2011).

Reserver i Europa:

Det er bare begrenset informasjon om europeisk REE forekomster. Hovedfunnene er (Schüler et al., 2011):

- England: Det har ikke vært en systematisk, helhetlig vurdering av REE ressurser i England. Noen små forekomster er kjent, men de har ikke noe økonomisk potensial
- Irland: Mulig leteaktivitet her
- Sverige: Potensial av REE produksjon på maksimum 1400 t per år som biprodukt til jerngruver i Nord
- Tyskland: Forekomst i Saxony med mulige ressurser på ca. 40 000 t REO med en gjennomsnittsgard på 0,5 %
- Det nevnes også ressurser i Tyrkia og Norge

Hovedsakelig består alle forekomster av mer LREE enn HREE, for det meste er det bare noen få prosent av HREE. Blant disse er de potensielle begrensede grunnstoffene dysprosium, terbium og yttrium (Schüler et al., 2011). Alt i alt kommer Kina uansett til å ha 100 % av markedet for disse tre. Det er disse det er størst etterspørsel etter, og betydelige kilder utenfor Kina har ikke blitt funnet (Trigaux, 2012).

Problemene med de sjeldne jordartsmetallene ser ikke ut til å ha en snarlig løsning. Kina vil i overskuelig fremtid dominere produksjonsmidlene. Innsats for å løse dette problemet, som gjenvinning, erstatning og gruvedrift i andre land vil ikke dekke opp for behovene. USA trenger å gå forbi den ideologiske tanken på at de, eller noen annen stat, er egentlig en "fri markedsøkonomi". USA burde heller begynne å beskytte og støtte sine egne kapasiteter for REE-gruvedrift. Den kortsiktige løsningen, og årsaken til problemet ligger hos det dårlige forholdet til Kina. Om ikke annet, kan fokus på dette forholdet gi andre løsninger i forhold til det sjeldne jordartsproblemet tid til å realiseres. De burde også se på å bygge sine egne

sjeldne jordartsraffinerier. Endring av offentlige forestillinger om at en "friere" økonomi ikke nødvendigvis er en bedre økonomi er en vanskelig kamp, og vil kreve dedikert ledelse, med en klart formulert melding. I mellomtiden bør President Obama utvide sin diplomatiske innsats for å sikre sjeldne jordartshandel med vennlige land, som Canada og Australia, og fremme gjenvinning av sjeldne jordartsmetaller og forskning på erstatninger. Dette ville komplettere hans budskap om grønn energi og den nye "grønne økonomien" (Trigaux, 2012).

2.3 Edelmetaller

Edelmetaller består av gull, sølv og platinagruppens grunnstoffer (Periodesystemet.no), der platinagruppens grunnstoffer/metaller (forkortet PGE/PGM) består av ruthenium (Ru), rhodium (Rh), palladium (Pd), osmium (Os), iridium (Ir) og platina (Pt). De har lignende fysiske og kjemiske egenskaper, og forekommer for en stor del i de samme malmtypene (NGU, 2007). Edelmetallene er de grunnstoffene som er sjeldnest i jordskorpa (Ottesen et al., 2013). Platinagruppens metaller har glimrende katalyserende egenskaper, de er motstandsdyktige mot slitasje, mot matthet og tåler kjemiske angrep, har gode høytemperaturregenskaper og stabile elektriske egenskaper (NGU, 2007). Platinagruppemetaller er inkludert i elektrisk kontaktmaterialer fordi de har høy kjemisk stabilitet og ledningsevne av elektrisitet (Robinson, 2009). Det har blitt gjort flere tiltak for gruvedrift av diamant, gull og platina i liten-skala (Schüler et al., 2011).

Av PGM har Sør-Afrika 63 %, Russland 26 % og USA 4 % av verdens produksjonen. Platina, palladium og rhodium benyttes i katalysatorer i biler (53 % av markedet for PGM). 20 % benyttes i smykkeindustrien, og de øvrige 27 % i en rekke forskjellige anvendelser, bl.a. innen elektronikk og katalysatorer i olje-raffinerier. Sør-Afrika har verdens største ressurser av PGM totalt. Landet er verdens viktigste kilde for platina (79 % av verdens produksjon) og nest viktigste kilde for palladium (40,5 %). Reservene i Sør-Afrika utgjør 85 % av verdens dokumenterte reserver. Russland er verdens nest viktigste kilde for platina (11 %) og viktigste kilde for palladium (41 %). Norge eksporterer 12-15 tonn PGM årlig som biprodukt fra nikkelfraffineriet i Kristiansand (Boyd, 2011).

Gull og platina er sjeldne metaller, og dagens forbruk har ført til at prisen på disse metallene har steget raskt de senere år. Uten effektiv gjenvinning så vil prisene fortsette å stige. Vi har et relativt effektivt retursystem i Norge, men dette mangler i store deler av verden (Ottesen et al., 2013).

WEEE Recycling får betalt for gull, palladium osv., blant annet sendes kretskort videre til firmaet New Boliden i Sverige (WEEE Recycling, 2012a).

2.3.1 Gull (Au)

Gull er på mange måter et av de mest ubrukelige grunnstoffene, med det mener vi at rent gull er et så bløtt metall at det ikke kan brukes i verken redskap eller våpen. I tillegg er også gull svært tungt og det har heller ingen biologisk virkning. Men gull er derimot stabilt og reagerer ikke med luft, dvs. at overflaten blir like fin over tid – den blir ikke svart som sølv eller grønn som kobber (Periodesystemet.no). Gull er et av de viktigste edelmetallene. Det er fullstendig vedlikeholdsfritt og har unike strømførende egenskaper (Gire Dahl, 2012). Dette gjør at gull i dag også har viktige anvendelser, som for eksempel i kontaktpunkter i elektronikk (Periodesystemet.no). Gull er også blant annet viktig for å lage mobiltelefoner (Gire Dahl, 2012). Mens et tonn drivverdig gullmalm typisk inneholder 1 til 5 gram gull (Periodesystemet.no), kan ett tonn EE-avfall inneholde 150-250 gram gull. Dette avhenger av type EE-avfall, spesielt finner man mye gull og edelmetaller i kretskort (Ottesen et al., 2013). Gjenvinning eller urban gruvedrift kan derfor være vel så lønnsomt som tradisjonell gruvedrift. Gull opptrer i en rekke geologiske miljøer, og konsentrasjoner på over 1-2 g/tonn regnes som økonomisk interessante. Hvis vi ser bort i fra bruken av gull som valuta eller til smykker, så brukes det for det meste i elektronikkbransjen. Det brukes over 100 tonn gull i året i elektronikk (Periodesystemet.no). Norge har betydelig potensial for blant annet gull (Boyd, 2011).

I masteren til Anders Gire Dahl (Gire Dahl, 2012) kaller forfatteren metaller i svært små konsentrasjoner i ulike produkter for *kryddermetaller*. Han skriver videre at de utgjør en svært liten del av produktet, men på grunn av metallenes spesielle egenskaper er de helt avgjørende for produktets funksjonalitet- akkurat som et krydder kan være for smaken på en spesiell rett. Problemet med gull er å finne det, da vi ikke finner mer enn vi gjorde i 2000 og utvinningen blir stadig vanskeligere og mer energikrevende . Det blir flere og flere mennesker på jorda og dermed også flere og flere som blir rike. Gullmengden i verden vokser derimot ikke i takt med resten av økonomien. Mesteparten av gullet i verden brukes til å lage smykker (78 %), noe vi i bunn og grunn kan klare oss uten. Det er verre med de andre områdene der metallet brukes, som for eksempel EE-produkter. For å utvinne ett gram gull fra malm, må omtrent to tonn stein fraktes fra et stort dyp, males ned, filtreres, siktes og behandles. I stedet kan vi gjenvinne og fra fem kasserte datamaskiner kan vi få samme mengde. Tatt i betraktning mengden ubrukte elektroniske produkter som finnes, er resirkulering et svært godt alternativ til gruvedrift (Gire Dahl, 2012).

Det finnes erstatningsmaterialer (substusjoner) for gull; palladium, platina og sølv. Problemet er at disse materialene er mer utsatt for korrodering og slitasje, og dermed kan de gjøre levetiden til mobiltelefonene og TV-ene kortere. På noen bruksområder er det derimot ikke mulig å bruke gjenvunnet gull; for eksempel i romfart. Per i dag er det bare helt

rent gull som fungerer for dette formålet (Gire Dahl, 2012). I følge Richard Schodde, konsulent i det australske selskapet MinEx Consulting, har vi mulighet til å produsere tilnærmet like mengder gull som i dag i enda ti år til (Jakobsen, 2012).

2.3.2 Sølv (Ag)

Sølv er et skinnende, mykt metall. Ingen andre metaller har så høy elektrisk og termisk ledningsevne som sølv. Men pga. prisen bruker vi gjerne kobber i stedet. Sølv har ingen kjent biologisk rolle og er heller ikke giftig. Men derimot er de fleste sølvsalter og løsninger giftige. Sølv har også bakteriedrepende egenskaper. Det meste av sølvet i verden finnes som sølvminerale og typisk som sulfider. Sølv benyttes i stor grad i elektrisk og elektronisk industri og til smykker og pyntegenstander. Den største bruken er imidlertid i forbindelse med fotografering og filming (Periodesystemet.no).

2.3.3 Platina (Pt)

Nærmere halvparten av verdens produksjon av platina blir brukt til å lage smykker. Det er dyrere og forekommer sjeldnere enn gull. Platina forekommer vanligvis som små korn i naturen, normalt i legeringer med andre metaller som jern, kobber, gull, nikkel, iridium, palladium, rhodium, ruthenium og osmium. På grunn av det er industriell ekstraksjon av platina komplisert. Til tross for begrenset tilgjengelighet, har platina mange anvendelser; elektronikk, jetmotorer, katalysator i kjemisk industri, bil-katalysatorer, brenselceller, termometere, elektroder og som nevnt tidligere smykker (Periodesystemet.no).

2.3.4 Ruthenium (Ru)

Ruthenium er et av de sjeldneste metallene på jorda. Til tross for dette øker etterspørselen etter metallet stadig siden det blant annet blir benyttet i elektronikkindustrien. Ruthenium ligner platina, men det er mye hardere; faktisk så hardt og skjørt at det ikke kan bearbeides med vanlig verktøy. Ruthenium har ingen kjent biologisk rolle og de fleste forbindelsene er ikke giftige. Men stoffet er altså svært sjeldent. Ruthenium benyttes delvis i elektronikkindustrien og delvis av kjemisk industri. Og behovet øker stadig. I elektronikkindustrien blir ruthenium benyttet i elektriske kontakter og i motstander på chips (Periodesystemet.no).

2.3.5 Rhodium (Rh)

Rhodium er et edelmetall og er et av de dyreste metallene, i desember 2007 var det omkring åtte ganger så dyrt som gull og mer enn det firdobbelte av platina. Rhodium finnes naturlig bare i jordskorpen og er svært sjeldent. Det finnes i små mengder som rent metall, eller i form av blandede salter. Tynne filmer av rhodium reflekterer lys svært godt. Siden det også er svært stabilt (ikke ruster/korroderer) brukes tynne lag av metallet på flater som skal

reflektere lys, f.eks. reflektorer i billykter og instrumenter til bruk i astronomien. Fordi det er et hardt metall med høyt smeltepunkt brukes det i legeringer med platina og palladium til termoelementer, tennplugger til fly/helikoptre og andre gjenstander som skal tåle høye temperaturer uten å brytes ned. Det viktigste bruksområdet for rhodium er imidlertid i bilkatalysatorer, noe som førte til at behovet for rhodium økte drastisk på 1980- og 90-tallet (og dermed at produksjonen økte og prisene falt) (Periodesystemet.no).

2.3.6 Palladium (Pd)

Palladium utvinnes fra blandinger med platina og andre metaller. Palladium er et skinnende, sølvhvitt metall som ligner platina. I motsetning til platina er imidlertid palladium lett smibart. Russland var verdens største produsent i 2005 og sto for halvparten av verdens produksjon. Til tross for begrenset tilgjengelighet har palladium funnet mange viktige anvendelser, særlig i teknologisk sammenheng. For eksempel bil-katalysatorer, smykker, katalyse, rensing av hydrogen og keramisk flerlagskondensator (som brukes i widescreen Tv'er, datamaskiner og mobiltelefoner). Metallisk palladium benyttes som speil i vitenskapelige instrumenter (Periodesystemet.no).

2.3.7 Osmium (Os)

Tidligere har osmium blitt brukt i glødetråden i elektriske pærer. Osmium finnes gedigent eller i legeringer med iridium. På grunn av liten produksjon er osmium dyrt (dyrere enn gull). Metallet benyttes i noen få legeringer som er ekstremt harde og også motstandsdyktige mot korrosjon. Ir-Os legeringer benyttes for eksempel i de små kulene i spissen på (dyre) fyllepenner. Hardheten sørger for lang levetid (Periodesystemet.no).

2.3.8 Iridium (Ir)

Iridium er det grunnstoffet med nest størst tetthet av alle naturlig forekommende grunnstoffer. Iridium finnes naturlig i jordskorpen og er blant de aller mest sjeldne. Metallet finnes oftest sammen med osmium, men også i små mengder sammen med platina. Hovedparten av metallet i naturen er regnet å komme fra verdensrommet med meteoritter. Iridium er ikke et radioaktivt grunnstoff, men den radioaktive isotopen iridium-192 kan produseres fra naturlig forekommende iridium. Iridium er et kostbart metall. Iridium brukes som tilsetning i legeringer der stor hardhet og korrosjonsbestandighet er viktig, så som kirurgiske redskaper, og tennplugger i fly og helikoptre der en motor som fusker kan være fatalt. Dyre fyllepenner og urverk kan også inneholde iridium i deler som er utsatt for stor slitasje. Det brukes i gjenstander som skal tåle høye temperaturer, gjerne som en del av legeringer med andre metaller. I kjemisk industri er iridium et sentralt grunnstoff som bestanddel i katalysatorer for produksjon av kjemiske stoffer. Det er blankt, metallfarget og svært hardt og sprøtt. Det er derfor vanskelig å forme, men ved å bruke det som legering i

andre metaller kan man få materialer som er svært harde, men samtidig lar seg forme (Periodesystemet.no)

2.4 Resirkulering av REE

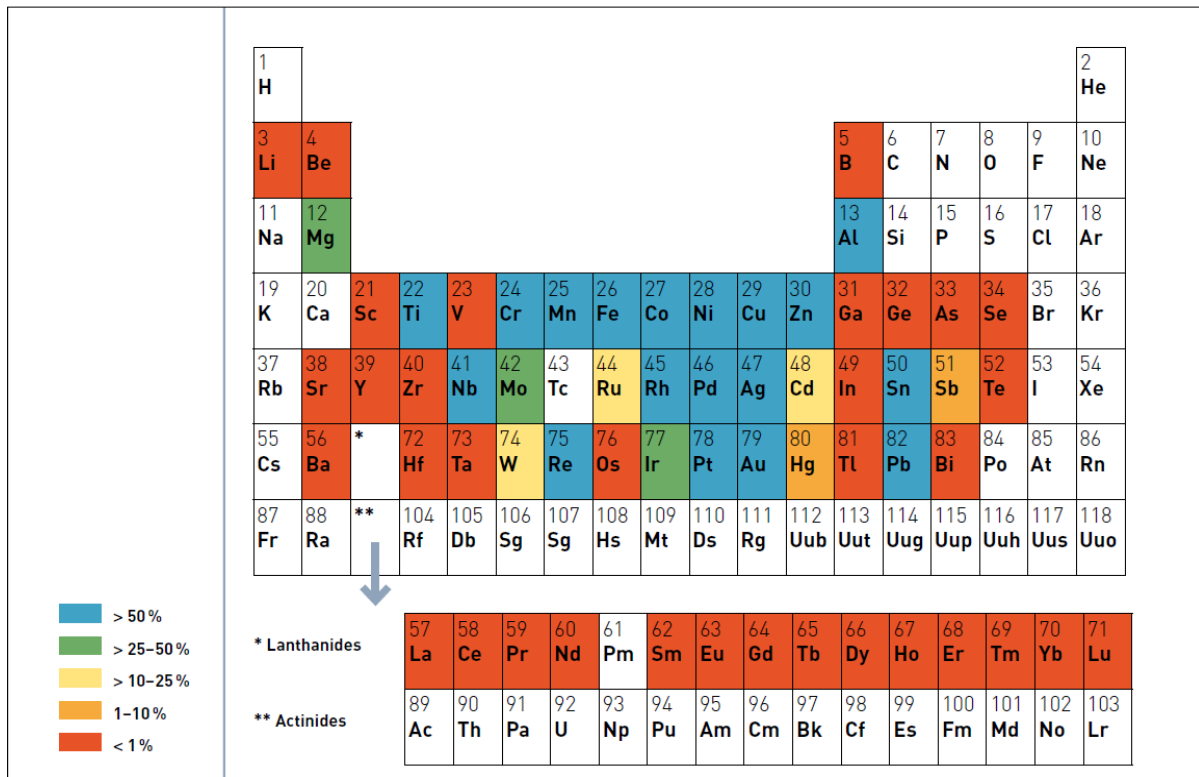
2.4.1 Generelt

Alle de 17 sjeldne jordartsmetallene er avgjørende bestanddeler i en rekke ulike elektroniske og høyteknologiske produkter. Mobiltelefoner, Tv'er, harddisker, vindmøller, biler, sparepærer, lasere og batterier er bare noen eksempler. De sjeldne jordartsmetallene opptrer vanligvis i forskjellige mineraler i samme forekomst og store mengder kjemikalier, energi og vann må benyttes for å separere de. Mange av forekomstene inneholder også de radioaktive grunnstoffene uran, thorium og radium. Disse kan medføre dyre sikkerhetstiltak for å beskytte miljøet og arbeiderens helse (Gire Dahl, 2012). Metaller er forskjellige fra andre materialer ved at de er resirkulerbare. Dette betyr at de i teorien kan brukes om igjen og om igjen, og at det kan føre til reduksjon i antall gruver og dermed færre nye materialer. Dette fører igjen til mindre bruk av energi og vann, som igjen fører til mindre forurensning (Steiner og Graedel, 2011). Resirkulering sparer mineralreserver, men sparer også energi. For eksempel: å resirkulere ett tonn av skrapaluminium sparer opp til 8 tonn av bauxitt malm og 14 Mw-timer av elektrisitet. Resirkulering av alle metallene resulterer i signifikant energibesparelse. Verdien av resirkulerte metaller og mineralskrap var i 2008 over 32 % av Kinas mineralproduksjon (Zhang et al., 2012). Materialgjenvinning, i stedet for gruvedrift, av sjeldne jordartsmetaller kan derfor gi potensielt store miljøgevinster (Gire Dahl, 2012).

Mindre enn 1 % av verdens sjeldne jordartsmetaller resirkuleres ifølge FNs miljøprogram. Dette er spesielt urovekkende gitt at andre metaller materialgjenvinnes 25-75 % (Figur 14) (Trigaux, 2012). Metallene har blitt en viktig handelsvare, fordi de er ressurser verdensmarkedet har begrenset tilgang til. Økt forståelse gjør det lettere å se konsekvensene og fordelene (Steiner og Graedel, 2011). Kobber og edelmetaller blir resirkulert, mens andre metaller som sjeldne jordartsmetaller ikke nevnes og dette gir dermed et stort potensiale. Det finnes enda ikke gode nok gjenvinningsteknikker for å gjenvinne sjeldne jordartsmetaller, men det er mye forskning på dette området; blant annet i Belgia, Frankrike og Japan (Ottesen et al., 2013). Japan er spesielt engasjert i urban mining. Urban mining innebærer å gå gjennom søppelplasser og deponier for metaller i brukt elektronikk. Dette er sannsynligvis det beste for miljøet; gjenbruk av mineraler som allerede har vært utvunnet. Uten et offentlig bevissthetsprogram som aktivt oppfordrer innbyggerne til å resirkulere elektronikk, vil urban mining være svært dyrt og vil ikke resultere i det volumet som er nødvendig (Trigaux, 2012). Store bedrifter ser ikke potensialet i resirkulering, men kaller det heller avfall (waste). Vi begrenser vår teknologiske framtid ved å

2 Teori

bruke ressursene en gang, for så å kaste de. Hvor god er verden på resirkulering (Steiner og Graedel, 2011)?



Figur 14: Gjenvinningsandel gitt i prosent for seksti metaller (Graedel et al., 2011)

Det er bare noen få industrielle resirkulerings aktiviteter for sjeldne jordartsmetaller i dag. Til nå har det ikke vært resirkulering av magneter, batterier, lys eller katalysatorer. Resirkulering av sjeldne jordartsmetaller er også en kompleks og omfattende prosess. Noe som har betydning dersom gjenbruk ikke er mulig og en fysikalsk og kjemisk behandling er nødvendig. De fleste resirkuleringsprosesser er energikrevende prosesser (Schüler et al., 2011).

Flere begrensninger for bredere resirkulering av REE finnes: behovet for et effektivt innsamlingssystem, behovet for tilstrekkelig høye nok priser på primær og sekundær REE-produkter og den lange levetiden til produkter som for eksempel bilmotorer eller vindturbiner (10-20 år før de er tilbake som avfall) (Schüler et al., 2011).

Gjenvinningsanlegg har høye finansielle risikoer på grunn av nødvendige investeringer og høy usikkerhet for fremtidens prisutvikling på sjeldne jordartsmetaller. Derfor bør det analyseres hvorvidt European Investment Bank (EIB) kan redusere finansiell risiko for investeringer i sjeldne jordarts-resirkulering. En returordning av sjeldne jordartsmetaller krever ikke bare tilstrekkelig logistikk og tekniske forutsetninger, men også et passende

lovverk. Derfor vil et viktig skritt være å tilpasse den juridiske EU-rammen for å optimalisere den sjeldne jordartsgjenvinningen (Schüler et al., 2011).

Europeiske land som har få mineralressurser og ikke er selvforsynte i forhold til å møte den nasjonale etterspørselen, intensiverer arbeidet for å øke mengden REE som blir innsamlet og resirkulert (Gire Dahl, 2012). Av det som blir innsamlet er ca. 80 % eksportert til fattige land. Kina mottar ca. 70 % av alt eksportert EE-avfall, men store mengder blir også eksportert til India, Pakistan, Vietnam, Filippinene, Malaysia, Nigeria og Ghana og også muligens til Brasil og Mexico (Robinson, 2009). Kina har lenge vært den største globale importøren av EE-avfall. Vi kan dermed få viktige erfaringer fra Kina. En rapport fra United Nations Environment Programme estimerte at mengden EE-avfall som genereres innenlands i Kina fra utdaterte datamaskiner, mobiler og tv apparater vil være 4, 7 og 1,5 ganger større i 2020 enn i 2007 (Zhang et al., 2012). Det er flere studier som tar for seg muligheten for å enkelt resirkulere REE fra brukte NiMH-batterier (Gire Dahl, 2012). I Europa gjenvinnes blant annet kun ca. 10 % av mobiltelefonene (20 % i Norge), 65 % blir trolig liggende i skuffer rundt om i de tusen hjem (Ottesen et al., 2013).

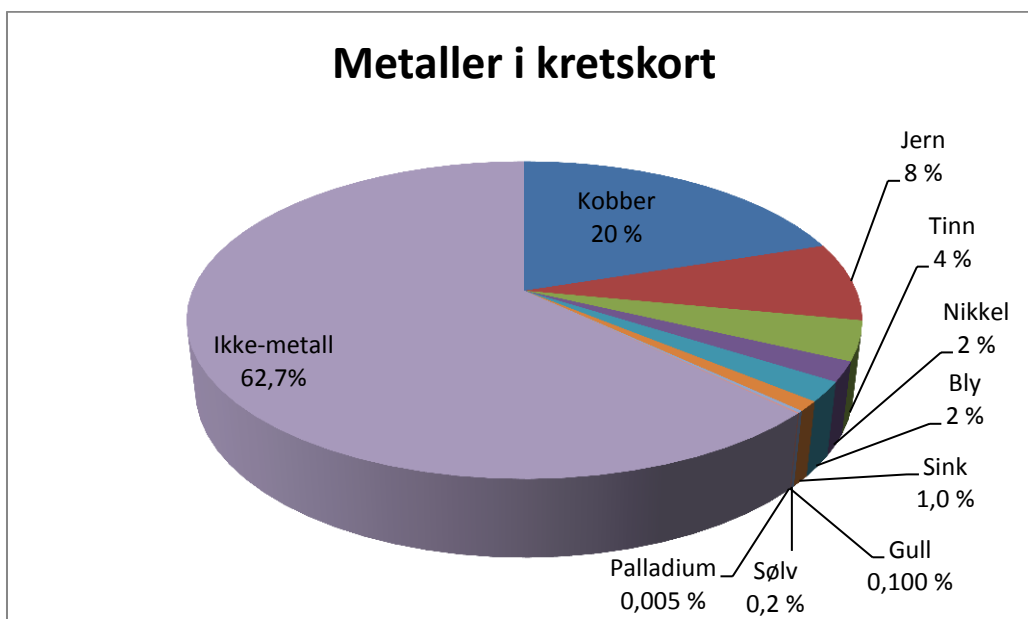
Den globale produksjonen av EE-avfall vil endres på grunn av økonomisk vekst og at nye teknologier blir utviklet. Økonomisk vekst gir mer EE-avfallsproduksjon. Kortere levetid fører også til mer EE-avfall produksjon. Levetid for datamaskiner er på 2-4 år, for fryserer og kjøleskap er den 10-12 år, for mobiltelefoner er den 2 år og for TV'er 5 år (Robinson, 2009).

FNs miljøprogram anslår at verden genererer 20-50 millioner tonn EE-avfall hvert år og at det stiger tre ganger raskere enn andre former for kommunalt avfall. I løpet av de siste årene har den gjennomsnittlige produksjon av kretskort økt med 8,7 %, tallet er mye høyere i Sørvest-Asia (10,8 %) og Kina (14,4 %) (Huang et al., 2008). Det kombinerte antall datamaskiner og mobiler som ble solgt i 2007 utgjør 3 % gull og sølv, 13 % palladium og 15 % kobolt levert av verdens gruver. EE-avfall resirkulering kan potensielt være en attraktiv virksomhet, fordi metallene i EE-avfallet er mer rikelig enn tilsvarende i malm. EE-avfall er en rik kilde på plast og sjeldne metaller (Zhang et al., 2012). Produkter som vil være relevant når de når slutten av sin livssyklus er magneter fra el-biler og generatorer (oppstår i vindmøller, hybrid og el-biler, harddisker og e-sykler), lys (fluoriserende lys), skjermer (plasma skjermer og LCD) og mulig bilkatalysator (Australian Rare Earths, 2009).

Både teknologisk nyskaping og intens markedsføring fortsetter å øke oppdateringshastighet og forkorte den gjennomsnittlige levetiden av EEE (elektronisk og elektrisk utstyr). Som et resultat øker mengden kretskortavfall dramatisk og gjenvinning av kretskortavfall er derfor et viktig tema, ikke bare for behandling av avfall, men også for utvinning av verdifulle materialer. For å akselerere tempoet for behandling av kretskortavfall i Kina, er det viktig å

innføre og utvikle kostnadseffektive og miljøvennlige resirkuleringsteknologier. Resirkuleringsteknologi for avfallkretskort i Kina er fortsatt umoden. Den forbedrede integrerte gjenvinningsprosessen er en ny teknologi uten negativ innvirkning på miljøet. Imidlertid er behandlingen for kretskortavfall en utfordring på grunn av at kretskort er varierte og komplekse i forhold til typen, størrelsen og formen av materialene og komponentsammensetningen. Kretskort har også vanskelige produksjonsprosesser. Tidligere studier har fokusert på metallutvinning, men ressursutnyttelser av ikke-metaller og ytterligere separasjon av de blandede metallene er få. Derfor haster det å utvikle en ordentlig resirkuleringsteknologi for kretskortavfall (Huang et al., 2008).

Kretskortavfall består av ca. 30 % metall og 70 % ikke-metall. De typiske metallene i kretskort er kobber, jern, tinn, nikkel, sink, sølv, gull og palladium (figur 15). Renheten av dyrebare metall i kretskortavfall er 10 ganger høyere enn det er av innholdet i rikholdige mineraler, så kretskortavfall regnes som en "urban mineral ressurs" (Huang et al., 2008).



Figur 15: De typiske metallene i kretskort, basert på tall fra Huang et al. (2008)

De valgene man tar når man designer for eksempel en PC påvirker effekten av resirkuleringen. Hvordan skal vi få en suksessfull resirkulering? Metalltap skjer gjennom hele livssyklusen til materialet. Forskjellig type resirkulering er relatert til type avfall og dens behandling. Hvordan skal vi ta ut de sjeldne jordartsmetallene? Legeringer? Hvor mye er mulig å resirkulere? Mister vi noe på veien dit? Det er mange steg for å komme ut med rent produkt som kan brukes på nytt, man må blant annet samle inn nok som kan resirkuleres. Folk må levere inn EE-avfallet sitt. Hvor mye resirkulering avhenger av mengde avfall og avfallskvaliteten. Effektiviteten av resirkuleringsprosessen varierer fra metall til metall. Vi

2 Teori

burde ha modeller som forutsier dette. Finnes det god nok teknologi til å resirkulere sjeldne jordartsmetaller? Er det økonomisk? (ja, pga. Kina). Resirkulering er teknisk mye vanskeligere når det er små mengder i komplekse produkt eller der den økonomiske verdien er lav (Steiner og Graedel, 2011). Utdfordringen i EU, som i Norge, er å utnytte ressursene i avfallet bedre og så langt som mulig å hindre at avfall blir til (Mathisen, 2012).

Ulemper med resirkulering (Steiner og Graedel, 2011):

- Usikker metallpris
- Vanskelig å beherske (den høye) veksten
- Problemer med å tilpasse seg utviklingen av nye produkt som inneholder økende innhold av komplekse blandinger av materialer
- Vanskelig å beskytte miljøet og menneskers helse mot gifter pga. avfall

Resirkuleringen reduseres av (Steiner og Graedel, 2011):

- Folk kaster avfallet feil; for eksempel EE-avfall i restavfall
- Produktene blir laget så komplisert at de blir vanskelige å ta fra hverandre/fragmentere
- Resirkuleringsteknologien holder ikke tritt med utviklingen ellers

Tre muligheter: Kan bli resirkulert, kan havne i søppelfylling eller kan bli tapt i en syklus til et annet metall (Steiner og Graedel, 2011).

Hva kan gjøres?:

- Hva med et firma per gruppe EE-avfall, som for eksempel mobiltelefoner, vaskemaskiner eller PC? Vanskelig å lage en maskin som skal ta i mot alt fra mobil til kjøleskap.
- Må gi mer info til de som bor i vanlige hjem, ikke alle vet at alt som lyser eller lager lyd er EE-avfall.
- I Trondheim har vi røde bokser for EE-avfall, noe som burde innføres i hele Norge. Eller gi mer info om hvor man kan levere det (Elretur, Renaas, Rema, alle plasser som selger det)
- Mer automatisering
- Mer utvikling innenfor teknologi

Resirkulering vil i hovedsak bestå av tre faser: Innsamling, forbehandling og sluttbehandling. Økt gjenvinningsgrad kan oppnås ved å optimalisere disse prosessene (Gire Dahl, 2012). Når EE-avfallet kommer inn på mottaksstasjonene blir avfallet sortert inn i ulike fraksjoner, eller

2 Teori

varegrupper. Deler som inneholder miljøgifter blir behandlet som farlig avfall, mens resten i stor grad blir gjenvunnet (B. Flem, 2011, personlig kommunikasjon). Returselskapene tar for seg forskjellige typer EE-avfall etter hvilke selskaper de representerer. De forskjellige returselskapene kan altså fokusere bare på en ting, mens WEEE Recycling AS (som vi har hentet prøver hos) tar imot alt av EE-avfall (Gire Dahl, 2012).

Første trinn i prosessen, innsamling, er en forutsetning for resten av prosessen. Dette steget handler mye om logistikkutfordringer og trenger et høyt bevissthetsnivå for å få forbrukere til å returnere utgåtte produkter til resirkulering. Forbrukernes holdninger og gjenvinningsatferd har blitt studert i mange land for å forbedre resirkuleringsprogrammene. De viktigste faktorene som øker gjenvinningsatferden er praktisk/enkelhet og bevissthet om hvor og hvordan man kan resirkulere (Tanskanen, 2012).

Steg to er forbehandling (som for det meste inneholder miljøsanering (se neste avsnitt)), det vil si separering av de forskjellige materialene i et produkt, for så å selge det videre til det tredje steget; resirkulering og gjenvinning av materialer og energi, eventuelt deponering (Tanskanen, 2012). Mekanisk separasjon av komponenter er det første steget resirkulering av EE-avfall. Komponenter kan bli separert for gjenbruk eller brukt i metallurgiske prosesser. Dette kan gjøres automatisk eller manuelt (for hånd). For REE er dette vanskelig da det er så små mengder i hvert produkt og det må gjøres manuelt da det ikke er mulig å gjøre automatisk (Robinson, 2009). Dette går da videre til deponi, forbrenning eller sluttbehandling (Gire Dahl, 2012). Deponi og forbrenning representerer en negativ verdi i resirkuleringssystemet (Gire Dahl og Lyng, 2011).

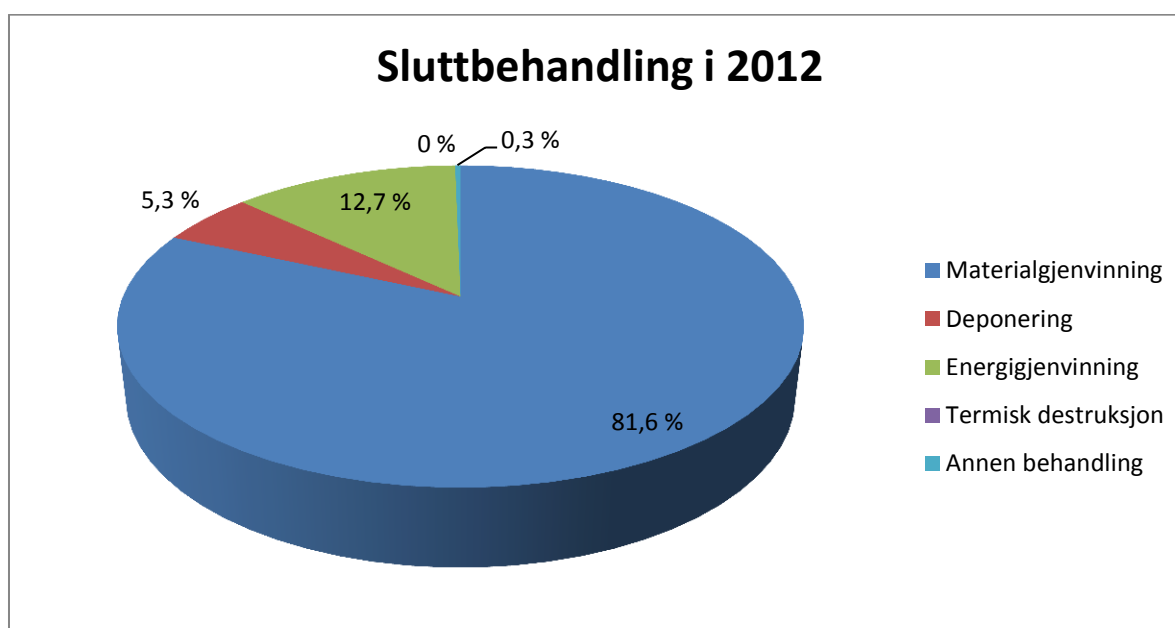
Siden det meste av EE-avfall inneholder helse- og miljøfarlige stoffer må disse fjernes før videre sluttbehandling. Denne prosessen kalles *miljøsanering* (Gire Dahl, 2012). Miljøsaneringen skjer manuelt, dette på grunn av at vi fortsatt mangler sikre og rimelige automatiserte metoder (Gire Dahl og Lyng, 2011). Hos WEEE Recycling er dette eksempler på produkter som blir plukket ut manuelt: Batterier, ledninger og lyspærer (WEEE Recycling, 2012a).

Etter miljøsanering går det meste avfallet i en *shredder*. En shredder er en automatisert metallkvern som knuser avfallet opp i mindre biter (mindre enn 150 mm). Å shredde er å knuse materialet til mindre deler (fraksjoner). I tillegg blir avfallet sortert ved hjelp av magneter som sorterer i to fraksjoner; jernholdige metaller, og ikke-jernholdige metaller og avfall (som plast, gummi og glass). Videre blir de ikke-jernholdige metallene sortert ut fra avfallsstrømmen i et eget anlegg. Målet med denne behandlingen er å sortere ut så mye som mulig av de resirkulerbare materialene og fjerne det farlige avfallet (Gire Dahl, 2012). Etter at de resirkulerbare fraksjonene har blitt sortert blir de fraktet til videre resirkulering. Dette

innebærer som regel sortering og omsmelting til nye råmaterialer ved hjelp av høy temperatur (Gire Dahl og Lyng, 2011). Produktdesignet kan gjøre det andre og det tredje steget lettere eller vanskeligere, og har derfor en innvirkning på resirkuleringskostnader og effektivisering. Hvert steg av resirkuleringsprosessen trenger optimalisering (Tanskanen, 2012).

Undersøkelsen fra Chancerel og Rotter (2009) viser at estimert mengde med gull, sølv og palladium i avfallsstrømmen før behandlingsprosessen, er mindre enn det faktiske innholdet etter at avfallet er blitt behandlet. Chancerel slår også fast at shredding mest sannsynlig har en negativ innvirkning på materialgjenvinningen av verdifulle metaller. Grunnen til dette er at etter shredding kan de verdifulle materialene havne i fraksjoner som ikke går til metallgjenvinning (Gire Dahl, 2012).

58 % av sluttbehandlingen foregår i Norge, mens resten skjer i utlandet, hvor Sverige mottar 23 % (Gire Dahl og Lyng, 2011). Sluttbehandlingen vil som regel forekomme et annet sted enn der forbehandlingen skjer. Etter at materialene blir sortert og separert vil mesteparten materialgjenvinnes. Det som ikke gjenvinnes enten i form av materiale eller energi, vil destrueres i forbrenningsovnene eller deponeres (Figur 16) (Gire Dahl, 2012).



Figur 16: Fordelingen av sluttbehandlingsmetoder for EE-avfall i 2012, basert på tall fra EE-registeret (2012)

I forhold til innsamling er en viktig konklusjon at folk vil begynne å resirkulere hvis de blir gitt riktig informasjon, og at det er lettere for dem å resirkulere. Informasjon og tilgjengelighet er dermed veldig viktig. For de fleste forbrukere er ikke konseptet med resirkulering klart; for de fleste betyr resirkulering at man får en verdi ut av noe som har blitt ubrukelig. Det har

blitt funnet ut at all kommunikasjon rundt resirkulering må være kort og enkel, det må også være følelsesmessig og sosial i stedet for fornuftig (Tanskanen, 2012).

Det er viktig at forbrukeren vet hvor de skal levere produkter som kan resirkuleres. Det handler også om å være tålmodig. Resirkuleringssystemene må være på plass mange år før resirkulering blir en vane. For å øke graden av resirkulering må man tenke på at ikke alle resirkulerings-utfordringene er tekniske problem. Den største hindringen i resirkulering er mangelen på forbrukernes bevissthet om innsamling og gjenvinningsmuligheter, som fører til lav innsamling. Uten å returnere produkter for resirkulering kan man ikke gå videre med de neste stegene. Jo flere muligheter folk presentert for, og jo mer praktisk det er, jo mer sannsynlig er det at folk resirkulerer. Selv om folk er positive til gjenvinningskampanjer, er de underliggende spørsmålene: «Hvor mye innsats må jeg gjøre?» «Hva får jeg ut av det?» (Tanskanen, 2012).

Som nevnt tidligere er en av de viktigste grunnene til ikke å resirkulere gamle mobiler at man har en følelsesmessig tilknytning til den. Det er ganske vanlig at folk liker å lagre gamle mobiltelefoner, fordi det er så mange dyrebare minner knyttet til dem. For å takle dette resirkuleringproblemet startet Nokia en resirkuleringkampanje på Twitter, kalt "I # recycling". Kampanjen utnyttet gamle Nokia-telefoner som Cityman, Nokia 3310, Nokia 8810, Nokia 5110 og Nokia 2760 og ga dem forskjellige personligheter. Mobiltelefonene tvittret om resirkulering for å gjøre det morsomt og interessant, og de ga også praktiske tips om hvor og hvordan du kan resirkulere. I løpet av de tre ukene kampanjen pågikk nådde den 170 000 mennesker på nettet i 44 land og skapte 2800 facebook likes (Tanskanen, 2012).

I mastergraden til Gire Dahl (2012) har det blitt sett på to livsløpsanalyser, der den ene er en oppfølger. Dette for å se om miljøbelastningen i resirkuleringssystemet for EE-avfall (i Sveits) er fordelaktig sett i forhold til alternativene. Alternativene vil være forbrenning, deponering og utvinning av jomfruelig materiale. De sjekker altså hva som skjer hvis man for eksempel sender alt til forbrenning. En livsløpsanalyse er en metode brukt for å kartlegge all ressursbruk og alle utslipp fra ideelt sett alle prosesser som inngår i et produkts livsløp. Et livsløp innebærer følgende prosesser; utvinning av råmateriale, produksjon, bruk, og endelig behandling eller gjenbruk. Man kan også foreta en livsløpsanalyse på deler av et livsløp, som for eksempel avfallsløpet til et produkt (Gire Dahl og Lyng, 2011).

Resultatet fra disse studiene viser at resirkulering er svært fordelaktig sammenlignet med baseline-scenarioene (der man tar for seg at resirkuleringssystemet ikke finnes og at man for eksempel sender alt til deponi eller forbrenning). Dette gjelder også om man sammenligner med å ta ut jomfruelig råmateriale. De største miljøbelastningene (i det sveitsiske systemet) kom fra materialgjenvinning av metaller, etterfulgt av katodestrålerør og plast (der

resirkulering er å foretrekke fremfor forbrenning). Miljøbelastningen fra innsamling og forbehandling er minimale (Gire Dahl og Lyng, 2011).

Selv om mesteparten av miljøbelastningen kommer fra materialgjenvinningen, er miljøbelastningen fortsatt signifikant lavere enn primærproduksjon, dette gjelder særlig for behandling av batterier, metaller, kretskort, elektriske kabler og plast. For disse produktene er miljøbelastningen opp til fem ganger så lav som primærproduksjonen. Dette skyldes i stor grad innholdet av sjeldne og verdifulle metaller (særlig i kretskort). For katodestrålerør er miljøbelastningen bare marginalt mindre enn fra primærproduksjon (Gire Dahl og Lyng, 2011). Konsentrasjonen av enkelte verdifulle metaller i EE-avfall kan være langt (40 ganger) høyere enn i drivverdige gruver. Livsløpsanalyser viser at urban mining kan være opptil fem ganger så miljøeffektivt (Gire Dahl, 2012).

Finland, Tyskland og Spania er rapportert å være de største innenfor resirkulering, i form av produkter som vanligvis blir resirkulert. Av de 11 landene i en forbrukerundersøkelse utført av Nokia rapporterte De Forente Arabiske Emirater, Nigeria og Indonesia at de resirkulerer minst. Samlet hadde utviklede land mer kontroll på ulike materialer og grunnstoffer som kan gjenvinnes enn utviklingsland, og de hadde også en tendens til å resirkulere mer. Utviklingsland har færre resirkuleringskanaler tilgjengelig, og det betyr at det ikke er så praktisk å resirkulere som det er i mange utviklede land (Tanskanen, 2012).

For sjeldne jordartsmetaller burde vi se nærmere på (Carlin, 2012):

- Ha en beholdningsoppdatering
- Hvordan blir det i framtiden? Hvilke materialer får vi i framtiden?
- Hva skjer etterpå? Forbrenning?
- Systemanalyse; sortering, behandling, hvordan gjøre gjenvinning bedre?
- Offline og online metoder. Analysemetoder og sensor sorteringsteknologier
- Mer forskning på batterier
- Forberedt på det som kommer i EU

Løsninger for framtiden (Carlin, 2012):

- 100 % gjenvinningsgrad er ikke mulig å ha som mål
- Større og større grad av gjenvinning
- Verden rundt oss begynner å ta oss igjen, mer og mer fokus på det
- Trinnvis prosess, ny teknologi
- Tjene penger, økonomisk lønnsomt
- Myndigheter, legge ting til rette slik at vi skal få økt grad av gjenvinning
- Mer og mer automatisk sortert, mer og mer teknologi
- Gjenvinningsbransjen har utviklet seg mye
- Utfordring: mer komplekse produkter som vi da skal greie å gjenvinne
- Store firmaer i dag, kanskje mindre firmaer som kan gjøre det på bedre måter?

Öko-Instituttet i Freiberg, Tyskland, foreslår utviklingen av en returordning basert på følgende trinn for storskala gjennomføring (Schüler et al., 2011):

- Et europeisk kompetansenettverk på sjeldne jordartsmetaller med alle relevante aktører som gjenvinnere, produsenter, myndigheter, politikere og forskere er sett på som avgjørende for en vellykket gjennomføring
- Grunnleggende forskning er nødvendig, da bare noen få selskaper i Europa er involvert i sjeldne jordarts-raffinering og prosessering.
- En europeisk material flow analysis (MFA) er nødvendig for å identifisere den viktigste material strømmen, avfall strømmen og de viktigste produsentene og aktører. Foreløpig må nasjonale forskningsinstitusjoner stole på kunnskap og estimater fra noen få eksperter utenfor Europa.
- Det neste trinnet er å identifisere opprinnelige avfallsstrømmer på pre-forbruker og postforbruker nivå, for eksempel avfall fra magneter og lys-industri, neodym-magneter fra elektriske motorer, brukte lamper og skjermer, gjenbruk av store magneter og gjenvinning av brukte katalysatorer.
- Innsamling og behandlingen av mange relevante avfall er allerede regulert gjennom The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (WEEE direktivet), EU End of Life Vehicles Directive (ELV) og EU Battery Directive. Innsamlingen av avfall som inneholder sjeldne jordartsmetaller må spesifiseres og integreres i eksisterende innsamlingsordninger.
- Stor-skala R&D (forskning og utvikling) prosjekter kan utvikle pilotanlegg, for å lære om komplekse kjemiske prosesser og det nødvendige avanserte utstyret.
- Gjenvinningsanlegg har høy finansiell risiko på grunn av den nødvendige store investeringen og den høye usikkerheten i forhold til fremtidens prisutvikling av

sjeldne jordartsmetaller. Derfor bør det analyseres hvorvidt European Investment Bank (EIB) vil kunne redusere finansiell risiko for investeringer i resirkulering. På grunn av komplekse prosesser for å gjenvinne REE vil det ikke være økonomisk gunstig hvis prisene minker igjen, som for eksempel ved at det åpnes flere gruver eller at Kina eksporterer mer. Økonomisk risiko burde dekkes også i Europa, i Japan og USA blir risikoen dekt nå.

- En returordning av sjeldne jordartsmetaller krever ikke bare riktig logistikk og tekniske krav, men også et passende lovverk. Dermed vil et viktig skritt være å tilpasse den juridiske EU-rammen for å optimalisere sjeldne jordartsgjenvinning.

2.4.2 Teknologi for resirkulering av REE

Det har blitt gjort en betydelig mengde forskning på resirkulering av sjeldne jordartsmetaller, spesielt i Japan (Schüler et al., 2011). De har ikke egne mineralske råstoffer og er dermed kommet lengst i arbeidet med materialgjenvinning av sjeldne jordartsmetaller (Ottesen et al., 2013). Resultatet av forskningsaktiviteten er at det er potensielt et antall utvinningsprosesser, men ingen av dem har blitt utviklet kommersielt grunnet ulemper med utbyttet og kostnader. Den mest attraktive metoden er behandlingen av flytende metaller, (se nedenfor). De hevder videre at de fleste patentene er fra tidlig 1990-tallet og at lite fremgang har blitt gjort i de siste 15 årene. Derfor ser de et potensial for ytterligere nye utviklinger (Schüler et al., 2011).

I Japan finnes det en resirkuleringsfabrikk, som smelter gamle elektronikkdelene til en flytende «stuing» der man kan utvinne dyrebare metaller og andre mineraler som indium, gull, sølv, antimon, neodym, dysprosium og andre REE (Gire Dahl, 2012). I desember 2010 annonserte Hitachi at de har utviklet teknologi for resirkulering av utvalgte EE-avfall. Hitachi hevder å ha utviklet en prosess som ikke er våtkjemisk – dvs. at de unngår prosessvannproblematikken i forhold til miljøet (Ottesen et al., 2013). Et annet Japansk firma planlegger å opprette en virksomhet som kan utvinne REE fra malmrester fra urangruver (Gire Dahl, 2012).

I Norge har Sintef i 2012 startet et prosjekt som ser på resirkuleringsmetoder for REE. Målet er å hindre at materialmangel skal ramme den grønne energi-satsningen. For å hindre at produksjonen av vindmøller og miljøbiler skal bremses opp, blir det et viktig første-tiltak å gjenvinne sjeldne jordartsmetallene fra skrap. SINTEF har valgt å se på teknologi som er kjent fra aluminium- og smelteverksindustrien, der høytemperaturolektrolyse er en prosess som tilsvarende den som brukes i aluminium-fremstilling. Metallurgiske prosesser gir metallene i form av oksider. De ser på det viktigste produktet som inneholder REM: permanente

magneter. I disse magnetene inngår neodym, praseodym og dysprosium, og nettopp disse magnetene brukes i vindmøller og i miljøbiler (Tønseth, 2012).

Resultatene fra gjenvinningsforsøk SINTEF har gjort i lab-skala er lovende, men prosessen er fortsatt treg og mye må optimaliseres før det kan fastslås om det er mulig. Men hvis de lykkes vil de ha en metode som er mye enklere enn alternativet som er basert på bruk av sterke syrer. Bruk av kjemikalier for å gjenvinne er også prosesser som er vanskelig å kontrollere (Tønseth, 2012).

Det er mange utfordringer, blant annet innsamling og demontering av brukte magneter. Magnetene må demagnetiseres lokalt (langtransport av intakte permanentmagneter er nemlig forbudt). Det vil også ta en stund før vrakede miljøbiler kan bidra som en kilde (Tønseth, 2012). Oppfordring fra SINTEF forsker: Det brukes masse penger på å forske fram nye batterityper. Når disse utvikles; husk også på å sette av penger til forskning som bringer gjenvinningsaspektet inn allerede når de nye batterimaterialene designeres (Tønseth, 2012).

Det er estimert at 20-30 % av magnetene skrotes under produksjon, men det har ikke blitt sett på resirkulering av dette. Mulige teknologier er som følger (Schüler et al., 2011):

- Omsmelte skrapet og gjenvinne i en ikke-oksiderende tilstand
- Gjenvinning av REE som oksider. Verdien av oksidene i stedet for metallet er mye lavere, dette fordi oksidene må gjennomgå energiintensiv reduksjon og raffinering prosesser
- Gjenbruk av magnetene til nye magneter uten å skille materialblandingen
- Selektiv utvinning av neodym og dysprosium direkte fra magnetskrap

2.4.3 Innsamling av EE-avfall i Norge

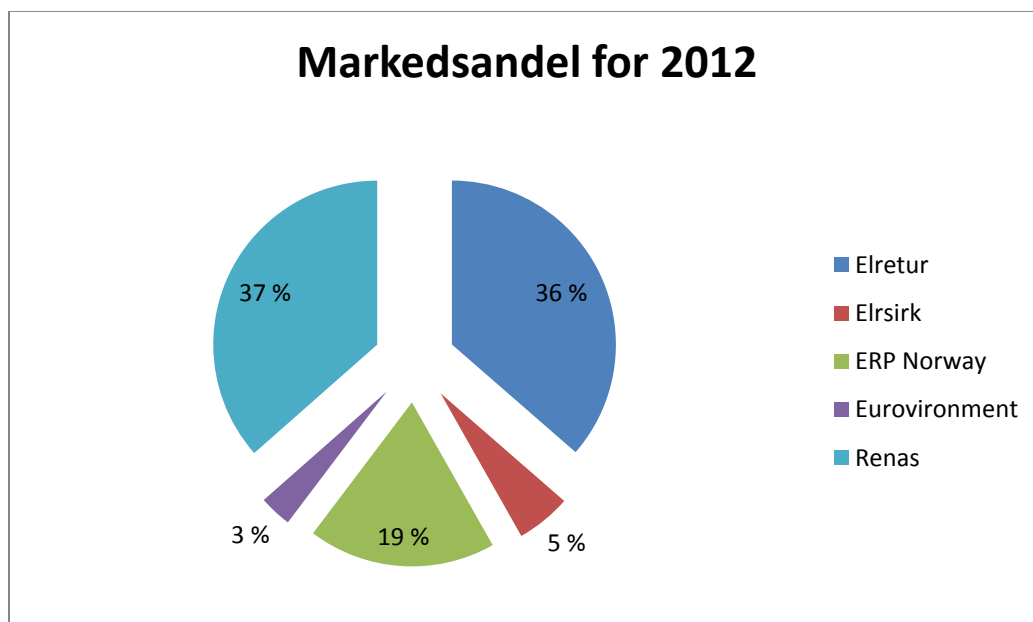
Returordningen for EE-produkter styres av kapittel 1 i avfallsforskriften (Lovdata, 2004). Avfallsforskriften trådte i kraft i 1999. Den pålegger produsenter og importører å sørge for innsamling og forsvarlig behandling av EE-avfall, for å hindre spredning av miljøskadelige stoffer. Forhandlere av EE-produkter plikter å ta imot kasserte produkter av tilsvarende kategori som de selger. Klif (Klima- og forurensningsdirektoratet) kontrollerer at forskriften følges opp i bedriftene den gjelder (Ottesen et al., 2013).

Produsenten er den som må sørge for at det finnes et innsamlingsystem for den eller de varene de produserer og selger. For å oppfylle denne forpliktelsen har EE-bransjen organisert seg i kollektive returselskaper. Disse returselskapene tar på seg ansvaret for innsamlingen og håndteringen av EE-avfallet. Returselskapene har forpliktet seg til å samle inn 80 % av EE-avfallet som oppstår hvert år (Gire Dahl, 2012). I 2010 var det en avfallskrise

der det ble hentestopp. De fire returselskapene som da fantes mente de hadde samlet inn det de skulle samle inn for 2010 og stoppet dermed innsamlingen. Dette skriver klif: «EE-bransjen har selv ansvar for å samle inn og håndtere EE-avfall, og alle produsenter av EE-produkter plikter å være medlem i et returselskap for EE-avfall». Så lenge regelverket blir fulgt burde ikke dette være et problem (Nilsen, 2010). På Elretur sine nettsider skriver direktøren, Stig Ervik at lovverket tillater at slike avfallskriser med hentestopp kan skje, og derfor må forskriften som regulerer dette nå endres (Elretur, 2010). Kommunene har etter forskriften plikt til å ta imot EE-avfall fra husholdningene og rett til å få dette hentet av et returselskap (Jentoft, 2010). Avfall Norge beklager at det ikke ser ut til å bli en landsdekkende henteplan for EE-avfall fra kommunene i 2013. Returselskapene signaliserer imidlertid at situasjonen for to år siden ikke vil skje igjen (Halaas, 2012). I dag er det fem norske kollektive returselskaper for EE-avfall som har godkjenning fra Klif (Gire Dahl, 2012);

- Elretur AS
- ERP Norway AS
- Euroenvironment AS
- Elsirk AS
- Renas AS

I 2012 var markedsandelen delt slik at Elretur og Renas var de to største (Figur 17).



Figur 17: Oversikt over markedsandel til de ulike returselskapene for 2012, basert på tall fra EE-registerets årsrapport (2012)

2 Teori

Innsamling kan skje via bringeordning, henteordning eller post. Henteordning og innsamling via post har større logistikk-kostnader enn en bringeordning. Henteordning er en lettvin løsning for abonnenten, da den krever lite innsats. Dette er den viktigste faktoren for å forbedre innsamlingsgraden, sammen med informasjon og promotering (Gire Dahl, 2012).

Retursystemet for EE-avfall er kanskje det mest kompliserte innsamlingssystemet i Norge. EE-avfall består av en rekke ulike komponenter, både når det gjelder form, størrelse og kompleksitet. Det vil for eksempel være forskjellige krav til logistikk, sikkerhet og sluttbehandling når et kjøleskap skal inn i retursystemet, i motsetning til en lyspære eller ett batteri. I tillegg må retursystemet forholde seg til stadige produktforandringer, som når den blyholdige tjukkask-TV'en skal byttes ut med en LCD-TV som inneholder kvikksølv (Gire Dahl, 2012).

Siden bringeordningen for EE-avfall ikke er valgfri, men et lovpålagt minimumskrav, så vil alle kommuner ha en bringeordning uavhengig av andre innsamlingsløsninger som finnes for husholdningsavfall. Det finnes også utvidet bringeordning, ved at man har flere mottakssteder for EE-avfall enn bare hovedmottaket for kommunalt avfall. Disse mottaksstedene kan være betjente eller ubetjente (Gire Dahl, 2012).

Rød boks-ordningen er en ordning der du har en rød boks i husstanden som du fyller opp med EE-avfall (SE-avfall og farlig avfall). Rød boks-ordning finnes i flere kommuner i Norge (Gire Dahl, 2012). I Trondheim blir disse røde boksene hentet på døra to ganger i året (bortsett fra de som bor i Midtbyen hvor det settes ut egne kontainere til innsamling (Trondheim Kommune, 2012)). Rundt om i Norge finnes det flere forskjellige måter å gjøre dette på. Det kan for eksempel være at den røde boksen ikke blir hentet, men at du som husstand må levere den selv på mottak for farlig avfall. Det finnes også kommuner som henter 1 gang i året, eller til og med henter det samtidig med restavfallet eller etter behov. Denne røde boksen kan være for både SE-avfall og farlig avfall, mens i noen kommuner er den bare for farlig avfall. Fra 2012 tilbyr Follo Ren sortering av SE-avfall i egne rosa beholdere (Gire Dahl, 2012).

Resultatene i mastergraden til Gire Dahl (2012) viser at det ikke er noen klar sammenheng mellom innsamlingsgraden av EE-avfall og kommuner som tilbyr henteordninger. Denne mastergraden viser videre at det virker som om innsamlingsgraden i større grad skyldes informasjon og promoteringsvirksomhet. Ordningen med røde bokser kan være en faktor som bidrar til økt innsamlingsgrad, ved at det letter levering til kommunale avfallsmottak.

Basert på 28 plukkanalyser av restavfallet som Elretur gjorde i perioden 2009-2011 er det blitt estimert at 1,32 % av restavfallet består av EE-avfall. Dette er da bare testet for

kommuner med rød boks-ordningen. Er dette tallet høyere for de uten rød boks-ordningen? (Gire Dahl, 2012). Det finnes ingen plukkanalyser av hva som puttes i de røde boksene, så dette er det vanskelig å si noe om. Men det virker sannsynlig at husstander med rød boks-ordning i større grad unngår å kaste EE-avfall i restavfallet, og heller benytter den røde boksen. Fra plukkanalysene kan vi se at det er en stor andel av lyspærer og batterier som kastes i restavfallet. I en undersøkelse blant innbyggere i Oslo oppgir 3 % at de har kastet mobiltelefonen i restavfallet. I en spørreundersøkelse gjort av elektronikkbransjen fremgår det at 11 % av SE-avfallet havner i restavfallet (Gire Dahl, 2012).

Det er viktig med holdningskampanjer, riktig informasjon og brukervennlighet for å øke innsamlingsgraden av EE-avfall. Man burde blant annet være flinkere til å informere studenter. Ikke alle studenter (som gjerne flytter til et nytt sted) vet om hvilken ordning som finnes der. Se for eksempel her i Trondheim; de fleste jeg kjenner har ikke hørt om den røde boksen og i alle fall ikke brukt den (den står gjerne gjemt i en kjeller eller man har en felles for hele borettslaget). Der jeg kommer fra, Sunndalsøra, har vi ikke denne ordningen og det var bare pga. informasjon fra min veileder, Rolf Tore Ottesen, at jeg fikk øynene opp for den røde boksen. Der jeg kommer fra har jeg derimot sett at blant annet Rema 1000 har Elretur sine mottaksbokser for batteri og lyspærer, noe som er veldig bra. Hvis den røde boks-henteordningen ikke blir brukt, er det likevel mulig at den røde boksen benyttes til oppbevaring for så å tømme den selv (Gire Dahl, 2012). Tabell 4 viser innsamlet EE-avfall per produktgruppe i 2012.

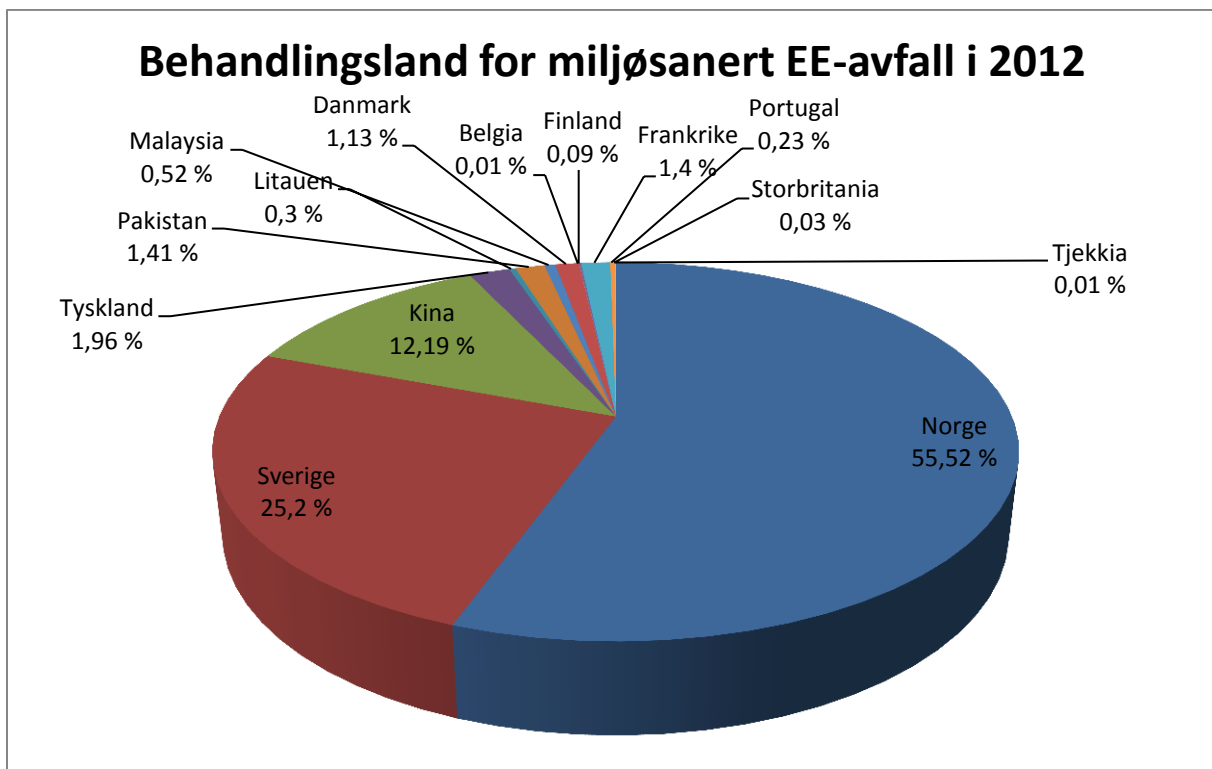
2 Teori

Tabell 4: Innsamlet EE-avfall per produktgruppe i tonn i Norge i 2012, basert på tall fra EE-registerets årsrapport (2012)

Produktgruppe	Totalt innsamlet	Prosentandel
Store husholdningsapparater	43 795	30,46 %
Kuldemøbler	16 896	11,75 %
Andre store husholdningsapparater	26 899	18,71 %
Små husholdningsapparater	5 141	3,57 %
Databehandlings-, telekommunikasjons- og kontorutstyr	16 668	11,59 %
Datamonitorer	2 444	1,70 %
Annet databehandlings-, Telecom	14 224	9,89 %
Lyd og bildeutstyr	17 556	12,21 %
Fjernsynsapparater	10 246	7,12 %
Annet lyd- og bildeutstyr	7 311	5,08 %
Belysningsutstyr	7 975	5,55 %
Lyskilder	907	0,63 %
Elektrisk og elektronisk verktøy	9 098	6,33 %
Leker, fritids- og sportsutstyr	458	0,32 %
Medisinsk utstyr	703	0,49 %
Overvåkings- og kontrollinstrumenter	2 150	1,50 %
Overvåkings- og kontrollinstrumenter (røykvarslere)	20	0,01 %
Overvåkings- og kontrollinstrumenter	2 130	1,48 %
Salgsautomater	472	0,33 %
Kabler, ledninger	16 689	11,61 %
Elektronisk utstyr	14 026	9,75 %
Fastmontert utstyr for oppvarming, aircondition og ventil	8 153	5,67 %
Sum innsamlet	143 790	100 %

2 Teori

Elektronikkbransjen har i 2011 gjennomført en forbrukerundersøkelse der det ble estimert at husholdningene til sammen har 130 millioner SE-produkter og at 9 millioner kastes hvert år. Av disse blir noe kastet i husholdningsavfallet, mens en stor del leveres til kommunale gjenvinningsstasjoner og til forhandler (Gire Dahl, 2012). I 2012 ble det rapportert inn en total mengde innsamlet EE-avfall på 142 928 tonn. Dette er en nedgang på om lag 4000 tonn fra året før, noe som tilsvarer ca. 3 % nedgang. I 2012 var gjennomsnitt per innbygger i Norge på 29,2 kg. Dette er en liten nedgang fra 2011 da det ble samlet inn 29,9 kg EE-avfall per innbygger. I 2009 var innsamlet gjennomsnittsmengde på 31,5 kg. I 2012 ble 81,6 prosent av EE-avfallet materialgjenvunnet og 12,7 prosent energigjenvunnet, mens i 2011 var materialgjenvinningen 84 prosent og energigjenvinning 10 prosent. Miljøsanert EE-avfall ble i 2012 sluttbehandlet i totalt 14 land (Figur 18). Sverige er det største behandlingslandet etter Norge (EE-registeret, 2012).



Figur 18: Fordelingen av land som sluttbehandlet miljøsanert EE-avfall i 2012, basert på tall fra EE-registeret (2012)

2.4.4 Mobiltelefon som eksempel på resirkulering

I 2011 ble det solgt 2,25 millioner mobiltelefoner i Norge, mens bare ca. 50 000 blir innsamlet hvert år (altså ca. 2-3 %). I Norge skifter vi i gjennomsnitt ut mobiltelefonen etter to år (Gire Dahl, 2012), mens den har en levetid på 4 år (Norges høyesterett, 2007). GreenMobile anslår at det finnes over 10 millioner brukte mobiltelefoner i skuffer og skap i private hjem og hos bedrifter. En ny undersøkelse fra Opinion Perduco viser at to tredjedeler av nordmenn over 18 år har en smarttelefon. 44 prosent har aldri resirkulert mobiltelefonen sin; her er det et enormt potensiale (Heggelund, 2012). En undersøkelse gjort av Norstat for Telenor viser at 71 prosent av østlendingene har minst én kassert mobiltelefon, mens 29 prosent har minst tre gamle mobiltelefoner (Moss Avis, 2012).

Det første mobiltelefon-resirkuleringsprogrammet i Europa startet på slutten av 90-tallet. I dag tilbyr Nokia resirkuleringsprogrammer for mobiltelefoner i nesten 100 land. Resirkulering av mobiltelefon er definert som å bryte ned mobilen til sine sammensatte deler til gjenbruk i produksjonen av nye produkter (Tanskanen, 2012).

Elektroniske og elektriske produkter har ulike gjenvinningsprosesser. For mobiltelefoner er prosessen i Norge slik (Ottesen et al., 2013):

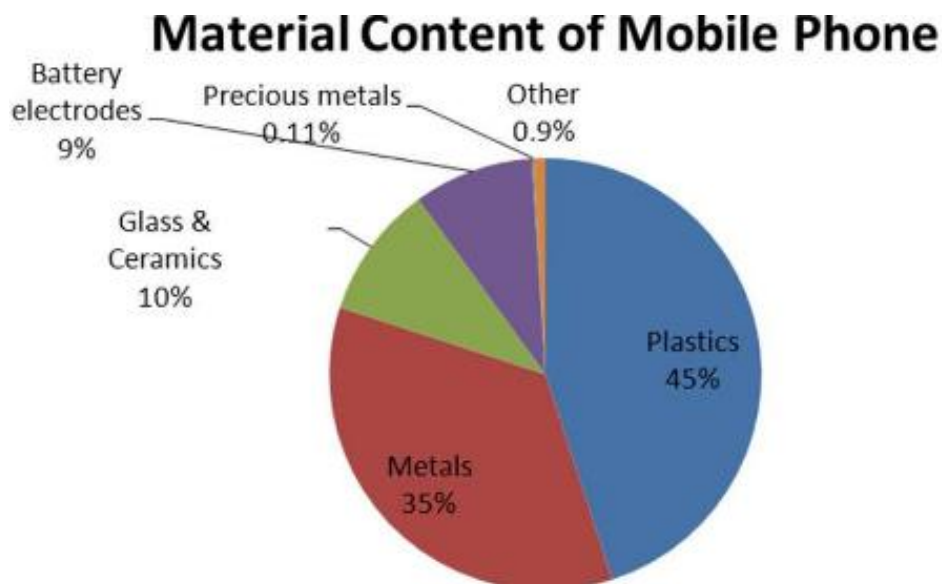
1. Batteriet fjernes manuelt
2. Resten av mobiltelefonen går i en kjele sammen med kretskort. Der smeltes plasten. Plasten utvikler sterk varme, brukes som brensel og brenner opp
3. På bunnen av kjelen ligger det igjen en metallklump, som kan bestå av kobber, gull, palladium og sølv
4. Metallklumpen senkes i et elektrolysebad, kobberatomene setter seg fast på katodeplatene
5. Kobberet skrapes av og smeltes. Det blir laget kobberbarrer som selges videre
6. Edelmetallene separeres ytterligere, og blir til slutt solgt som nye råvarer
7. Ladere og ledninger blir også tatt fra hverandre, slik at plast og metall kan gjenvinnes.

Batteriene tas altså ut og de blir fraktet til Batteriretur i Sarpsborg, og videre til sluttbehandling i Belgia. Selve mobiltelefonen transporteres til sluttbehandling hos New Boliden i Sverige (Gire Dahl, 2012). Det eksisterer altså et velfungerende system for gjenvinning av batterier i Norge, som inneholder bly, nikkel/kadmium, nikkelhydrid og kvikksølv (Batteriretur AS). For moderne nikkelhydrid- og litium systemene er ikke gjenvinningsteknikkene kommet langt nok, og de sjeldne jordartsmetallene har ikke blitt gjenvunnet. I juni 2011 annonserte derimot Umicore og Rhodia at de sammen har utviklet en metode for resirkulering av REE fra NiMH-oppladbare batterier. Prosessen kan benyttes for

alle NiMH-batterier fra bærbare applikasjoner til batterier i elektriske biler (Ottesen et al., 2013).

Det har vist seg at for produkter som inneholder relativt høye mengder av edelmetaller, som for eksempel mobiltelefoner, vil separat innsamling og behandling, som til og med inkluderer høye kostnader for logistikk, bringe høyere miljømessig og økonomisk verdi. For produkter som inneholder ca. 250 mg/kg gull og 150 mg/kg palladium er egen innsamling alltid mer miljøeffektiv enn å blande disse produktene. En forutsetning for beregningen er at innsamlingsmengdene er store nok, dvs. noen tonn i stedet for noen hundre kilo. Med bruk av resirkuleringsteknologier, kan 100 % av materialene i mobiltelefon resirkuleres og gjenvinnes som materiale eller energi (Tanskanen, 2012).

Til sammen utgjør metaller omtrent 35 % av en mobiltelefon, hvor kobber dominerer (Figur 19) (Tanskanen, 2012). 1 tonn mobil inneholder 150 g gull, 100 kg kobber, 3 kg sølv, platina, ruthenium, indium og vismut (Ottesen et al., 2013). Men økonomisk sett er gull helt avgjørende for resirkuleringen, og utgjør 70 % av inntektene. Sammen med kobber, sølv og palladium, utgjør de fire metallene 95 % av inntektene fra resirkuleringen av mobiltelefoner. Mobiltelefoner er en av de mest verdifulle fraksjonene i EE-avfall, der gevinsten i hovedsak skyldes gjenvinningen av gull og sølv (Gire Dahl, 2012).



Figur 19: Materialinnhold i mobiltelefoner (Tanskanen, 2012)

Fra en forbrukerundersøkelse, gjort av Nokia i 2007, ble det funnet ut at til tross for det faktum at husholdningene i gjennomsnitt har eid rundt fem mobiltelefoner, har svært få av disse blitt resirkulert når de ikke lenger er i bruk. Nesten halvparten av forbrukerne var uvitende om at det er mulig å resirkulere en mobiltelefon. To tredjedeler sa at de ikke visste hvordan de skal resirkulere en uønsket enhet og 71 % var ikke klar over hvor de skal gjøre dette. Bare 3 % sa de hadde gjenvunnet sin gamle mobiltelefon. Undersøkelsen er basert på intervjuer med 6500 personer i 13 land, inkludert Finland, Tyskland, Italia, Russland, Sverige, Storbritannia, De Forente Arabiske Emirater, USA, Nigeria, India, Kina, Indonesia og Brasil, og i den andre studien ble også Argentina, Spania og Nigeria inkludert, men ikke Sverige, Brasil, Italia og Russland. I 2011 sa 9 % av de spurte at de hadde resirkulert sin siste mobil, dette er en økning fra 2007 på 6 prosentpoeng (Tanskanen, 2012).

Forbrukerstudie av Nokia viser at mindre enn 10 % av mennesker har resirkulert sine gamle mobiltelefoner. De fleste av de ubrukte mobiltelefonene er fremdeles hjemme, noe som gjør resirkuleringspotensialet stort. Mangelen på bevissthet om at resirkulering er mulig og kunnskap om eksisterende resirkulerings-programmer og steder er de viktigste hindringene for forbrukerne. Dette betyr at den første utfordringen i å motivere folk til å resirkulere elektronikk er å få dem til å forstå at det er mulig, og vise hvordan det kan gjøres. For Nokia er målet med resirkuleringskampanjer for mobiltelefoner å øke forbrukerens bevissthet på resirkuleringsmulighetene (Tanskanen, 2012).

Det er fire steg for å bygge opp et resirkuleringsprogram (Tanskanen, 2012):

- Innføre resirkulering i nye markeder
- Bygge opp en infrastruktur
- Utvide programmet og bygge partnerskap (samarbeide)
- Datainnsamling og forstå forbrukernes gjenvinningsoppførsel

Måter å få folk til å resirkulere (Tanskanen, 2012):

- Informasjon (radio, reklame på TV, reklame-plakater, nettsider, avisannonser)
- Resirkuleringsbokser (permanente innsamlings punkter) (Figur 20) gir også informasjon og kan gjerne stå i nærheten av andre innsamlinger som plast, metall og glass. De må i alle fall stå en plass som er lett tilgjengelig, i Norge finnes de for eksempel på Rema 1000
- Postkonvolutter (fungerer veldig bra for små EE-avfall som mobiltelefoner)
- Muligheter for å vinne en ny mobil
- At organisasjoner (her Nokia) planter ett nytt tre for hver mobil som blir levert inn

2 Teori

- At organisasjoner donerer penger til klimaprogrammer for hver mobiltelefon som blir levert inn
- At man kan få gratis nedlastning av spill, musikk og lignende for hver mobiltelefon som blir levert inn
- Ikke bare private, men også firma

16 % av de som har vært med i kampanjene har svart at de ikke trenger bestikkelser for å resirkulere, det viktigste er tilgjengeligheten. I tillegg til mobiltelefoner, blir også batteri, ladere og plastikkdeksel levert inn. Dette indikerer at forbrukere har beholdt disse tingene ventende på en riktig og enkel måte å bli kvitt det på. Så kanskje ikke så mye havner i restavfallet allikevel (Tanskanen, 2012)?



Figur 20: Resirkuleringsbokser for mobiltelefoner (Tanskanen, 2012)

Pant Mobilen er et nytt firma i Norge. Dette er en ordning som betaler deg for å levere inn din brukte mobiltelefon, selv om den ikke fungerer får man penger for den (halvpris). De mobilene som ikke er mulig å reparere betaler de selvfølgelig ikke for. Hos Telenor kan man få 35 kr for en brukt mobil. Disse mobiltelefonene blir gjerne solgt videre til for eksempel Afrika eller Asia, noe som fører til at vi «mister» verdifulle og sjeldne stoffer (Carlsen, 2012).

Resirkulering av mobiltelefoner resulterer i store miljøgevinster ved å erstatte utvinning av jomfruelig materiale, nærmere bestemt en netto gevinst på 823 gram CO₂-ekv. per mobiltelefon. Selv om henteordningene har relative store utslipp, i forhold til resten av

innsamlingsprosessen, så oppnås det fortsatt en stor klimagevinst totalt sett. Med andre ord kan det forsvares å ha et omfattende transportarbeid for å hente inn mobiltelefoner, før den totale CO₂- gevinsten av behandlingen utlignes (Gire Dahl, 2012). Sannsynligvis gjelder dette annet EE-avfall også (R. T. Ottesen, 2013, personlig kommunikasjon).

2.5 Urban mining VS gruvedrift

2.5.1 Generelt

Den voksende etterspørselen etter EE-produkter har bidratt til en stadig større knapphet på metaller, som igjen fører til høyere råvarepriser. Utvinning (gruvedrift) av disse metallene koster samfunnet mye både i form av penger og skader på miljøet. Det samme gjelder dersom EE-avfallet ikke blir håndtert på en god måte - men heller kastes i restavfallet eller blir brent i anlegg uten tilstrekkelig tiltak for å minimere utslipp. På grunn av dette har det oppstått en stor interesse for resirkulering av EE-avfall. I stedet for å fokusere på de ressursene som ligger under bakken, har man heller fokusert på de ressursene man har over bakken (Gire Dahl og Lyng, 2011).

Mange hindringer finnes for resirkuleringsprogrammer generelt, hvorav noen er uunngåelig. Noen sjeldne jordartsmetaller blir rett og slett brukt opp, og forsvinner, så det er ikke noe igjen å resirkulere. Resirkulering og gjenvinning av de sjeldne jordartsmetallene er ikke et område som har hatt mange teknologiske gjennombrudd, så teknologien eksisterer kanskje ikke enda engang. De metallene, som minst sannsynlig forsvinner, brukes ofte i produkter som er forventet å vare i mange år som biler, solcellepaneler og vindmøller. Resirkulering, når det er mulig, er åpenbart en miljøvennlig metode for å hente noen sjeldne jordartsmetaller. Men det kan ikke gjøres i stort nok volum og for noen metaller ikke i det hele tatt, for å erstatte gruvedrift eller erstatte import fra Kina (Trigaux, 2012).

Resirkulering av sjeldne jordartsmetaller har flere fordeler i forhold til bruken av primære ressurser (Schüler et al., 2011):

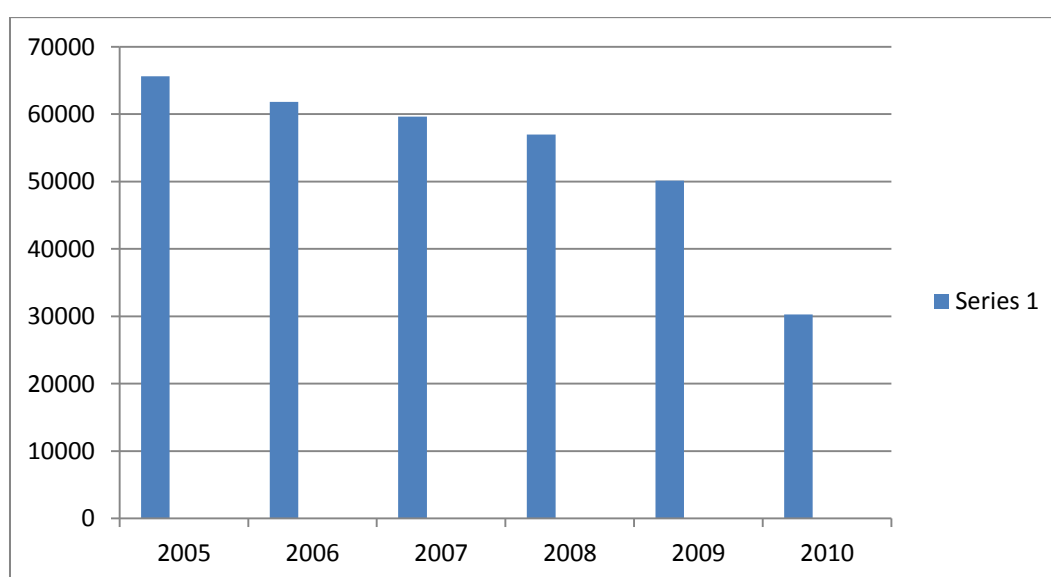
- Europa er en av de globalt store forbrukere av sjeldne jordartsmetaller. Det er økende mengder av avfall fra produkter som inneholder sjeldne jordartsmetaller i Europa. Disse verdifulle ressursene skal returneres ved urban mining.
- Avhengigheten av utenlandske ressurser vil bli redusert, ved å tilføre det europeiske markedet med sekundære sjeldne jordartsmetaller.
- Bortsett fra noen få spesialiserte bransjer og bruksområder, vet vi lite om behandling av sjeldne jordartsmetaller i Europa. Ved å vite mer innenfor resirkulering av disse sjeldne jordartsmetallene vil vi utvide kompetansen til bedrifter og vitenskapelige institusjoner.

2 Teori

- Behandlingen av sekundære sjeldne jordartsmetaller vil være fri for radioaktive forurensninger. Gruvedrift og videre behandling av primære sjeldne jordartsmetaller involverer i de fleste tilfeller kjernefysisk stråling som kommer fra radioaktive grunnstoffer i naturlige forekomster (uran og thorium).
- Resirkulering krever en del energibærere og kjemikalier. På den andre siden sparer det betydelige mengder energi, kjemikalier og utslipp. Det er forventet at de fleste resirkuleringsprosessene vil ha en høy netto-nytte i forhold til utslipp til luft, beskyttelse av grunnvann, forsuring, overgjødning og klimavern.

Gruvedrift ligger etter i forhold til økningen i etterspørsel (Paul og Campbell, 2011). Den globale etterspørsel på rundt 120 000 t REO i 2008 ventes å øke opp til 170 000 - 200 000 tonn i 2014 og vil fortsetter å stige i årene etter 2014 med tilsvarende vekstrate (Figur 1). Etterspørselen etter alle bruksområder er forventet å øke betraktelig på kort og mellomlang sikt. Av disse bruksområdene, er det høyest anslått vekstrate for permanente magneter (spesielt for bruk i vindturbiner, hybrid/elektriske biler og harddisker). Grunnen til at etterspørselen vil øke også etter 2014 er at mange av anvendelsene er high-tech-anvendelser som hybridbiler, vindmøller og energieffektiv belysning som enda bare er i startfasen (Schüler et al., 2011).

Kina har 97 % av den globale tilførselen og har gjort store kutt i eksporten (Figur 21), tilsynelatende for å beskytte sin egen industri. Dette er beskrevet nærmere i avsnitt 2.2.20. REEs naturlige reserver er konsentrert i få land (Kina, Brasil, USA, Russland og Kongo), noe som fører til at EU er svært avhengig av import av REE. Mange av disse REE har veldig få fungerende erstatninger og lav gjenvinningsgrad (Massari og Ruberti, 2012).



Figur 21: Eksport fra Kina i perioden 2005-2010, basert på tall fra Kingsnorth (2010)

Tradisjonell gruvedrift har en rekke miljøutfordringer knyttet til kjemikaliebruk og avgangsmasser. Disse avgangsmassene må håndteres riktig for å unngå spredning av radioaktive partikler til vassdragene, grunnvannet, beiteområder og eventuelle boligområder i gruvenes nærområder (Ottesen et al., 2013). De fleste anlegg har ikke tilstrekkelige renseanlegg. Noen av de små REE smelte- og separasjonsverkene har ikke noe system for miljøovervåkning i det hele tatt. Ved siden av konsekvenser gruvedrift har på miljøet, innebærer gruvedrift også samfunnsmessige konsekvenser som må vurderes nøye under planlegging og realisering av gruveprosjekter (Schüler et al., 2011).

Før ble alt avfallsvannet (spillvannet) sluppet ut i havet, men nå er ikke denne prosessen akseptert. I likhet med dette må inntak av toksiske avgangsmasser i naturlige vannforekomster også bli forbudt og må oppfylle eventuelle miljøkrav (Schüler et al., 2011). Et eksempel er Grønland, der det sjekkes om man får startet opp gruver. Det som er en vesentlig forskjell fra andre gruver er at på Grønland finnes det høyt innhold av HREE. Men derimot er det problem med hva de skal gjøre med avfallsmassene, der den eneste muligheten egentlig er å deponere det i den nærmeste innsjøen. Dette vil da føre til forurensninger i selve innsjøen, men også i elvene rundt og sjøen. Disse forurensningene vil være radioaktive stoffer, fluor og tungmetaller. Det vil være mulig med rensing av vannet, men det er usikkert om renseanlegget takler den store mengden med forurenset vann, spesielt ved snøsmelting eller kraftig regnvær (Schüler et al., 2011). Situasjonen på Grønland virker spesielt kritisk ved å se på det faktum at forventet klimaendring - knyttet til smelting av isbreer og frysing av permafrostjord - kanskje endrer vannforekomster og stabiliteten i jorda betraktelig (Schüler et al., 2011).

I gruvedrift er prosess-stegene ekstraksjon, separasjon, raffinering, forming og produksjon. Separasjon og behandling av REE produkter fra konsentrerte materialer blir gjort av veldig få selskaper (Massari og Ruberti, 2012). Hovedrisikoene er slammet, som er en blanding av små partikler, spillvann og flotasjonskjemikalier. Slamdammen er utsatt for flere farer, som overtopping på grunn av storm-vann, dårlig konstruksjon eller seismiske hendelser. En sviktende dam fører til stedsspesifikke utslipp som thorium, uran, tungmetaller og fluorider. Vanligvis inneholder de fleste sjeldne jordartsforekomster radioaktive materialer som øker risikoen for radioaktivt støv- og vannutslipp. Ytterligere potensielle skader er utslipp til luft, jordforurensning, arealbruk med mer. Det kan også være utslipp til grunnvannet. Når det skjer en nedstenging av en gruve kan nedbørsvannet ta med seg giftige og radioaktive stoffer (forurensninger) (Schüler et al., 2011).

Hovedutfordringen teknologisk oppstår i videre behandlingen av REE malm og deres separering (Schüler et al., 2011). Innenfor gruvedrift er sjeldne jordartsmetaller ofte funnet i

store forekomster som har mange forskjellige grunnstoff i den samme forekomsten. Et av triksene for å hente ut og drive gruvedrift av REE er evnen til å skille de fra hverandre (Trigaux, 2012). I en gruve er det små mengder av REE, der alle er blandet, noe som gjør det vanskelig å separere de igjen (Flem, 2012). I forhold til teknologi skjer det mye, men det tar lang tid. Det er mye utvikling og forskning og i framtiden vil vi forhåpentligvis få den ultimate urban mining teknologi; en robot som plukker ut og sorterer blant annet metaller (Brastad, 2012). Sammenlignet med den vanskelige prosesseringen, er det første konsentrasjonssteget innenfor gruvedrift av REE ganske likt gruvedrift av andre metaller og lettere å håndtere. Det finnes marginal kunnskap utenfor Kina, og kjemien til REE er ganske kompleks. I forhold til separering og smelteverkteknologi, eier Kina internasjonalt avansert REE teknologi. Kina produserer ikke bare REE innholdende mellomprodukter som metaller, legeringer eller karbonater, men også mesteparten av sluttproduktene, for eksempel lys-emne (phosphors), LED (lysdioder), katalysatorer, Ni-MH batterier og magneter (Schüler et al., 2011).

Ønsker vi nye gruver? Vi ønsker heller gjenvinning (Flem, 2012). Gjennom gjenvinning kan vi kanskje spare deler av de ressursene vi har i naturen (mindre gruvedrift). Vi kan også bruke prosessene i gruvene til å knuse det vi sender til gjenvinning. Europa har ressurser, det er bare billigere å gjøre det i andre deler av verden. Gruvedrift blir det mer av, men vi må gjøre det på en miljømessig god måte (Brastad, 2012). Urban mining vil kunne erstatte jomfruelig materiale som ellers måtte ha inngått i produksjonen av EE-produkter (Gire Dahl og Lyng, 2011).

«Going green» er en ny tenkemåte som har tatt tak i de vestlige nasjoner. «Going green» betyr at vi må bytte fra olje, kull og gass til alternative og fornybare energikilder, øke resirkulering, øke bruken av energieffektive lyspærer og mer bærekraftige landbruksprosesser. Nye energiformer; solcellepaneler, vindturbiner og hydrogen-celler er hjertet i denne bevegelsen, med lite hensyn til virkningen av teknologien. Selv i dagens tilstand trengs sjeldne jordartsmetaller i foredling av petroleum, noe som også gjør dem nødvendige for våre nåværende energibehov (Trigaux, 2012).

Grønn teknologi trenger "grønne metall", og Europa burde støtte bærekraftig gruvedrift. Det er mange tiltak for bærekraftig gruvedrift og sertifiseringsordninger som omhandler de sosiale og miljømessige aspektene. Dagens gruveselskaper viser økende interesse for sertifiseringsordninger eller lignende samarbeid med EU (Schüler et al., 2011).

I forhold til verdens totale energiproduksjon utgjør alternativ energi fortsatt bare en liten brøkdel. I forhold til REE har tilførselen i det minste delvis møtt etterspørsel, men dette ser ut til å raskt endre seg. Når flere teknologier blir kommersielt levedyktige, og flere nasjoner blir med i den grønne revolusjonen, kommer etterspørselen til å skyte i været. Det er mye

mindre sannsynlig at vi får tilsvarende økning i tilførsel, spesielt med tanke på eksportrestriksjoner og politiske implikasjoner, samt generelle utvinning og foredlingspriser (Trigaux, 2012).

En sammenligning mellom utvinning av metaller fra EE-avfall med god gammeldags gruvedrift gir en soleklar miljø- og klimaseierherre. Noe gjenvinning av metaller fra EE-avfall pågår i dag, men ingen norske aktører har hittil startet med materialgjenvinning av de sjeldne jordartsmetallene (Ottesen et al., 2013). Men selv om vi har resirkulering må vi også fortsette med gruvedrift, det er viktig for vår måte å leve på, men det kan ikke fortsette for alltid. Når vi utforsker og utvikler i mer avsidesliggende områder vil det kreves mer energi. Både dagbrudd (i overflata) og gruvedrift(under jorda) skaper betydelige miljøproblemer både på land, i luft, biologisk og i vannressurser. I tillegg gir behovet for boliger og tjenester i gruvedriftsområder samfunnsmessige konsekvenser (Zhang et al., 2012).

Proessen for å utvinne sjeldne jordmetaller er veldig komplisert, gjenvinning er vanskelig og en del av demonteringen må gjøres manuelt. PCer er for eksempel ikke laget for å demonteres. Gruvedrift er også veldig komplisert, det tar ca. 10 år fra en gruve planlegges til man har utvunnet metallet (B. Flem, 2011, personlig kommunikasjon). Der studier, metallurgiske tester og pilot-planer tar ca. 4 år, installasjon av gruvedriftutstyret tar ca. 1 år, installasjon av konsentrasjonsanlegget for å berike lavgradig malm fra gruva tar ca. 2 år og installasjon av sjeldne jordarters prosesseringsanlegg fra en konsentrert malm tar ca. 4 år. Godkjenningsprosedyren tar også flere år, men skjer gjerne parallelt med prosjektutviklingen og gjennomføringen (Schüler et al., 2011).

Det største miljøproblemet til REE er at disse mineralene er forbundet med radioaktive grunnstoffer (for det meste thorium og uran) (Massari og Ruberti, 2012). Dermed blir dette et problem i forbindelse med gruvedrift (Flem, 2012). Uran og thorium innholdet er meget lavt i EE-avfall, i kontrast til de fleste malmer egnet for utvinning av sjeldne jordartsmetaller (Ottesen et al., 2013).

De beste miljømessige alternativene: avfallsreduksjon (ved for eksempel å forlenge brukstiden til produktene), ombruk (gi bort for eksempel mobiltelefonen til lillesøster) eller materialgjenvinning, for eksempel for mobiltelefonen hvor en kan forlenge brukstiden (levetiden) ved oppgraderinger eller reparasjoner (blant annet burde dette bli så billig at det ikke for eksempel er billigere å kjøpe en ny mobiltelefon) (Gire Dahl, 2012). Man burde også se på gruveponier, da de inneholder store ressurser i rest (Brastad, 2012). Det er mangel på gruver som utvinner sjeldne jordartsmetaller, mens det samtidig er en ren-energi utvikling i USA og det samme for elektronikk og militærteknologi (Ottesen et al., 2013).

Vil ikke ha gruver pga. (Flem, 2012):

- Anleggstrafikk
- Ødelegger naturen
- Deponi; avrenning, forurensning, kan vi bruke fjorden?
- Store områder både for gruve i seg selv og deponi
- I gruvene i Kina er det et stort problem med forurensning/avfall, gjerne radioaktivt, både utenfor og inni. Vil vi ha slike gruver i vårt nærmiljø?
- Tar lang tid fra planlegging til vi kan utvinne for eksempel REE, noe som fører til at vi vil ha mangel på REE i en lang stund fremover
- Kjemikalierester (sprengstoff rester, oppredningskjemikalier)

Hvis vi først skal ha gruver (Flem, 2012):

- Positivt: Gir gode arbeidsplasser i utkant Norge (dette kan man også få til for resirkulering)
- Må være bærekraftig utnytting
- Lang levetid på gruvedriften

Gjenvinning av EE-avfall (Flem, 2012):

- Rom for mange arbeidsplasser, kan legge de i distriktene om man planlegger godt
- Sparer mye energi gjennom gjenvinning i forhold til gruver
- Sjeldne jordartsmetaller: ikke bærekraftig utnytting, må gjøre noe annet
- Sjeldne jordartsmetaller brukes i grønn teknologi (vindmøller osv.), ikke grønt når det er gjenvinningsgrad på $< 1\%$
- Må få opp gjenvinningsgraden
- Positivt: vi må se på hvordan vi kan få gjenvinning
- Kan gjøres raskt, slik at vi får REE raskere enn om vi må vente på gruvedrift

3 Metode

Oppgaven er gjennomført i nært samarbeid med firmaet Elretur, som også har finansiert de kjemiske analysene gjennom sin årlige miljøpris, som veileder Rolf Tore Ottesen har fått en delsum av både i 2011 og i 2012. Prøvematerialet ble hentet fra Elreturs fragmenteringsanlegg for EE-avfall på Øysand utenfor Trondheim (WEEE Recycling). Det ble også analysert prøver av forskjellige mobiltelefoner og fragmenter av mobiltelefoner (mobiltelefon shredder). Prøvetaking av utvalgte fraksjoner av EE-avfall og kjemisk analyse (bestemmelse av innholdet av REE og edelmetaller) ble gjort.

Dette skriver WEEE Recycling AS om seg selv:

«WEEE Recycling AS har et av verdens mest moderne anlegg for gjenvinning av EE-avfall og kuldemøbler. Vi reproducerer ikke-fornybare ressurser gjennom elektrisk og elektronisk avfallsbehandling. Vi miljøsanerer og produserer» (WEEE Recycling, 2012b).

Alt som kommer inn til WEEE Recycling skal destrueres og WEEE Recycling bytter produkter de shredder hver uke (E. S. Brattli, 2013, personlig kommunikasjon). Det geografiske området til WEEE Recycling er i utgangspunktet hele landet, det vil si at det er konkurranse i hele Norge. Derimot er hovedområdet Midt-Norge (Møre og Romsdal, Sør- og Nord-Trøndelag og Nordland) (T. Hovset, 2013, personlig kommunikasjon).

Resultatene ble sammenlignet med det som finnes naturlig i øvre del av jordskorpa. Til slutt ble det sett på gjenvinningsmulighetene. Prøvene ble sendt til to akkrediterte laboratorier som gjør grunnstoffanalyser (ICP-MS), i denne masteroppgaven ble Eurofins og Actlab brukt.

En oversikt over prøvene finnes i Tabell 5. Disse prøvene har blitt tatt i ulike tidsrom i løpet av mastertiden og er beskrevet grundigere i punkt 3.1-3.4 nedenfor.

3 Metode

Tabell 5: Beskrivelse av prøvene som ble innsamlet og analysert

Pr. nr.	Type prøve
1	Shredderfluff fines ¹
2	Shredderfluff støv
3	Rest i sikt av hele prøven som ble hentet med shredderfluff
4	Rest i bøtte
5	CRT-støv ²
6	Plukkprøve kretskort
7	Plukkprøve bromplast (blå)
8	Plukkprøve bromplast (lys grå)
9	Plukkprøve bromplast (mørk grå)
10	Kretskort
11	Bromplast
12	Type 3
13	Mobiltelefon batteri, fra en tilfeldig mobiltelefon
14	Mobiltelefonbatteri Nokia BL-4C fra Nokia 5100
15	Mobiltelefonbatteri Nokia BL-5J fra Nokia 5800d-1
16	Mobiltelefon batteri BL-5C Li-ion fra Nokia C2
17	Mobiltelefon batteri Li-ion fra Nokia 3310
18	Mobiltelefon Nokia modell 5100
19	Mobiltelefon Nokia modell 5800d-1
20	Mobiltelefon Nokia modell C2
21	Mobiltelefon Nokia modell 3310
22	Chassis fra mobiltelefon Nokia modell 5100
23	Chassis fra mobiltelefon Nokia modell 5800d-1
24	Shredderfluff fra mobiltelefoner tilsendt fra Elretur 1
25	Shredderfluff fra mobiltelefoner tilsendt fra Elretur 2

¹ Shredderfluff er et avfallsuttrykk, som betyr det som kommer ut etter prosessen. Å shredde er å bryte ned materialet i mindre deler/fraksjoner. I prosessen blir avfallet nedmalt og shredderfluffen består ofte av mye plast og støv. Fines er grovere enn støv, se Figur 23 for bilde.

² CRT betyr katodestrålerør og CRT-støv er støv bak skjermer i tjukkas-TVer og gamle PCer

3.1 Prøvetakning 1

To prøver ble tatt ut hos WEEE Recycling 1. november 2011, den ene prøven var fint støv som går til forbrenning (Figur 22) mens den andre som ble kalt "fines" og er noe grovere (shredderfluff) og går til metall-gjenvinning (Figur 23) (Ottesen et al., 2013). Prøvene ble sendt til Eurofins for analyse, der ICP-MS ble brukt. Resultatene for REE er listet opp i Tabell 7 i resultater.



Figur 22: Fraksjon "støv" fra WEEE Recycling. Fraksjonen sendes til forbrenning og energiutnyttelse hos Sakab i Kumla utenfor Ørebro i Sverige (Ottesen et al., 2013)



Figur 23: Fraksjon "fines" fra returbedrift for EE-avfall. Denne fraksjonen sendes til metallgjenvinning (Ottesen et al., 2013)

3.2 Prøvetakning 2

Som et ledd i undervisningen i faget Anvendt geokjemi (KJ 3071) ved NTNU høsten 2012, ble en prøve av grov shredder samlet inn hos WEEE Recycling. I laboratoriet på NGU (Norges geologiske undersøkelse) ble shredderprøven sortert i 8 fraksjoner (Tabell 6), dette ble gjort ved at det ble brukt en sikt der de minste bitene falt gjennom (Figur 24). Det som ble liggende oppå sikta ble sortert i 6 fraksjoner (R1, R2, R4, R5, R7 og R8), ved at det som lignet

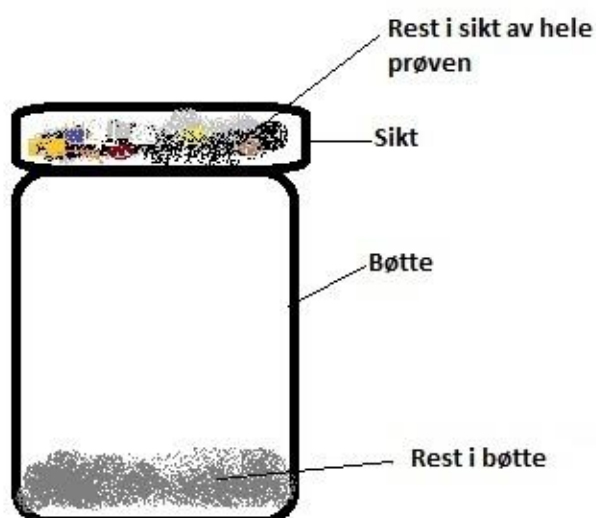
3 Metode

på hverandre ble plukket ut og lagt i hver sin pose. Det ble også tatt en prøve av CRT-støv. Denne prøven sendes til Noa (Langøya), som er Norges hovedanlegg for deponering av uorganisk avfall (T. Hovset, 2013, personlig kommunikasjon).

Disse 9 prøvene ble sendt til Eurofins Umwelt Ost GmbH Ndl Freiberg for analyse, hvor innholdet av tungmetaller, sjeldne jordartsmetaller, PCB og bromerte flammehemmere ble bestemt ved bruk av ICP-MS og GC-MS. Det ble analysert for sjeldne jordartsmetaller i prøvene R3 (rest i sikt av hele prøven), R6 (rest i bøtte) og S1 (CRT-støv) (Figur 25-27). Resultatene for REE er listet opp i tabell 8 i resultater.

Tabell 6: Sortering av shredderprøve i 8 deler og en prøve av CRT-støv

Prøve nummer	Type avfall
R1	"Maling/papir, hvit"
R2	Isopor
R3	Rest i sikt av hele prøven
R4	Gjennomsiktig plast
R5	Svart skumgummi
R6	Rest i bøtte, støv
R7	Aluminiumsfolie
R8	Svarte bånd
S1	CRT-støv



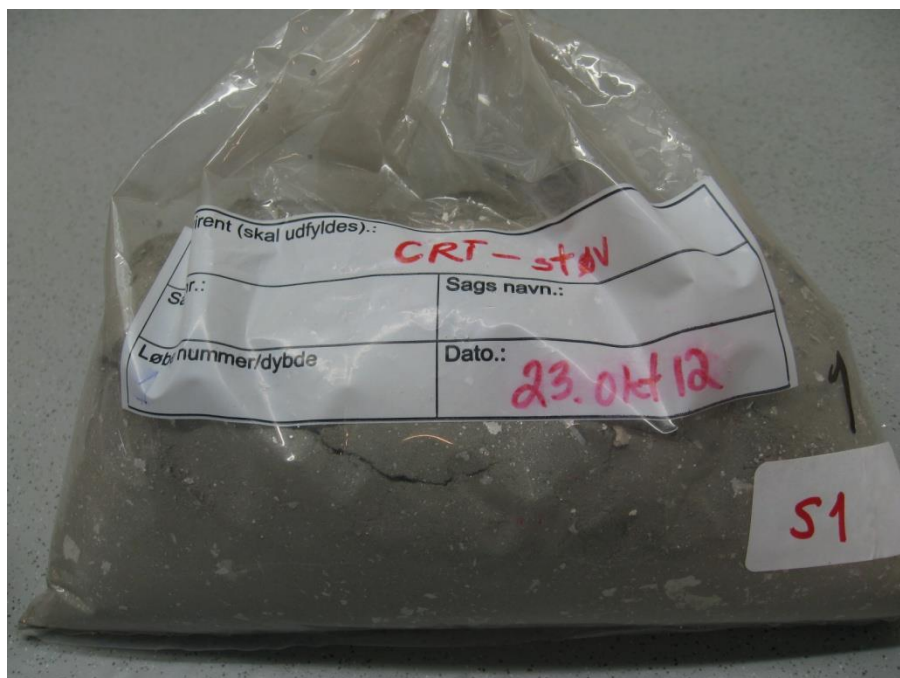
Figur 24: Sortering av shredderprøve



Figur 25: Prøve R3; rest i sikt, se teksten over for fullstendig beskrivelse, foto: Janne Yttermo Blomli



Figur 26: Prøve R6; rest i bølge, se teksten over for fullstendig beskrivelse, foto: Janne Yttermo Blomli



Figur 27: Prøve S1: CRT-støv, se teksten over for fullstendig beskrivelse, foto: Janne Yttermo Blomli

3.3 Prøvetakning 3

8. januar 2012 ble det tatt tre prøver (Figur 28) fra WEEE Recyclings anlegg på Øysand. Disse tre prøvene har blitt tatt ut ved å bruke WEEE Recyclings fremgangsmåte for prøvetaking av utsortert plastfraksjon. WEEE Recycling skriver i sitt notat (Heie, 2009):

«EE-avfallet har vært gjennom oppmaling, så fraksjonen består av plastbiter med ulik størrelse, opptil 15 cm som største lengde. Det er hovedsakelig fraksjoner av paneler og skrog, i form av hardplastplater med tykkelse 1-3 mm. Det er også en mindre andel mer strukturelle plastbiter. Dessuten følger det med noen forurensninger av komponenter som ikke er plast. Det er i prinsippet umulig å få en helt representativ prøve av plastfraksjonen. Årsaken er at utgangsmaterialet, dvs. EE-avfallet, ikke er et ensartet produkt over tid. En dag kan det være mange PCer, en annen dag mange støvsugere, så mange varmeovner osv. Det kan også variere i løpet av dagen. Dette anses også mest aktuelt for plastfraksjonen fra WEEE Recycling. En bør også ta prøver på ulike dager, for å få et inntrykk av variasjon fra dag til dag.»

Det har blitt tatt en prøve på ca. 5 kg (ca. 15 liter) hver time i løpet av en arbeidsdag eller et skift av fallende strøm ved å reversere utmatingsbåndet under separatoren. De 7-8 prøvene ble slått sammen til en stor prøve (Heie, 2009).

Dette var prøver av kretskort (Figur 29), bromplast (Figur 30) og type 3 (Figur 31). I kretskortene som WEEE Recycling får inn skilles det mellom høyverdi og ikke høyverdi

3 Metode

kretskort, der det er stor prisforskjell. Den prøven vi har tatt er av ikke høyverdi kretskort og inneholder ikke kretskort fra PC eller mobiltelefoner. Bromplast er alt som man kan forvente inneholder bromerte flammehemmere; alt plast som har vært i nærheten av varme; skrivere, kopimaskiner, bakdelen på tjukkas-TV, strykejern, hårføner, varmeovn. Dette er farlig avfall. Bromplast-prøven kan også inneholde kretskort som ikke har blitt tatt ut (blir ikke tatt ut pga. at det ikke ser ut som om det er noe verdi i dem). De inneholder for eksempel ikke store nok mengder gull eller sølv og ser ut som bare plast (Figur 32). Kretskortene vet vi at inneholder bromerte flammehemmere. Bromplast sendes videre til forbrenning og energiutnyttelse hos Sakab i Kumla utenfor Ørebro i Sverige. Type 3 er en prøve fra EE-kjøring (dvs. alt bortsett fra kjøleskap og fryser). Dette er sluttfraksjonen: alt annet er sortert ut ved bruk av magneter og luftdyser: < 10 mm, plast og kretskort. Dette er en verdifraksjon som blir solgt og går videre til ny sortering (T. Hovset, 2013, personlig kommunikasjon).



Figur 28: Prøvene som ble tatt ut av arbeiderne på WEEE Recycling, foto: Elise Hermo Rusti



Figur 29: Kretskort, foto: Elise Hermo Rusti



Figur 30: Bromplast, foto: Elise Hermo Rusti



Figur 31: Type 3, foto: Elise Hermo Rusti



Figur 32: Kretskort som ikke ser ut til å inneholde verdifulle metaller (for det meste bare plast), foto: Elise Hermo Rusti

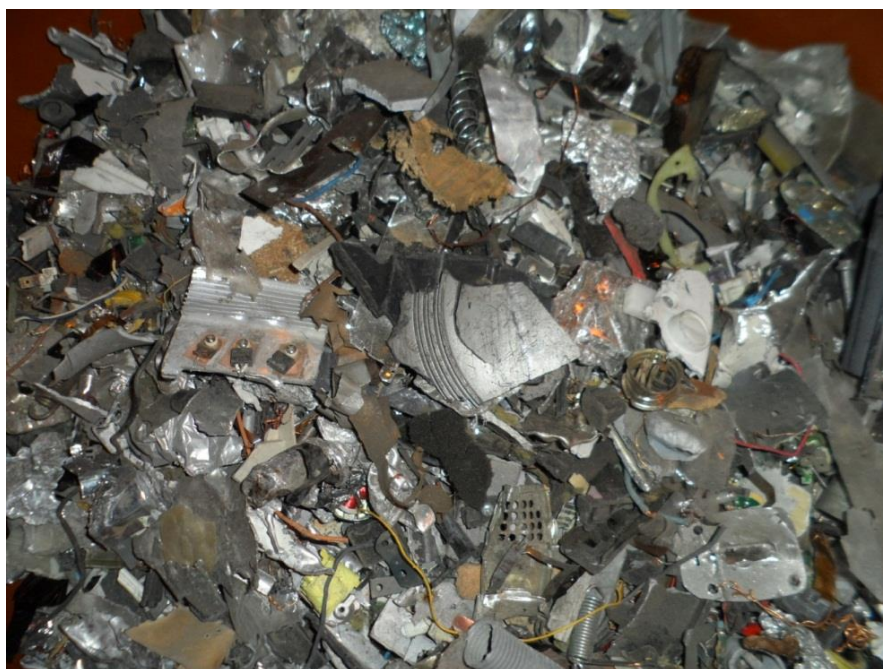
De prøvene som ble tatt ut var 3 store generelle prøver fra prøve 10, 11 og 12 (Tabell 5) (Figur 33, Figur 34 og Figur 35). Det ble også tatt ut 4 plukkprøver fra prøve 10 og 11 (av Rolf Tore Ottesen) som ble sendt til analyse (kretskort, blå bromplast, lys grå bromplast og mørk grå bromplast). Disse prøvene ble analysert med total opplutning med peroxide fusjon ved Activation Laboratories Ltd., Canada. Resultatene for REE er listet opp i Tabell 9-13 og for edelmetaller i Tabell 14 i resultater.



Figur 33: Uttatt prøve kretskort, foto: Elise Hermo Rusti



Figur 34: Uttatt prøve bromplast, foto: Elise Hermo Rusti



Figur 35: Uttatt prøve type 3, foto: Elise Hermo Rusti

3.4 Mobiltelefoner

Mobiltelefonbatteri, hele mobiltelefoner uten batteri og chassis mobiltelefon (plastomslag/deksel)

Prøvene her var gamle mobiltelefoner som Rolf Tore Ottesen hadde selv eller hadde fått hos venner. Mobiltelefonene Nokia 5100, Nokia 5800 d-1, Nokia C2 og Nokia 3310 med tilhørende batteri og chassis (plastomslaget/dekselet)³ ble sendt til analyse. Nokia 5100 ble gitt ut i 2003 (s21, 2003), Nokia 3310 ble gitt ut i 2000 (Press Release Nokia, 2005), Nokia 5800 d-1 ble gitt ut i 2008 (pdadb.net, 2008) og Nokia C2 ble gitt ut i 2011 og selges fortsatt (Solheim, 2011). Det vil si at 3310 er den eldste mobiltelefonen, mens Nokia C2 er den nyeste. Nokia 3310, 5100 og C2 er knappetelefoner, mens Nokia 5800 d-1 er en touchtelefon (smarttelefon). Prøvene ble sendt til Eurofins Umwelt Ost GmbH Ndl. Freiberg for analyse med ICP-MS og resultatene finnes i Tabell 15-17 i resultater.

Mobiltelefon shredder

To prøver av shredderfluff fra mobiltelefoner ble tilsendt fra Elretur (Figur 36 og Figur 37). En mobiltelefon består hovedsakelig av kretskort, en LCD-skjerm, et deksel bestående av metall/plast og et oppladbart batteri. Batteriet ble i dette tilfellet fjernet før mobiltelefonene

³ Det er ikke alle mobiltelefonene som har chassis

3 Metode

ble knust ned. Shredderfluffen har blitt analysert både med håndholdt XRF, Niton XL3t 900s, ved NGU og med total opplutning med peroxide fusion ved Activation Laboratories Ltd., Canada. Måleresultatene gjort med håndholdt XRF ved NGU er basert på gjennomsnittet av tre målinger hvor pakken har blitt ristet mellom målingene for å få nytt materiale under målepunktet til XRFen. Det er en håndholdt XRF som ikke er kalibrert for materialet det er analysert på, det er også målt på et inhomogent materiale. XRF verdiene er derfor semikvantitative. ActLab har oppsluttet prøvene etter først en nedknusing og så homogenisering (Flem, B., 2013, personlig kommunikasjon). Resultatene finnes i Tabell 18 i resultater.



Figur 36: Prøve 1, Shredderfluff av mobiltelefoner, foto: Belinda Flem



Figur 37: Prøve 2, Shredderfluff av mobiltelefoner av typen Nokia 6300, Sony Ericson W800i, Nokia 8210, Nokia N76, Nokia 6660, Nokia N70, Nokia N80, Nokia 623, Nokia E52, Sony Ericson T68, foto: Belinda Flem

4 Resultater og diskusjon

Prøvene ble tatt i ulike tidsrom i løpet av mastertiden og er beskrevet grundigere i 3.1-3.4. Innholdet er organisert slik som metode, der prøvetakning 1 kommer først og mobiltelefon shredder kommer til slutt. Resultatene ble sammenlignet med det som finnes naturlig i øvre del av jordskorpa. Anrikning er konsentrasjonen i EE-avfallet delt på naturlig forekomst. Anrikning gjennomsnitt er gjennomsnitt av konsentrasjonen i EE-avfall delt på naturlig forekomst.

4.1 Prøvetakning 1

I Tabell 7 er gjennomsnittlig naturlig forekomst av de sjeldne jordartsmetallene i bergartene i jordskorpens øvre del angitt, dette er sammenlignet med gjennomsnittlig forekomst i to fraksjoner av EE-avfall som i dag ikke går til noen form for gjenvinning av disse metallene. Noen av de sjeldne jordartsmetallene forekommer i relativt høye konsentrasjoner, selv i shredderfluff materiale, for eksempel lantan, cerium, neodym, europium og gadolinium. Enkelte eller flere produkttyper som håndteres i anlegget må inneholde høye konsentrasjoner av sjeldne jordartsmetaller. Det er betydelig anrikning av noen REE i noen fraksjoner og enkelte produkter bør derfor undersøkes i større detalj.

Som tabellen viser er det 8 ganger mer lantan, nesten 5 ganger mer neodym og nesten 10 ganger mer europium i EE-avfallet enn det som er naturlig gjennomsnittlig forekomst i jordskorpa, det er 0,4 ganger mindre thorium og nesten like mye uran i EE-avfallet som i naturlig forekomst. Tallene for terbium, holmium, erbium, thulium, ytterbium og lutetium kan ikke sees på med sikkerhet på grunn av at en eller begge prøvene var under deteksjonsgrensen (her: 1,0 mg/kg).

4 Resultater og diskusjon

Tabell 7: Konsentrasjon av sjeldne jordartsmetaller, uran og thorium i bergartene i jordskorpens øvre del (naturlig forekomst) (Reimann og Caritat, 1998), to fraksjoner av shredderfluff fra EE-avfall, samt anrikning i EE-avfall relatert til jordskorpen.

Grunnstoff	Kjemisk tegn	Atom nummer	Naturlig forekomst (mg/kg)	Shredderfluff fra EE-avfall, prøve 1 Støv (mg/kg)	Shredderfluff fra EE-avfall, prøve 2 Fines (mg/kg)	Anrikning gjennomsnitt
Lantan	La	57	30	430	52	8,03
Cerium	Ce	58	64	180	210	3,05
Praseodym	Pr	59	7,1	5	26	2,18
Neodym	Nd	60	26	45	210	4,90
Samarium	Sm	62	4,5	8,9	4,6	1,50
Europium	Eu	63	0,88	1,3	16	9,83
Gadolinium	Gd	64	3,8	19	13	4,21
Terbium	Tb	65	0,64	< 1,0	4,5	< 4,30
Dysprosium	Dy	66	3,5	1,1	8,6	1,39
Holmium	Ho	67	0,8	< 1,0	< 1,0	< 1,25
Erbium	Er	68	2,3	< 1,0	< 1,0	< 0,43
Thulium	Tm	69	0,33	< 1,0	< 1,0	< 3,03
Ytterbium	Yb	70	2,2	< 1,0	< 1,0	< 0,45
Lutetium	Lu	71	0,32	< 1,0	< 1,0	< 3,13
Thorium	Th	90	10,7	3,5	4,8	0,39
Uran	U	92	2,8	2,1	3,3	0,96

4 Resultater og diskusjon

4.2 Prøvetakning 2

I tabell 8 er analysetallene for prøvetakning 2 angitt. Det er generelt for disse tre prøvene mindre thorium i EE-avfallet enn i naturlig forekomst. Tallene for holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutetium og thorium kan ikke sees på med sikkerhet på grunn av at en eller begge prøvene var under deteksjonsgrensen (her: 1,0 mg/kg).

Tabell 8: Konsentrasjon av sjeldne jordartsmetaller og thorium i bergartene i jordskorpens øvre del (naturlig forekomst) (Reimann og Caritat, 1998), to fraksjoner av shredderfluff fra EE-avfall og en CRT-støv prøve, samt anrikning i EE-avfall relatert til jordskorpen.

Grunnstoff	Naturlig forekomst (mg/kg)	Prøve 3 (R3)	Prøve 4 (R6)	Prøve 5 (S1)	Anrikning Shredderfluff R3/ innhold i naturlig forekomst	Anrikning Shredderfluff R6/ innhold i naturlig forekomst	Anrikning Shredderfluff S1/ innhold i naturlig forekomst
Scandium	11	0,5	1,1	0,2	0,05	0,10	0,02
Yttrium	22	30	240	14400	1,36	10,91	655
Lantan	30	4,8	38	1,7	0,16	1,27	0,06
Cerium	64	2,9	19	7,9	0,05	0,30	0,12
Praseodym	7,1	2,4	25	0,4	0,34	3,52	0,06
Neodym	26	24	260	1,7	0,92	10,00	0,07
Samarium	4,5	0,7	12	11	0,16	2,67	2,44
Europium	0,88	2,4	18	1070	2,73	20,45	1216
Gadalinium	3,8	1,5	12	0,8	0,39	3,16	0,21
Terbium	0,64	1,1	5,2	0,6	1,72	8,13	0,94
Dysprosium	3,5	1,1	10	0,2	0,31	2,86	0,06
Holmium	0,8	< 0,1	0,4	< 0,1	< 0,13	0,50	< 0,13
Erbium	2,3	0,1	1,1	< 0,1	0,04	0,48	< 0,04
Thulium	0,33	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,30	< 0,30	0,91
Ytterbium	2,2	< 0,1	0,5	0,1	< 0,05	0,23	< 0,05
Lutetium	0,32	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,31	< 0,31	< 0,31
Thorium	10,7	< 0,1	1,3	0,1	< 0,01	0,12	0,01

R3 (rest i sikt av hele prøven)

I R3 prøven er det egentlig ingen av de sjeldne jordartsmetallene som utmerker seg med høye konsentrasjoner. Som Tabell 8 viser er det nesten 3 ganger mer europium i denne prøven enn det som er naturlig bakgrunnsforekomst.

R6 (Rest i bøtte (støv))

I R6 prøven forekommer yttrium, lantan, praseodym, neodym og europium i relativt høye konsentrasjoner. Som Tabell 8 viser er det nesten 11 ganger mer yttrium, 10 ganger mer neodym og 20 ganger mer europium i denne prøven enn det som er naturlig bakgrunnsforekomst. Flere av de andre sjeldne jordartsmetallene er også høye (3-8 ganger mer)

S1 (CRT-støv)

I S1 prøven forekommer yttrium og europium i veldig høye konsentrasjoner (1,44 % og 0,11 %) ellers forekommer de fleste andre i lave konsentrasjoner. Som Tabell 8 viser er det 654 ganger mer yttrium, 1219 ganger mer europium i denne prøven enn det som er naturlig bakgrunnsforekomst.

Det er vanskelig å si noe eksakt for prøvetakning 1 og 2, da det verken er representative prøver eller prøver fra en produktgruppe. Disse prøvene blir da bare en indikasjon for videre arbeid. Det vises at det er høye konsentrasjoner av noen REE i noen prøver. For eksempel CRT-støv prøven som inneholder høye konsentrasjoner av yttrium og europium. Denne prøven er farlig avfall, så det er usikkert om det er mulig å sende den til metallgjenvinning.

4.3 Prøvetakning 3

Prøvene som ble tatt ut:

1. Kretskort
2. Bromplast
3. Type 3

Av disse ble det tatt ut fire plukkprøver; en av kretskort (prøve 6) og 3 av bromplast (prøve 7, 8 og 9) (Tabell 9). Der plastprøvene hadde fargene blå, lys grå og mørk grå. Her var det dessverre bare fire sjeldne jordartsmetaller som ble analysert og deteksjonsgrensen er 0,1 mg/kg. Det ble videre også analysert for hele prøven av disse tre (prøve 10, 11 og 12), (Tabell 11, 12 og 13). Se kapittel 3.3 for nærmere beskrivelse.

Sjeldne jordartsmetaller

I Tabell 9 er innholdet av fire sjeldne jordartsmetaller for 4 plukkprøver angitt. I Tabell 10 er gjennomsnittlig naturlig forekomst av fire sjeldne jordartsmetaller i bergartene i jordskorpens øvre del angitt. Kretskortprøven inneholder mye av lantan, cerium og neodym, mens de tre plastprøvene ikke inneholder høye konsentrasjoner av noen av disse fire sjeldne jordartsmetallene. Det er lite av europium i disse fire plukk-prøvene, men mest i kretskortprøven (nesten dobbelt så mye som det som finnes naturlig). For bromplastprøvene er det mindre mengde av de fire sjeldne jordartsmetallene det er analysert for, enn det som finnes naturlig.

Tabell 9: Innholdet av 4 sjeldne jordartsmetaller i plukkprøver i mg/kg

Grunnstoff	Prøve 6 (Kretskort)	Prøve 7 (Bromplast)	Prøve 8 (Bromplast)	Prøve 9 (Bromplast)
Lantan	5,4	0,9	0,85	0,7
Cerium	14	1,7	2,8	0,8
Neodym	420	0,9	0,7	0,8
Europium	1,6	0,3	< 0,1	< 0,1

Tabell 10: Naturlig forekomst av sjeldne jordartsmetaller i bergartene i jordskorpens øvre del (Reimann og Caritat, 1998), samt anrikning av EE-avfall i mg/kg.

Grunnstoff	Naturlig forekomst	Anrikning prøve 6	Anrikning prøve 7	Anrikning prøve 8	Anrikning prøve 9
Lantan	30	0,18	0,03	0,03	0,02
Cerium	64	0,22	0,03	0,04	0,03
Neodym	26	16,15	0,03	0,03	0,03
Europium	0,88	1,82	0,34	< 0,11	< 0,11

4 Resultater og diskusjon

I tabell 11, 12 og 13 er naturlig forekomst av grunnstoffene i bergartene i jordskorpens øvre del angitt, dette er sammenlignet med gjennomsnittlig forekomst i en kretskortprøve, en bromplastprøve og en type 3 prøve.

Som Tabell 11 viser er det ca. like mye scandium og dobbelt så mye gadolinium og neodym i kretskortprøven enn det som finnes naturlig. Det er ingen av de resterende sjeldne jordartsmetallene som utmerker seg med høye konsentrasjoner. Tallene for scandium, holmium og thulium kan ikke sees på med sikkerhet på grunn av at prøvene er under deteksjonsgrensen (her: 10, 0,2 og 0,1 mg/kg). Som tabellen viser er det 0,33 ganger mindre thorium og 0,21 ganger mindre uran i EE-avfallet enn i naturlig forekomst.

Som Tabell 12 viser er det ca. like mye scandium i bromplastprøven som det som finnes naturlig. Det er ingen av de resterende sjeldne jordartsmetallene som utmerker seg med høye konsentrasjoner. Tallene for scandium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium og ytterbium kan ikke sees på med sikkerhet på grunn av at prøvene er under deteksjonsgrensen (her: 10, 0,2, 0,3 og 0,1 mg/kg). Som tabellen viser er det 0,06 ganger mindre thorium og 0,07 mindre uran i EE-avfallet enn i naturlig forekomst.

Som tabell 13 viser er det ca. like mye scandium i type 3 prøven som det som finnes naturlig. Det er ingen av de resterende sjeldne jordartsmetallene som utmerker seg med høye konsentrasjoner. Tallene for scandium, terbium, holmium og thulium kan ikke sees på med sikkerhet på grunn av at prøvene er under deteksjonsgrensen (her: 10, 0,1, 0,2 og 0,1 mg/kg). Som tabellen viser er det 0,07 ganger mindre thorium og 0,29 mindre uran i EE-avfallet enn i naturlig forekomst.

Grunnen til at denne kretskortprøven har mye lavere verdier enn plukkprøven på kretskort kan være at dette er en representativ prøve som også inneholder kretskort som for det meste ser ut til å inneholde plast (figur 32). Plast inneholder ikke høye konsentrasjoner av REE. Plukkprøven av kretskort er mest sannsynlig et kretskort som inneholder mer enn bare plast (Figur 38).

4 Resultater og diskusjon



Figur 38: Eksempel på kretskort som det sees tydelig at inneholder mer enn bare plast (alt som ser ut som gull på kretskort er gull)

Tabell 11: Konsentrasjon av sjeldne jordartsmetaller i kretskort, naturlig forekomst av sjeldne jordartsmetaller (inkludert uran og thorium) i bergartene i jordskorpens øvre del (Reimann og Caritat, 1998), samt anrikning i EE-avfall, alt i mg/kg.

Grunnstoff	Deteksjons- grense	Prøve 10 (kretskort)	Naturlig forekomst	Anrikning
Scandium	10	< 10	11	< 0,91
Yttrium	0,1	6,9	22	0,31
Lantan	0,4	14,5	30	0,48
Cerium	0,8	21,1	64	0,33
Praseodym	0,1	3,0	3,9	0,42
Neodym	0,1	32,0	16	2,00
Samarium	0,1	1,3	3,5	0,29
Europium	0,1	0,1	0,88	0,11
Gadolinium	0,1	7,6	3,8	2,00
Terbium	0,1	0,1	0,64	0,16
Dysprosium	0,3	1,2	3,5	0,34
Holmium	0,2	< 0,2	0,8	< 0,25
Erbium	0,1	0,4	2,3	0,17
Thulium	0,1	< 0,1	0,33	< 0,30
Ytterbium	0,1	0,5	2,2	0,23
Thorium	0,1	3,5	10,7	0,33
Uran	0,1	0,6	2,8	0,21

4 Resultater og diskusjon

Tabell 12: Konsentrasjon av sjeldne jordartsmetaller i bromplast, naturlig forekomst av sjeldne jordartsmetaller (inkludert uran og thorium) i bergartene i jordskorpens øvre del (Reimann og Caritat, 1998), samt anrikning i EE-avfall, alt i mg/kg.

Grunnstoff	Deteksjons- grense	Prøve 11 (bromplast)	Naturlig forekomst	Anrikning
Scandium	10	< 10	11	< 0,91
Yttrium	0,1	2,0	22	0,09
Lantan	0,4	4,1	30	0,14
Cerium	0,8	7,6	64	0,12
Praseodym	0,1	1,0	3,9	0,14
Neodym	0,1	4,5	16	0,28
Samarium	0,1	0,4	3,5	0,09
Europium	0,1	0,2	0,88	0,23
Gadolinium	0,1	0,3	3,8	0,08
Terbium	0,1	< 0,1	0,64	< 0,16
Dysprosium	0,3	< 0,3	3,5	< 0,09
Holmium	0,2	< 0,2	0,8	< 0,25
Erbium	0,1	< 0,1	2,3	< 0,04
Thulium	0,1	< 0,1	0,33	< 0,30
Ytterbium	0,1	< 0,1	2,2	< 0,05
Thorium	0,1	0,6	10,7	0,06
Uran	0,1	0,2	2,8	0,07

4 Resultater og diskusjon

Tabell 13: Konsentrasjon av sjeldne jordartsmetaller i type 3, naturlig forekomst av sjeldne jordartsmetaller (inkludert uran og thorium) i bergartene i jordskorpens øvre del (Reimann og Caritat, 1998), samt anrikning i EE-avfall, alt i mg/kg.

Grunnstoff	Deteksjons- grense	Prøve 12 (type 3)	Naturlig forekomst	Anrikning
Scandium	10	< 10	11	< 0,91
Yttrium	0,1	2,5	22	0,11
Lantan	0,4	4,0	30	0,13
Cerium	0,8	6,1	64	0,10
Praseodym	0,1	1,1	3,9	0,15
Neodym	0,1	7,0	16	0,44
Samarium	0,1	0,4	3,5	0,09
Europium	0,1	0,1	0,88	0,11
Gadolinium	0,1	0,4	3,8	0,11
Terbium	0,1	< 0,1	0,64	< 0,16
Dysprosium	0,3	0,3	3,5	0,09
Holmium	0,2	< 0,2	0,8	< 0,25
Erbium	0,1	0,1	2,3	0,04
Thulium	0,1	< 0,1	0,33	< 0,30
Ytterbium	0,1	0,1	2,2	0,05
Thorium	0,1	0,7	10,7	0,07
Uran	0,1	0,8	2,8	0,29

4 Resultater og diskusjon

Edelmetaller

For de fire plukkprøvene ble det også analysert for edelmetaller. Innholdet av gull og palladium i kretskortprøven er høyt. Som skrevet i avsnitt 2.3.1 må drivverdige gullforekomster ha et gullinnhold på 1 til 5 gram gull per tonn stein. Kretskortprøven inneholder 41,8 gram gull per tonn avfall (Tabell 14). I prøven for bromplast er det også en del gull og palladium (314 og 28 ganger mer enn det som finnes naturlig), mens type 3 prøven inneholder veldig lite av de tre analyserte edelmetallene. Det er lite platina i alle disse tre prøvene.

Tabell 14: Konsentrasjon av edelmetaller i prøvene kretskort, bromplast og type 3, naturlig forekomst av edelmetaller i bergartene i jordskorpens øvre del (Reimann og Caritat, 1998, Stellman, 1998), samt anrikning i EE-avfall i mg/kg.

Grunnstoff	Naturlig forekomst	Prøve 10 kretskort	Prøve 11 bromplast	Prøve 12 type 3	Anrikning prøve 10	Anrikning prøve 11	Anrikning prøve 12
Gull	0,0018	41,8*	0,566	15,8	16667	314,44	0,53
Sølv	0,05	-	-	-	-	-	-
Palladium	0,0005	3,05	0,014	0,054	6100	28,00	0,02
Platina	0,005	< 0,005	<0,005	0,008	< 1	< 1	1,60

* Analysert med FA-GRA (Fire Assay Gravimetric, altså en gravimetrisk metode)

Det ble ikke analysert for sølv for disse tre prøvene, på grunn av en interferens i digelmatrisen. Deteksjonsgrensen for disse prøvene er 0,002 mg/kg for gull og 0,005 mg/kg for palladium og platina. Tallene for platina i prøve 10 og 11 kan ikke sees på med sikkerhet på grunn av at prøvene er under deteksjonsgrensen.

4.4 Mobiltelefoner

Det har også blitt analysert for mobiltelefoner, der det er delt inn i mobilbatteri (Tabell 15), hele mobiltelefoner (uten batteri) (Tabell 16) og chassis (plastomslaget/dekselet) (Tabell 17). For disse var det dessverre bare fire jordartsmetaller som ble analysert og deteksjonsgrensen var 0,1 mg/kg. Nokia 3310 er den eldste mobiltelefonen, mens Nokia C2 er den nyeste. Nokia 3310 (prøve 21), 5100 (prøve 18) og C2 (prøve 20) er knappetelefoner, mens Nokia 5800 d-1 (prøve 19) er en touchtelefon (smarttelefon).

4 Resultater og diskusjon

Mobiltelefon batteri

Tabell 15: Konsentrasjon av 4 sjeldne jordartsmetaller i mobilbatterier i mg/kg, naturlig forekomst (Reimann og Caritat, 1998), gjennomsnitt og anrikning av gjennomsnittet.

Grunnstoff	Prøve 13	Prøve 14	Prøve 15	Prøve 16	Prøve 17	Naturlig forekomst	Gjennomsnitt	Anrikning gjennomsnitt
Lantan	3,4	1,5	1,5	5,0	1,0	30	2,48	0,08
Cerium	2,4	15	1,8	6,0	3,0	64	5,64	0,09
Neodym	49	35	240	11,0	1,0	26	67,20	2,58
Europium	0,1	0,5	0,4	<1,0	<1,0	0,88	0,60	< 0,68

Det er høye verdier av neodym i batteriene (mest i prøve 15) og i prøve 14 (batteri Nokia BL-4C) er det høy verdi av cerium (i forhold til de andre prøvene, men ikke i forhold til hva som finnes naturlig). For lantan og europium er det lave konsentrasjoner. Det eldste batteriet (prøve 17) er faktisk det som inneholder minst av disse fire REE, mens det yngste (prøve 16) inneholder mest av lantan og cerium, nest minst av neodym og minst av europium. Det er ikke noe relativ forskjell i resultatene for batteriene i knappetelefonene og smarttelefon, bortsett fra for neodym (der innholdet av neodym er mye høyere for smarttelefon enn for knappetelefonene). Det er vanskelig å si noe med sikkerhet for disse prøvene da det kun er en smarttelefon som er analysert, men det kan se ut som om det er mer neodym, lantan og europium, men mindre cerium i touchtelefonene.

Hele mobiltelefoner uten batteri

Tabell 16: Innholdet av 4 sjeldne jordartsmetaller i hele mobiltelefoner uten batteri, naturlig forekomst (Reimann og Caritat, 1998), gjennomsnitt og anrikning av gjennomsnittet, alt i mg/kg

Grunnstoff	Prøve 18	Prøve 19	Prøve 20	Prøve 21	Naturlig forekomst	Gjennomsnitt	Anrikning gjennomsnitt
Lantan	5,4	2,3	7,0	15,0	30	7,42	0,25
Cerium	6,8	3,2	12,0	5,0	64	6,75	0,11
Neodym	1470	29	6,0	70,0	26	393,75	15,14
Europium	1,8	2,9	1,0	1,0	0,88	1,68	1,90

I hele mobiltelefoner uten batteri er det mye neodym (over 15 ganger mer enn hva som finnes naturlig) og relativt høy verdier for europium (nesten dobbelt så mye i EE-avfallet enn hva som finnes naturlig), ellers er det lave konsentrasjoner for de andre REE det er analysert for. Den eldste mobiltelefonen (prøve 21) inneholder mest av lantan og nest mest av neodym, mens den yngste (prøve 20) inneholder mest av cerium, nest mest av lantan og

4 Resultater og diskusjon

minst av europium og neodym. Det er ikke noe relativ forskjell i resultatene for knappetelefonene og smarttelefon. Neodym er for 2 av 3 knappetelefoner høyere enn for smarttelefonen. Forskjellene i mobiltelefoner kan være at de ble sendt inn i forskjellige batcher, først de to første og så de to siste.

Chassis mobiltelefon (plastomslag)

Tabell 17: Innholdet av 4 sjeldne jordartsmetaller i chassis mobiltelefon (plastomslag), naturlig forekomst (Reimann og Caritat, 1998), gjennomsnitt og anrikning av gjennomsnittet, alt i mg/kg

Grunnstoff	Prøve 22	Prøve 23	Naturlig forekomst	Gjennomsnitt	Anrikning gjennomsnitt
Lantan	1,2	0,2	30	0,70	0,02
Cerium	2,1	0,3	64	1,20	0,02
Neodym	2,4	0,3	26	1,35	0,05
Europium	0,3	< 0,1	0,88	0,20	< 0,23

I selve plastomslaget er det lave verdier for alle de fire sjeldne jordartsmetallene det er analysert for. Det er mindre enn hva som finnes naturlig for disse fire REE i begge disse prøvene. Det vil dermed ikke finnes ressurser her. Her er det bare to chassis til knappetelefoner som ble analysert, men resultatene viser at det er mer av alle disse fire REE i plastomslaget til Nokia 5100 enn i plastomslaget til Nokia 5800d-1, der Nokia 5100 er den eldste. Nokia 5800d-1 er en touchtelefon (smarttelefon).

Mobiltelefon-shredder

I tabell 18 er innholdet av sjeldne jordartsmetaller, uran, thorium og edelmetaller i to prøver av mobiltelefon-shredder angitt. Måleresultatene ved XRF for gull viste en spredning fra 700 til 1000 mg/kg og 200 til 1000 mg/kg for henholdsvis prøve 24 og 25. Analysene fra Actlabs bekrefter de høye gull-verdiene med 1210 mg/kg i prøve 24 og 1360 mg/kg i prøve 25 som da er gjennomsnittsverdier for prøvene. Actlabs analyser viser også at shredderfluffen inneholder interessante konsentrasjoner av sølv, palladium og platina. Konsentrasjonen av sjeldne jordartsmetaller var derimot lav i begge prøvene og vi kan for eksempel se stor forskjell i resultatene for cerium fra XRF (2475 og 5208) til Actlab analysene (6,7 og 8,3). Det samme gjelder for neodym, selv om forskjellen der ikke er like stor. Dette indikerer at XRF resultatene ikke er i nærheten av like pålitelige som Actlab analysene. Det er en håndholdt XRF som ikke er kalibrert for materialet det er analysert på, det er også målt på et inhomogent materiale. XRF verdiene er derfor semikvantitative. ActLab har oppsluttet prøvene etter først en nedkusing og så homogenisering (B. Flem, 2013, personlig kommunikasjon).

4 Resultater og diskusjon

Tabell 18: Konsentrasjon av edelmetaller og sjeldne jordartsmetaller (inkludert uran og thorium) i to prøver av shredderfluff fra mobiltelefoner analysert ved NGU med XRF og totaloppslutning ved Activation Laboratories Ltd. Canada i mg/kg, naturlig forekomst av i bergartene i jordskorpens øvre del (Reimann og Caritat, 1998, Stelman, 1998), samt anrikning relatert til jordskorpen.

Grunnstoff	Prøve 24 XRF	Prøve 25 XRF	Prøve 24 Peroxide fusion	Prøve 25 Peroxide fusion	Naturlig forekomst	Anrikning gj.snitt XRF	Anrikning gj.snitt Peroxide fusion
Scandium	65	60	-	-	11	5,68	-
Yttrium	-	-	2,8	2,1	22	-	0,11
Lantan	-	134	7,5	8,4	30	-	0,27
Cerium	2476	5209	6,7	8,3	64	60,02	0,12
Praseodym	-	-	4,4	2,6	3,9	-	0,49
Neodym	868	1485	38,7	11,8	16	45,35	0,97
Samarium	-	-	1,2	5,7	3,5	-	0,77
Europium	-	-	< 0,1	< 0,1	0,88	-	< 0,11
Gadolinium	-	-	1,5	0,7	3,8	-	0,29
Terbium	-	-	< 0,1	< 0,1	0,64	-	< 0,16
Dysprosium	-	-	1,9	4,1	3,5	-	0,86
Holmium	-	-	0,8	< 0,2	0,8	-	< 0,63
Erbium	-	-	0,2	0,2	2,3	-	0,09
Thulium	-	-	< 0,1	< 0,1	0,33	-	< 0,30
Ytterbium	-	-	0,3	0,3	2,2	-	0,14
Thorium	-	-	1,4	1,9	10,7	-	0,15
Uran	-	-	1,5	0,4	2,8	-	0,34
Gull	861	583	1210	1360	0,0018	401111	713889
Sølv	932	2797	1270	360	0,05	37290	16300
Palladium	-	-	116	131	0,0005	-	247000
Platina	-	-	4,8	6,4	0,005	-	1120

4 Resultater og diskusjon

I Actlab analysene kan ikke tallene for europium, terbium, holmium, thulium sees på med sikkerhet på grunn av at en eller begge prøvene er under deteksjonsgrensen. Deteksjonsgrensen for REE lå på mellom 0,1 og 0,8 mg/kg, for edelmetaller varierte deteksjonsgrensen fra 0,002 til 10 mg/kg og for uran og thorium var den 0,1 mg/kg.

For REE er det som sagt lave konsentrasjoner i disse prøvene, hvis vi ser bort i fra XRF resultatene som hadde høye konsentrasjoner av scandium (nesten seks ganger så mye som det som finnes naturlig), cerium (60 ganger så mye) og neodym (45 ganger så mye). Fra Actlab analysene er det nesten like mye neodym som det som finnes naturlig. Det er 0,15 ganger mindre thorium og 0,34 ganger mindre uran enn i naturlig forekomst. Vi fant mye mer REE i prøvene fra Øysand og andre mobiltelefoner.

I mobiltelefon shredder-prøvene ble mobilbatteriet fjernet og man skulle dermed tro at disse prøvene hadde lavere verdier enn kun mobilbatteriene. Dette er bare tilfelle for neodym og europium, mens for lantan og cerium var verdiene litt høyere enn i mobilbatteriene. For selve mobiltelefonen uten batteri har lantan og cerium ca. samme konsentrasjoner som mobiltelefon shredder-prøvene, mens neodym og europium har høyere verdier i mobiltelefon uten batteri enn i mobiltelefon shredder-prøvene. For plast fra mobiltelefoner (chassis/plastomslaget) er det mye lavere konsentrasjoner for lantan, cerium og neodym, mens det er ca. like mye europium. En mulig forklaring på at konsentrasjonene i mobiltelefon shredder-prøvene er mye lavere enn for mobiltelefoner kan være at disse prøvene inneholder mye plast. Som tidligere skrevet inneholder plast veldig lite REE. En blanding av plast og hele mobiltelefonen uten batteri kan gi lavere verdier, samt, som skrevet om i avsnitt 2.4.1 i teorien, har shredding mest sannsynlig en negativ innvirkning på materialgjenvinningen av verdifulle metaller.

5 Konklusjon og anbefalinger for videre arbeid

For shredderfluffmateriale (her støv og fines) kan det konkluderes med at enkelte eller flere produkttyper som håndteres i anlegget inneholder høye konsentrasjoner av sjeldne jordartsmetaller. Potensialet for gjenvinning er sannsynligvis stort og enkelte produkter bør undersøkes i større detalj. Noen av de sjeldne jordartsmetallene forekommer i relativt høye konsentrasjoner, for eksempel lantan, cerium, neodym, praseodym, europium og gadolinium. Når det videre ble sett nærmere på diverse produktgrupper vises det at kretskort inneholder mye neodym, europium og gadolinium. Plast som bromplast eller mobiltelefon-plast (chassis) inneholder kun lave konsentrasjoner av REE. I type 3 er det også lave verdier av REE.

For prøven med shredderfluff-materiale som ble separert kan det konkluderes med at prøvene inneholder lave verdier av de fleste REE, mens yttrium, praseodym, neodym, europium og terbium forekommer i relativt høye konsentrasjoner. CRT-støvprøven inneholder svært høye konsentrasjoner av yttrium og europium (1,44 % og 0,11 %).

Flere prøver av ulike mobiltelefoner og telefonfragmenter ble i denne oppgaven analysert for REE og edelmetaller. Det ble funnet høye konsentrasjoner av flere viktige REE (blant annet neodym og europium). I det tilgjengelige datasettet ble det observert at hvilke REE som benyttes i mobiltelefoner har endret seg med teknologiutviklingen, spesielt gjelder dette neodym og cerium.

Prøvetakning 3, der det ble sett nærmere på produktgrupper, og mobiltelefon-shredder ble i tillegg analysert for edelmetaller. Alle prøvene, bortsett fra type 3, inneholdt høye konsentrasjoner av edelmetaller. Hvis EE-avfallet gjenvinnes vil det kunne være en viktig kilde til utvinning av edelmetaller. Flere av edelmetallene burde analyseres, for å se om det finnes ressurser her. Generelt for alle analysene er det lite thorium og uran, dette er dermed en stor fordel i forhold til tradisjonell gruvedrift.

I prøvene som har blitt analysert ble alle de sjeldne jordartsmetallene funnet, men det betyr ikke at det er store nok mengder til at dette er en geskjeft som er lønnsom å drive. Generelt er det lave konsentrasjoner av REE i de ulike fraksjonene. Det finnes noen EE-produkter som inneholder store nok mengder til at det muligens kan være drivverdig å prosessere avfallet på en slik måte at man får gjenvunnet de aktuelle sjeldne jordmetallene. Disse prøvene burde undersøkes videre om de kan være økonomisk drivverdig. Flere produktgrupper, som for eksempel resirkulering av bil, store batteri, kretskort, hybrid- og elektriskebiler burde undersøkes nærmere for å se om de inneholder større mengder REE og/eller edelmetaller.

5 Konklusjon og anbefalinger for videre arbeid

Det burde også analyseres flere mobiltelefoner, både eldre og nyere, for å se om det er sammenheng mellom gammel/ny og knappetelefon/smarttelefon.

Det er også et viktig poeng at det ikke har blitt analysert prøver av høyverdi kretskort. Denne batchen sendes nå til Sverige for metallgjenvinning av gull og sølv. Denne burde også undersøkes for REE og andre edelmetaller enn gull og sølv. I avsnitt 2.4.4 er det beskrevet at Umicore og Rhodia har utviklet en metode for resirkulering av REE fra NiMH-batterier og dette burde det sees nærmere på.

EE-avfall er en stor sekundær råvare på grunn av sitt innhold av tungmetaller, edelmetaller og sjeldne jordartsmetaller. Det bør settes mer fokus på innsamling av EE-avfall og erstatninger av REE. Sjeldne jordartsmetaller og flere av edelmetallene gjenvinnes ikke fra EE-avfall i Norge i dag. Dette må det gjøres noe med! Myndighetene må også komme på banen med utforming av lovverk som gjør gjenvinning enklere. Det må stilles krav til produsentene av EE-produkter at de skal tilstrebe design av sine produkter slik at de er lettere å separere. Om mulig må det også komme krav om innholdsdeklarasjon også av EE-produkter for å forenkle gjenvinningsprosessen. I dag finnes det krav om hva produkter ikke skal inneholde, en mer nyttig informasjon er å vite hva produktene faktisk inneholder. Det anbefales også at man tar mer kontakt med prosjektgruppen i Sintef (i Trondheim) som jobber med resirkulering av EE-avfall, dette er beskrevet nærmere i avsnitt 2.4.2

6 Litteraturliste

- Australian Rare Earths, 2009, <http://www.australianrareearths.com/>, [Nedlastet 01.04. 2013].
- Beauford, R., 2010, *rareearthelements*, www.rareearthelements.us, [Nedlastet 20.02. 2013].
- Boyd, R., 2011, *Mineral- og metallressurser i Norge: Potensial og strategisk betydning*, <http://www.ngu.no/no/hm/Publikasjoner/Rapporter/2011/2011-030/>.
- Brastad, O. *Innledning urban mining*. Foredrag på Bellonas Ressursforum 01.10.2012.
- Carlin, M. *Urban Mining*. Foredrag på Bellonas Ressursforum 01.10.2012. Mats Carlin: Forskningsjef SINTEF.
- Carlsen, C. C., 2012, *Så mye får du for din gamle mobil* <http://www.teknofil.no/artikler/sa-mye-far-du-for-din-gamle-mobil/112283>, [Nedlastet 22.03. 2013].
- Chancerel, P. & Rotter, S. 2009, *Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment*. *Waste management*, **29**, 2336-2352.
- EE-registeret, 2011, *Årsrapport*, <http://www.eeregisteret.no/File/EE-registerets%20%C3%A5rsrapport%202011.pdf>.
- EE-registeret, 2012, *Årsrapport*, <http://www.eeregisteret.no/File/EE-registerets%20%C3%A5rsrapport%202012.pdf>.
- Elektronikkbransjen, *Må vi alle bli kjemikere?*, <http://www.elektronikkbransjen.no/index.php/Om-oss/Nyheter/Maa-vi-alle-bli-kjemikere>, [Nedlastet 18.04. 2013].
- Elretur, 2010, *En gjennomgang av lovverket er nødvendig* <http://www.elretur.no/nor/Elretur/Presse/En-gjennomgang-av-lovverket-er-noedvendig>.
- Emsley, J. 2011, *Nature's buildings blocks - An A-Z Guide to the Elements*.
- Europaportalen, 2012, *RoHS-2*, <http://www.regjeringen.no/nb/sub/europaportalen/eos/eos-notatbasen/notatene/2008/okt/ee-produkter.html?id=538735>, [Nedlastet 09.04. 2013].
- Flem, B. *Urban mining* Foredrag på Bellonas Ressursforum 01.10.2012.
- Geology.com, *REE - Rare Earth Elements and their Uses*, <http://geology.com/articles/rare-earth-elements/>, [Nedlastet 22.03. 2013].

- Gire Dahl, A. I., 2012, *Innsamling av kasserte mobiltelefoner i kommuner med henteordning for småelektronikkavfall. En kartlegging av innsamlingsgrad og klimautslipp*. Masteroppgave, Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.
- Gire Dahl, A. I. & Lyng, K.-A., 2011, *Elektrisk og elektronisk avfall, En litteraturstudie*, <http://ostfoldforskning.no/uploads/dokumenter/publikasjoner/683.pdf>.
- Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J.-P., Reck, B. K., Sibley, S. F., Sonnemann, G., Buchert, M. & HageLuken, C., 2011, *Recycling Rates of Metals - A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel*
Graedel
- Hagelüken, C. & Meskers, C., 2008, *Mining our computers-opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from End-of-Life electronic devices*.
- Halaas, E., 2012, *Ingen henteplan for EE-avfall*
<http://www.avfallnorge.no/nyheter1.cfm?pArticleId=26900&pArticleCollectionId=2556>.
- HALADA, K., *Urban mining to recycle critical metals in electric products*,
http://www.raeng.org.uk/international/activities/pdf/UK_Japan_Symposium_Green_Manufacturing_Eco_innovation/Kohmei_Halada.pdf.
- Hamnes, L., Teknisk ukeblad, 2012, *SJELDNE JORDARTER, Kinas mineralmonopol skaper frykt*, <http://www.tu.no/industri/2012/06/25/kinas-monopol-skaper-frykt>, [Nedlastet 25.06. 2012].
- Heggelund, T., 2012, *Har mobiler for 4,5 milliarder liggende hjemme*,
<http://www.mobizmag.no/2012/10/04/har-mobiler-for-45-milliarder-liggende-hjemme/>, [Nedlastet 22.03. 2013].
- Heie, A., 2009, *Notat for Prøvetakning av utsortert plastfraksjon*, Ikke publisert.
- Hischier, R., Wäger, P. & Gauglhofer, J. 2005, *Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective?: The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE)*. Environmental Impact Assessment Review, **25**, 525-539.
- Huang, K., Guo, J. & Xu, Z. 2008, *Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China*. Journal of Hazardous Materials.

- Husby, G. K., *Ettertraktet søppel*, <http://www.elretur.no/nor/Elretur/Presse/Ettertraktet-soeppel>, [Nedlastet 23.04. 2013].
- Husby, G. K., 2010, *Miljørapport*
<http://www.elretur.no/nor/content/search?SearchText=milj%C3%B8rapport>.
- Husby, G. K., 2011, *Miljørapport*,
<http://www.elretur.no/nor/content/search?SearchText=milj%C3%B8rapport>.
- Jakobsen, H. Ø., 2012, *Vanskeligere å finne gull*,
<http://www.forskning.no/artikler/2012/mars/315806>, [Nedlastet 22.03. 2013].
- Jentoft, H., 2010, *Alt EE-avfall må hentes til trygg behandling*,
<http://www.avfallnorge.no/nyheter1.cfm?pArticleId=18216>.
- Kingsnorth, D. J. 2010 of conference *The Challenges of Meeting Rare Earths Demand in 2015*. Industrial Minerals Company of Australia Pty Ltd, TREM '10 (Technology and Rare Earth Metals Policy Conference),
http://www.tremcenter.org/index.php?option=com_attachments&task=download&id=11.
- Lovdata 2004, *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften)*
MILJØVERNDEPARTEMENTET. <http://www.lovdatab.no/for/sf/md/md-20040601-0930.html>.
- M., A., 2011, *Electronic waste, Garbage in, garbage out*,
http://www.economist.com/blogs/babbage/2011/04/electronic_waste, [Nedlastet 22.03. 2013].
- Massari, S. & Ruberti, M. 2012, *Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies*. Resources Policy.
- Mathisen, S., 2012, *Foreslår å forby søppelfyllinger*,
<http://www.regjeringen.no/nb/sub/europaportalen/aktuelt/nyheter/2012/foreslar-a-forby-soppelfyllinger.html?id=700616>, [Nedlastet 08.04. 2013].
- Molycorp, *The many uses of Rare Earths*, http://www.molycorp.com/wp-content/uploads/RE_Applications.pdf, [Nedlastet 11.04. 2013].
- Moss Avis, 2012, *Østlenninger har 3,5 millioner gamle mobiler*, <http://www.moss-avis.no/nyheter/ostlenninger-har-3-5-millioner-gamle-mobiler-1.7069044>, [Nedlastet 22.03. 2013].

6 Litteraturliste

- New Boliden, *Produkter*, <http://www.boliden.com/sv/Produkter/>, [Nedlastet 06.05. 2013].
- NGU, 2007, *Edelmetaller*, <http://www.ngu.no/no/hm/Georessurser/Metaller/Edelmetaller/>, [Nedlastet 21.09 2012].
- Nilsen, J., 2010, *Avfallskrisen er ikke løst*, <http://www.tu.no/industri/2010/11/01/fullt-innsamlingskaos-for-miljofarlig-avfall>, [Nedlastet 16.04.2013 2013].
- Norges høyesterett, 2007, *Domsavgjørelse, mobil levetid*, <http://www.elektronikkbransjen.no/Rammebetingelser/Juridisk/Dommer-og-avgjoerelser/Domsavgjoerelse-mobil-levetid>, [Nedlastet 22.03. 2013].
- Norsk lovtidend 2006, *Forskrift om endring i forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften)* MILJØVERNDEPARTEMENTET. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20050502-0406.html>.
- Ongondo, F. O., Williams, I. D. & Cherrett, T. J. 2011, *How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes*. *Waste management*, **31**, 714-730.
- Ottesen, R. T., 2011, *Prosjektbeskrivelse innlevert av Rolf Tore Ottesen til Elretur for søknad om Elreturs miljøpris*, Ikke publisert.
- Ottesen, R. T., Flem, B., Rusti, E. H. & Blomli, J., 2013, *Urban Mining- utvinning av metaller i elektrisk og elektronisk avfall*, Utkast til NGU-rapport, Ikke publisert.
- Paul, J. & Campbell, G. 2011, *Investigating Rare Earth Element Mine Development in EPA Region 8 and Potential Environmental Impacts*. United States Environmental Protection Agency.
- pdadb.net, 2008, *Detailed Technical Datasheet of Nokia 5800 / 5800d-1 XpressMusic (Nokia Tube)*, http://pdadb.net/index.php?m=specs&id=1336&view=1&c=nokia_5800_5800d-1_xpressmusic_nokia_tube, [Nedlastet 22.03. 2013].
- Periodesystemet.no, *Periodesystemet*, <http://www.mn.uio.no/kjemi/tjenester/kunnskap/periodesystemet/>, [Nedlastet 22.03. 2013].
- Pipkin, B., Trent, D. D., Hazlett, R. & Bierman, P. 2011, *Geology and the Environment*.
- Press Release Nokia, 2005, *Nokia Introduces Nokia 2652, fold design for new growth markets, Major milestone reached - one billionth Nokia mobile phone sold this*

- summer <http://press.nokia.com/2005/09/21/nokia-introduces-nokia-2652-fold-design-for-new-growth-markets-major-milestone-reached-one-billionth-nokia-mobile-phone-sold-this-summer/>, [Nedlastet 21.03. 2013].
- REE minerals, 2012, *REE (Rare Earth Elements)*, www.reeminerals.no/, [Nedlastet 02.05. 2013].
- Reimann, C. & Caritat, P. 1998, *Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist*, Springer-Verlag.
- Robinson, B. H. 2009, *E-waste: An assessment of global production and environmental impact* Science of the Total Environment.
- s21, 2003, *Nokia 5100 Review*, <http://www.s21.com/nokia-5100.htm>, [Nedlastet 21.03. 2013].
- Schüler, D. D., Buchert, D. M., Liu, D.-I. R., Dittrich, D.-G. S. & Merz, D.-I. C., 2011, *Study on Rare Earths and Their Recycling*.
- Solheim, A. M., 2011, *En mobiltelefon med gode taster* http://www.amobil.no/artikler/nokia_c2-01/98614, [Nedlastet 21.03. 2013].
- Steiner, A. & Graedel, T. E. 2011, *Recycling Rates of Metals*. United Nations Environment Programme (UNEP).
- Stellman, J. M. 1998, *Encyclopaedia of occupational health and safety*, International Labour Organisation.
- Tanskanen, P. 2012, *Electronics Waste: Recycling of Mobile Phones*, redaktør: PROF. ENRI DAMANHURI (ed.) *Post-Consumer Waste Recycling and Optimal Production*. <http://www.intechopen.com/books/post-consumer-waste-recycling-and-optimal-production/electronics-waste-recycling-of-mobile-phones> InTech.
- Trigaux, D., 2012, *"The US, China and Rare Earth Metals": The Future Of Green Technology, Military Tech, and a Potential Achilles Heel to American Hegemony*. University of South Florida St. Petersburg.
- Trondheim Kommune, 2012, *Farlig avfall*, <http://www.trondheim.kommune.no/content/1117725603/Farlig-avfall>, [Nedlastet 22.03. 2013].

Tønseth, S., 2012, *Gjenbruk skal redde fornybar-offensiv*,

<http://www.sintef.no/Presserom/Forskningsaktuelt/Gjenbruk-skal-redde-fornybar-offensiv/> Sintef, [Nedlastet 14.03 2013].

WEEE Recycling 2012a. Diverse møter hos bedriften.

WEEE Recycling, 2012b, *Om bedriften*,

http://www.weee.no/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=27, [Nedlastet 22.03. 2013].

Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M. & Böni, H. 2005, *Global perspectives on e-waste*. Environmental Impact Assessment Review, **25**, 436-458.

World Nuclear Association, 2013, *Uranium from Rare Earths Deposits*, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Uranium-Resources/Uranium-From-Rare-Earths-Deposits/#.UW6jFsrX-GM>, [Nedlastet 17.04. 2013].

Zhang, K., Schnoor, J. L. & Zeng, E. J. 2012, *E-Waste Recycling: Where Does It Go from here?* .

Vedlegg

Vedlegg 1: Prøvetakning 1

Vedlegg 2: Prøvetakning 2

Vedlegg 3: Prøvetakning 3, plukkprøver

Vedlegg 4: Prøvetakning 3, hele prøven

Vedlegg 5: Mobiltelefoner

Vedlegg 6: Mobiltelefon-shredder Actlabs

Vedlegg 7: Mobiltelefon-shredder XRF

Metode : **Rare Earth Elements, ICPMS**
Dato : 20120106
Beregning og kvalitetsikring : **DASV**

Prøve

Element	Mass	LOQ (mg/kg TS)	C6504001	C6504002
			439-2011-1250023 Konc (mg/kg TS)	439-2011-1250024 Konc (mg/kg TS)
Ce	140	1	180	210
Dy	163	1	1,1	8,6
Er	166	1	<1	<1
Eu	153	1	1,3	16
Gd	157	1	19	13
Ho	165	1	<1	<1
La	139	1	430	52
Lu	175	1	<1	<1
Nd	146	1	45	210
Pr	141	1	5	26
Sm	147	1	8,9	4,6
Tb	159	1	<1	4,5
Th	232	1	3,5	4,8
Tm	169	1	<1	<1
U	238	1	2,1	3,3
Yb	172	1	<1	<1

table of analytical results

sample designation		439-2012-11190016		439-2012-11190017		439-2012-11190018		439-2012-11190019		439-2012-11190020	
Lab ID		112063238		112063239		112063240		112063241		112063242	
	unit	OS	DS	OS	DS	OS	DS	OS	DS	OS	DS
dry matter	% (w/w)	99,7	-	97,3	-	99,4	-	98,5	-	98,9	-
Decabromdiphenylether	mg/kg	-	18	-	113	-	352	-	1620	-	28300
Heptabromdiphenylether	mg/kg	-	0,23	-	0,48	-	0,66	-	3,7	-	212
Hexabromdiphenylether	mg/kg	-	0,080	-	0,18	-	0,42	-	1,8	-	799
Hexabromocyclododecan	mg/kg	-	< 0,01	-	< 0,01	-	< 0,01	-	< 0,01	-	< 0,01
Nonabromdiphenylether	mg/kg	-	3,9	-	4,0	-	5,5	-	22	-	1820
Octabromdiphenylether	mg/kg	-	0,58	-	0,96	-	0,75	-	3,4	-	253
Pentabromdiphenylether	mg/kg	-	0,92	-	4,3	-	6,7	-	37	-	13100
Tetrabrombisphenol A	mg/kg	-	7,9	-	4,7	-	7,8	-	599	-	27
Tetrabromdiphenylether	mg/kg	-	0,35	-	1,4	-	3,7	-	12	-	8900
bisphenol-A		-	xxx	-	xxx	-	34	-	56	-	13
aqua regia digestion	MJ/kg										
arsenic (As)	mg/kg	-	6,2	-	9,7	-	2,5	-	xxx	-	21
lead (Pb)	mg/kg	-	240	-	1400	-	360	-	xxx	-	3960
cadmium (Cd)	mg/kg	-	7,4	-	33	-	19	-	xxx	-	170
chromium ges. (Cr)	mg/kg	-	35	-	120	-	56	-	xxx	-	220
copper (Cu)	mg/kg	-	18200	-	3060	-	3530	-	xxx	-	5050
nickel (Ni)	mg/kg	-	50	-	240	-	82	-	xxx	-	540
mercury (Hg)	mg/kg	-	2,1	-	4,5	-	7,4	-	xxx	-	3,2
Zinc (Zn)	mg/kg	-	1160	-	3880	-	960	-	xxx	-	8520
rare earth elements											
Sc	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	0,5	-	xxx	-	xxx
Y	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	30	-	xxx	-	xxx
La	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	4,8	-	xxx	-	xxx
Ce	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	2,9	-	xxx	-	xxx
Pr	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	2,4	-	xxx	-	xxx
Nd	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	24	-	xxx	-	xxx
Sm	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	0,7	-	xxx	-	xxx
Eu	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	2,4	-	xxx	-	xxx
Gd	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	1,5	-	xxx	-	xxx
Tb	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	1,1	-	xxx	-	xxx
Dy	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	1,1	-	xxx	-	xxx
Ho	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx	-	xxx
Er	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	0,1	-	xxx	-	xxx
Tm	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx	-	xxx
Yb	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx	-	xxx
Lu	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx	-	xxx
Th	mg/kg	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx	-	xxx
Summe PCB (Ballschmitter Skala)	mg/kg	-	1,13	-	4,85	-	2,41	-	6,81	-	16,1
PCB 28	mg/kg	-	0,60	-	2,6	-	1,3	-	4,1	-	8,2
PCB 52	mg/kg	-	0,25	-	0,90	-	0,56	-	1,5	-	3,5
PCB 101	mg/kg	-	0,09	-	0,38	-	0,17	-	0,49	-	1,1
PCB 118	mg/kg	-	0,08	-	0,36	-	0,15	-	0,04	-	0,86
PCB 153	mg/kg	-	0,04	-	0,21	-	0,08	-	0,23	-	0,44
PCB 138	mg/kg	-	0,07	-	0,33	-	0,12	-	0,34	-	0,77
PCB 180	mg/kg	-	< 0,01	-	0,12	-	0,04	-	0,11	-	0,22

xxx - determination not required

table of analytical results

sample designation		439-2012-11190021		439-2012-11190022		439-2012-11190023		439-2012-11190024		439-2012-11190025	
Lab ID		112063243		112063244		112063245		112063246		112063247	
	unit	OS	DS	OS	DS	OS	DS	OS	DS	OS	DS
dry matter	% (w/w)	99,0	-	99,8	-	99,7	-	99,8	-	98,4	-
Decabromdiphenylether	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	15	-	71
Heptabromdiphenylether	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	0,18	-	3,6
Hexabromdiphenylether	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	< 0,01	-	2,4
Hexabromocyclododecan	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	< 0,01	-	< 0,1
Nonabromdiphenylether	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	< 0,01	-	2,0
Octabromdiphenylether	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	< 0,01	-	1,3
Pentabromdiphenylether	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	0,22	-	2,3
Tetrabrombisphenol A	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	1900	-	1730
Tetrabromdiphenylether	mg/kg	-	-	-	xxx	-	-	-	0,15	-	1,3
bisphenol-A		-	26	-	xxx	-	xxx	-	2,9	-	10
aqua regia digestion	MJ/kg										
arsenic (As)	mg/kg	-	23	-	7,6	-	xxx	-	1,0	-	36
lead (Pb)	mg/kg	-	3540	-	920	-	xxx	-	16300	-	4900
cadmium (Cd)	mg/kg	-	190	-	29	-	xxx	-	330	-	99
chromium ges. (Cr)	mg/kg	-	410	-	130	-	xxx	-	23	-	280
copper (Cu)	mg/kg	-	3570	-	4750	-	xxx	-	49	-	1540
nickel (Ni)	mg/kg	-	1080	-	1150	-	xxx	-	130	-	460
mercury (Hg)	mg/kg	-	7,3	-	3,6	-	xxx	-	1,7	-	17
Zinc (Zn)	mg/kg	-	16100	-	4910	-	xxx	-	35500	-	10800
melting digestion											
aluminium (Al)	% (w/w)	-	xxx	-	69,9	-	xxx	-	xxx	-	xxx
rare earth elements											
Sc	mg/kg	-	1,1	-	xxx	-	xxx	-	0,2	-	xxx
Y	mg/kg	-	240	-	xxx	-	xxx	-	14400	-	xxx
La	mg/kg	-	38	-	xxx	-	xxx	-	1,7	-	xxx
Ce	mg/kg	-	19	-	xxx	-	xxx	-	7,9	-	xxx
Pr	mg/kg	-	25	-	xxx	-	xxx	-	0,4	-	xxx
Nd	mg/kg	-	260	-	xxx	-	xxx	-	1,7	-	xxx
Sm	mg/kg	-	12	-	xxx	-	xxx	-	11	-	xxx
Eu	mg/kg	-	18	-	xxx	-	xxx	-	1070	-	xxx
Gd	mg/kg	-	12	-	xxx	-	xxx	-	0,8	-	xxx
Tb	mg/kg	-	5,2	-	xxx	-	xxx	-	0,6	-	xxx
Dy	mg/kg	-	10	-	xxx	-	xxx	-	0,2	-	xxx
Ho	mg/kg	-	0,4	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx
Er	mg/kg	-	1,1	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx
Tm	mg/kg	-	< 0,1	-	xxx	-	xxx	-	0,3	-	xxx
Yb	mg/kg	-	0,5	-	xxx	-	xxx	-	0,1	-	xxx
Lu	mg/kg	-	< 0,1	-	xxx	-	xxx	-	< 0,1	-	xxx
Th	mg/kg	-	1,3	-	xxx	-	xxx	-	0,1	-	xxx
Summe PCB (Ballschmitter Skala)	mg/kg	-	7,70	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	3,02
PCB 28	mg/kg	-	4,1	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	1,0
PCB 52	mg/kg	-	1,7	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	0,54
PCB 101	mg/kg	-	0,58	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	0,40
PCB 118	mg/kg	-	0,48	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	0,39
PCB 153	mg/kg	-	0,25	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	0,21
PCB 138	mg/kg	-	0,39	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	0,39
PCB 180	mg/kg	-	0,14	-	xxx	-	< 0,01	-	< 0,01	-	0,08

xxx - determination not required

OS - original substance
DS - dry substanceTest-Report-No.: 11212047
first results from 27.11.2012

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150118
matrix		Printed circuit boards 347 g
Lab ID		113001612
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	35
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	0,028
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	0,18
octabromodiphenyl ether	mg/kg	0,28
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	27
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
bisphenol A	mg/kg	
nonylphenol	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,33
PCB 28	mg/kg	0,02
PCB 52	mg/kg	0,08
PCB 101	mg/kg	0,07
PCB 118	mg/kg	0,07
PCB 153	mg/kg	0,04
PCB 138	mg/kg	0,05
PCB 180	mg/kg	< 0,01
arsenic	mg/kg	19
lead	mg/kg	24700
cadmium	mg/kg	9,8
chromium	mg/kg	140
copper	mg/kg	197000
nickel	mg/kg	5460
mercury	mg/kg	0,20
zinc	mg/kg	18700
lanthanum	mg/kg	5,4
cerium	mg/kg	14
neodymium	mg/kg	420
europium	mg/kg	1,6

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01160119
matrix		Plastic 53 g
Lab ID		113001613
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	0,12
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	1,1
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	0,050
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	0,54
octabromodiphenyl ether	mg/kg	1,1
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	2,7
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	0,086
bisphenol A	mg/kg	
nonylphenol	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,61
PCB 28	mg/kg	0,03
PCB 52	mg/kg	0,11
PCB 101	mg/kg	0,16
PCB 118	mg/kg	0,14
PCB 153	mg/kg	0,08
PCB 138	mg/kg	0,08
PCB 180	mg/kg	0,01
arsenic	mg/kg	0,9
lead	mg/kg	3
cadmium	mg/kg	< 0,2
chromium	mg/kg	4
copper	mg/kg	89
nickel	mg/kg	4
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	97
lanthanum	mg/kg	0,9
cerium	mg/kg	1,7
neodymium	mg/kg	0,9
europium	mg/kg	0,3

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150120
matrix		Plastic 131,82 g
Lab ID		113001614
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,1
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	1,2
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	0,77
octabromodiphenyl ether	mg/kg	1,1
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	14
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
bisphenol A	mg/kg	
nonylphenol	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	1,95
PCB 28	mg/kg	0,56
PCB 52	mg/kg	0,25
PCB 101	mg/kg	0,35
PCB 118	mg/kg	0,34
PCB 153	mg/kg	0,18
PCB 138	mg/kg	0,26
PCB 180	mg/kg	0,01
arsenic	mg/kg	1,0
lead	mg/kg	25
cadmium	mg/kg	4,0
chromium	mg/kg	5
copper	mg/kg	33
nickel	mg/kg	9
mercury	mg/kg	0,26
zinc	mg/kg	410
lanthanum	mg/kg	0,85
cerium	mg/kg	2,8
neodymium	mg/kg	0,7
europium	mg/kg	< 0,1

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150121
matrix		Plastic 144 g
Lab ID		113001615
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	2,1
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	260
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	0,048
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	12
octabromodiphenyl ether	mg/kg	16
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	330
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
bisphenol A	mg/kg	
nonylphenol	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,39
PCB 28	mg/kg	0,03
PCB 52	mg/kg	0,10
PCB 101	mg/kg	0,08
PCB 118	mg/kg	0,08
PCB 153	mg/kg	0,04
PCB 138	mg/kg	0,06
PCB 180	mg/kg	< 0,01
arsenic	mg/kg	4,3
lead	mg/kg	5
cadmium	mg/kg	4,6
chromium	mg/kg	6
copper	mg/kg	6
nickel	mg/kg	7
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	1340
lanthanum	mg/kg	0,7
cerium	mg/kg	0,8
neodymium	mg/kg	0,8
europium	mg/kg	< 0,1

Vedlegg 4 Prøvetakning 3
Hele prøven

Side 1

Quality Analysis ...



Innovative Technologies

Date Submitted: 06-Mar-13
Invoice No.: A13-02510
Invoice Date: 20-Mar-13
Your Reference: 345400

Geological Survey of Norway
Postboks 6315 Sluppen
Trondheim N-7491
Norway

ATTN: Belinda Flem

CERTIFICATE OF ANALYSIS

3 Other samples were submitted for analysis.

The following analytical packages were requested: Code 1C-OES Fire Assay ICPOES
Code UT-7 Sodium Peroxide Fusion(ICP & ICPMS)

REPORT A13-02510

This report may be reproduced without our consent. If only selected portions of the report are reproduced, permission must be obtained. If no instructions were given at time of sample submittal regarding excess material, it will be discarded within 90 days of this report. Our liability is limited solely to the analytical cost of these analyses. Test results are representative only of material submitted for analysis.

Notes:

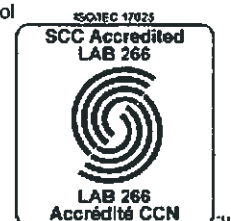
Ag is no longer reported by this package due to an interference in the crucible matrix.

CERTIFIED BY :

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Emmanuel Esemé". The signature is stylized with overlapping loops and a long horizontal stroke at the end.

Emmanuel Esemé, Ph.D.

Quality Control



ACTIVATION LABORATORIES LTD.

1336 Sandhill Drive, Ancaster, Ontario Canada L9G 4V5 TELEPHONE +1.905.648.9611 or
+1.888.228.5227 FAX +1.905.648.9613
E-MAIL Ancaster@actlabs.com ACTLABS GROUP WEBSITE www.actlabs.com

Activation Laboratories Ltd. Report: A13-02510

Analyte Symbol	Au	Pd	Pt	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ca	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Ge	Hf	Ho	In	La
Unit Symbol	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	2	5	5	5	10	3	3	2	2	0.8	0.2	30	0.1	2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.7	10	0.2	0.2	0.4
Analysis Method	FA-ICP	FA-ICP	FA-ICP	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2
1	> 30000	3050	< 5	9	6690	3560	< 3	220	< 2	21.1	73.0	80	0.6	248000	1.2	0.4	0.1	6.8	7.6	2.3	< 10	< 0.2	< 0.2	14.5
2	566	14	< 5	9	190	99	< 3	< 2	< 2	7.6	14.8	240	0.1	26900	< 0.3	< 0.1	0.2	2.1	0.3	2.9	< 10	< 0.2	< 0.2	4.1
3	15800	54	8	11	140	810	< 3	14	< 2	6.1	28.0	500	0.5	51000	0.3	0.1	0.1	63.5	0.4	2.3	< 10	< 0.2	< 0.2	4.0

Side 2

Activation Laboratories Ltd. Report: A13-02510

Analyte Symbol	Li	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	3	3	1	2.4	0.4	10	0.8	0.1	0.4	2	0.8	0.1	0.5	3	0.2	0.1	6	0.1	0.1	0.1	0.1	5	0.7	0.1
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2
1	19	306	9	2.5	32.0	1420	14200	3.0	1.1	744	191	1.3	30200	358	0.3	0.1	< 6	3.5	0.1	< 0.1	0.6	6	4.5	6.9
2	3	1150	112	3.9	4.5	240	302	1.0	2.1	2270	157	0.4	1690	45	0.4	< 0.1	< 6	0.6	< 0.1	< 0.1	0.2	13	1.8	2.0
3	4	1510	9	2.6	7.0	2230	1440	1.1	8.5	899	9.3	0.4	1400	154	0.3	< 0.1	< 6	0.7	0.2	< 0.1	0.8	52	6.5	2.5

Side 3

Analyte Symbol	Yb	Zn	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S	Si	Ti	Sc	Au
Unit Symbol	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	g/tonne
Detection Limit	0.1	30	0.01	0.01	0.05	0.1	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	10	0.03
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FA-GRA
1	0.5	10300	2.96	4.74	4.56	< 0.1	0.10	0.130	0.12	8.30	0.09	< 10	41.8
2	< 0.1	500	0.36	2.94	9.73	< 0.1	0.37	0.321	0.07	0.91	0.43	< 10	
3	0.1	4230	> 25.0	1.07	5.50	< 0.1	0.52	0.069	0.04	5.23	0.06	< 10	

Side 4

Activation Laboratories Ltd. Report: A13-02510

Quality Control																									
Analyte Symbol	Au	Pd	Pl	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Ge	Hf	Ho	In	La	
Unit Symbol	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Detection Limit	2	5	5	5	10	3	3	2	2	0.8	0.2	30	0.1	2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.7	10	0.2	0.2	0.4	
Analysis Method	FA-ICP	FA-ICP	FA-ICP	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	FUS-MS-Na2O2	
GXR-1 Meas				441	10	730	< 3	1490	2	15.2		< 30	3.0		4.7		0.6	14.9	4.4		< 10		1.0	8.2	
GXR-1 Cert				427	15.0	750	1.22	1380	3.30	17.0		12.0	3.00		4.30		0.690	13.8	4.20		0.960		0.770	7.50	
GXR-4 Meas				106	< 10	1720	< 3	18	< 2	112	15.6	60	2.8	7100	2.7		1.5	21.2	4.7		< 10		0.2	67.5	
GXR-4 Cert				98.0	4.50	1640	1.90	19.0	0.860	102	14.6	64.0	2.80	6520	2.60		1.63	20.0	5.25		6.30		0.270	64.5	
PTM-1a Meas				2100							20700			246000											
PTM-1a Cert				2200							20500.00			249600.00											
NIST 696 Meas													310												
NIST 696 Cert													321.0												
OREAS 14P Meas												776		10200											
OREAS 14P Cert												750		9970											
MP-1b Meas				22800				891	547					32000									590		
MP-1b Cert				23000.00				954.0000	527.0000					30690.0000									565		
DNC-1a Meas						106						61.2	300	97			0.6							3.4	
DNC-1a Cert						118						57.0	270	100.0			0.59							3.6	
CDN-GS-6A Meas																									
CDN-GS-6A Cert																									
CZN-4 Meas				382					2700			102		4270											
CZN-4 Cert				356.0000					2604.0000			93.5		4030.0000											
CDN-PGMS-23 Meas	490	1890	458																						
CDN-PGMS-23 Cert	496.0000	2032.0000	456.0000																						
2 Orig	589	13	< 5																						
2 Dup	542	15	< 5																						
Method Blank				< 5	< 10	< 3	< 3	< 2	< 2	< 0.8	< 0.2	< 30	< 0.1	< 2	< 0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 0.1	< 0.7	< 10	< 0.2	< 0.2	< 0.4	
Method Blank				< 5	< 10	< 3	< 3	< 2	< 2	< 0.8	< 0.2	< 30	< 0.1	< 2	< 0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 0.1	< 0.7	< 10	< 0.2	< 0.2	< 0.4	

side 5

Quality Control																								
Analyte Symbol	Li	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tm	U	V	W	Y
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	3	3	1	2.4	0.4	10	0.8	0.1	0.4	2	0.8	0.1	0.5	3	0.2	0.1	6	0.1	0.1	0.1	0.1	5	0.7	0.1
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2
GXR-1 Meas	11	931	18	< 2.4						132	18.0	2.8		302	< 0.2	0.8	13	2.7	0.4	0.4	36.5	88	177	31.3
GXR-1 Cert	8.20	852	18.0	0.800						122	16.6	2.70		275	0.175	0.830	13.0	2.44	0.390	0.430	34.9	80.0	164	32.0
GXR-4 Meas	14	157	343	9.8	45.3	40	53.9		157	6	5.8	6.5		232	0.7		< 5	23.1	3.5	0.2	6.3	89		14.9
GXR-4 Cert	11.1	155	310	10.0	45.0	42.0	52.0		160	4.80	5.60	6.60		221	0.790		0.970	22.5	3.20	0.210	6.20	87.0		14.0
PTM-1a Meas																								
PTM-1a Cert																								
NIST 696 Meas																								
NIST 696 Cert																								
OREAS 14P Meas																								
OREAS 14P Cert																								
MP-1b Meas			305				22400			52			16700											1140
MP-1b Cert			285				20910.000			54.0			16100.000											1100.000
DNC-1a Meas	6				4.8	270				< 2				139								156		16.4
DNC-1a Cert	5.20				5.20	247				0.96				144.0								148.00		18.0
CDN-GS-6A Meas																								
CDN-GS-6A Cert																								
CZN-4 Meas																								
CZN-4 Cert																								
CDN-PGMS-23 Meas																								
CDN-PGMS-23 Cert																								
2 Orig																								
2 Dup																								
Method Blank	< 3	< 3	< 1	< 2.4	< 0.4	< 10	< 0.8	< 0.1	< 0.4	< 2	< 0.8	< 0.1	< 0.5	< 3	< 0.2	< 0.1	< 6	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 5	< 0.7	< 0.1
Method Blank	< 3	< 3	< 1	< 2.4	< 0.4	< 10	< 0.8	< 0.1	< 0.4	< 2	< 0.8	< 0.1	< 0.5	< 3	< 0.2	< 0.1	< 6	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 5	< 0.7	< 0.1

Side 6

Quality Control													
Analyte Symbol	Yb	Zn	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S	Si	Ti	Sc	Au
Unit Symbol	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	g/tonne
Detection Limit	0.1	30	0.01	0.01	0.05	0.1	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	10	0.03
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FA-GRA
GXR-1 Meas			3.64	0.89	25.4		0.22	0.066					30
GXR-1 Cert			3.52	0.960	23.6		0.217	0.0650					1.58
GXR-4 Meas													50
GXR-4 Cert													7.70
PTM-1a Meas									21.9				
PTM-1a Cert									22.4				
NIST 696 Meas			> 25.0										
NIST 696 Cert			28.9										
OREAS 14P Meas					36.7								
OREAS 14P Cert					37.2								
MP-1b Meas		176000		2.61	8.28				13.5	16.9			
MP-1b Cert		166700.00		2.47	8.19				13.79	16.79			
DNC-1a Meas	2.0	70											40
DNC-1a Cert	2.0	70.0											31
CDN-GS-6A Meas													5.36
CDN-GS-6A Cert													5.79
CZN-4 Meas		586000							32.1	0.28			
CZN-4 Cert		552400.00							33.07	0.295			
CDN-PGMS-23 Meas													
CDN-PGMS-23 Cert													
2 Orig													
2 Dup													
Method Blank	< 0.1	< 30	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.1	< 0.01	< 0.005	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 10	
Method Blank	< 0.1	< 30											

Sida 7

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150122
matrix		mobile battery 18,5 g
Lab ID		113001616
		as received
bisphenol A	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	2,43
PCB 28	mg/kg	0,51
PCB 52	mg/kg	1,0
PCB 101	mg/kg	0,47
PCB 118	mg/kg	0,28
PCB 153	mg/kg	0,08
PCB 138	mg/kg	0,08
PCB 180	mg/kg	0,01
arsenic	mg/kg	47
lead	mg/kg	220
cadmium	mg/kg	0,3
chromium	mg/kg	72
copper	mg/kg	148000
nickel	mg/kg	390
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	150
lanthanum	mg/kg	3,4
cerium	mg/kg	2,4
neodymium	mg/kg	49
europium	mg/kg	0,1

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150123
matrix		battery 17,4 g
Lab ID		113001817
		as received
bisphenol A	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	1,86
PCB 28	mg/kg	0,11
PCB 52	mg/kg	0,42
PCB 101	mg/kg	0,46
PCB 118	mg/kg	0,35
PCB 153	mg/kg	0,24
PCB 138	mg/kg	0,25
PCB 180	mg/kg	0,03
arsenic	mg/kg	26
lead	mg/kg	57
cadmium	mg/kg	0,3
chromium	mg/kg	3240
copper	mg/kg	97400
nickel	mg/kg	16700
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	600
lanthanum	mg/kg	1,5
cerium	mg/kg	15
neodymium	mg/kg	35
europium	mg/kg	0,5

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150124
matrix		battery 26 g
Lab ID		113001618
		as received
bisphenol A	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,73
PCB 28	mg/kg	0,03
PCB 52	mg/kg	0,14
PCB 101	mg/kg	0,18
PCB 118	mg/kg	0,14
PCB 153	mg/kg	0,10
PCB 138	mg/kg	0,13
PCB 180	mg/kg	0,01
arsenic	mg/kg	73
lead	mg/kg	27
cadmium	mg/kg	0,2
chromium	mg/kg	110
copper	mg/kg	42700
nickel	mg/kg	4600
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	420
lanthanum	mg/kg	1,5
cerium	mg/kg	1,8
neodymium	mg/kg	240
europium	mg/kg	0,4

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150125
matrix		mobile phone with Board 66,5 g
Lab ID		113001619
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	630
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	0,037
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	10
octabromodiphenyl ether	mg/kg	0,25
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	1,1
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
bisphenol A	mg/kg	
nonylphenol	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,80
PCB 28	mg/kg	0,03
PCB 52	mg/kg	0,14
PCB 101	mg/kg	0,20
PCB 118	mg/kg	0,16
PCB 153	mg/kg	0,12
PCB 138	mg/kg	0,12
PCB 180	mg/kg	0,03
arsenic	mg/kg	82
lead	mg/kg	3500
cadmium	mg/kg	0,2
chromium	mg/kg	1960
copper	mg/kg	102000
nickel	mg/kg	10700
mercury	mg/kg	0,10
zinc	mg/kg	2700
lanthanum	mg/kg	5,4
cerium	mg/kg	6,8
neodymium	mg/kg	1470
europium	mg/kg	1,8

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150126
matrix		mobile phone with Board 80 g
Lab ID		113001620
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,1
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	0,18
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
octabromodiphenyl ether	mg/kg	0,014
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	1,0
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
bisphenol A	mg/kg	
nonylphenol	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,42
PCB 28	mg/kg	0,02
PCB 52	mg/kg	0,10
PCB 101	mg/kg	0,11
PCB 118	mg/kg	0,08
PCB 153	mg/kg	0,06
PCB 138	mg/kg	0,05
PCB 180	mg/kg	< 0,01
arsenic	mg/kg	23
lead	mg/kg	51
cadmium	mg/kg	0,2
chromium	mg/kg	1320
copper	mg/kg	140000
nickel	mg/kg	2340
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	21300
lanthanum	mg/kg	2,3
cerium	mg/kg	3,2
neodymium	mg/kg	29
europium	mg/kg	2,9

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150127
matrix		Plastic sleeve 15 g
Lab ID		113001621
		as received
bisphenol A	mg/kg	
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	1,06
PCB 28	mg/kg	0,05
PCB 52	mg/kg	0,20
PCB 101	mg/kg	0,27
PCB 118	mg/kg	0,21
PCB 153	mg/kg	0,15
PCB 138	mg/kg	0,16
PCB 180	mg/kg	0,02
arsenic	mg/kg	0,8
lead	mg/kg	6
cadmium	mg/kg	< 0,2
chromium	mg/kg	22
copper	mg/kg	24
nickel	mg/kg	22
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	200
lanthanum	mg/kg	1,2
cerium	mg/kg	2,1
neodymium	mg/kg	2,4
europium	mg/kg	0,3

Results

of solid phase test

sample		439-2013-01150128
matrix		Plastic sleeve 6 g
Lab ID		113001622
		as received
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,10
PCB 28	mg/kg	0,02
PCB 52	mg/kg	0,03
PCB 101	mg/kg	0,03
PCB 118	mg/kg	0,02
PCB 153	mg/kg	< 0,01
PCB 138	mg/kg	< 0,01
PCB 180	mg/kg	< 0,01
arsenic	mg/kg	< 0,8
lead	mg/kg	4
cadmium	mg/kg	< 0,2
chromium	mg/kg	6
copper	mg/kg	8
nickel	mg/kg	4
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	25
lanthanum	mg/kg	0,2
cerium	mg/kg	0,3
neodymium	mg/kg	0,3
europium	mg/kg	< 0,1

Results

of solid phase test

sample		439-2013-02200001
matrix		electrical scrap waste
Lab ID		113007659
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,1
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
octabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	0,17
bisphenol A	mg/kg	23
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,13
PCB 28	mg/kg	< 0,01
PCB 52	mg/kg	0,018
PCB 101	mg/kg	0,018
PCB 118	mg/kg	< 0,01
PCB 153	mg/kg	0,029
PCB 138	mg/kg	0,046
PCB 180	mg/kg	0,016
arsenic	mg/kg	11
lead	mg/kg	34
cadmium	mg/kg	< 0,2
chromium	mg/kg	55700
copper	mg/kg	120000
nickel	mg/kg	33400
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	7960
lanthanum	mg/kg	7
cerium	mg/kg	12
neodymium	mg/kg	6
europium	mg/kg	< 1

Results

of solid phase test

sample		439-2013-02200002
matrix		electrical scrap waste
Lab ID		113007660
		as received
bisphenol A	mg/kg	18
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,03
PCB 28	mg/kg	< 0,01
PCB 52	mg/kg	< 0,01
PCB 101	mg/kg	< 0,01
PCB 118	mg/kg	< 0,01
PCB 153	mg/kg	0,013
PCB 138	mg/kg	0,018
PCB 180	mg/kg	< 0,01
arsenic	mg/kg	46,1
lead	mg/kg	91
cadmium	mg/kg	< 0,2
chromium	mg/kg	92
copper	mg/kg	59200
nickel	mg/kg	6570
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	370
lanthanum	mg/kg	5
cerium	mg/kg	6
neodymium	mg/kg	11
europium	mg/kg	< 1

Results

of solid phase test

sample		439-2013-02200035
matrix		electrical scrap waste
Lab ID		113007661
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,1
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
octabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	0,71
bisphenol A	mg/kg	9,6
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,01
PCB 28	mg/kg	< 0,01
PCB 52	mg/kg	< 0,01
PCB 101	mg/kg	< 0,01
PCB 118	mg/kg	< 0,01
PCB 153	mg/kg	< 0,01
PCB 138	mg/kg	0,011
PCB 180	mg/kg	< 0,01
arsenic	mg/kg	5
lead	mg/kg	3220
cadmium	mg/kg	1,4
chromium	mg/kg	19800
copper	mg/kg	214000
nickel	mg/kg	383000
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	43100
lanthanum	mg/kg	15
cerium	mg/kg	5
neodymium	mg/kg	70
europium	mg/kg	< 1

Results

of solid phase test

sample		439-2013-02200036
matrix		electrical scrap waste (handy-battery)
Lab ID		113007662
		as received
decabromodiphenyl ether	mg/kg	0,14
heptabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
hexabromocyclododecane	mg/kg	< 0,01
nonabromodiphenyl ether	mg/kg	0,012
octabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
pentabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	< 0,01
tetrabromobisphenol A	mg/kg	0,14
polychlorinated biphenyls (PCB 7)	mg/kg	0,09
PCB 28	mg/kg	< 0,01
PCB 52	mg/kg	< 0,01
PCB 101	mg/kg	0,017
PCB 118	mg/kg	< 0,01
PCB 153	mg/kg	0,026
PCB 138	mg/kg	0,028
PCB 180	mg/kg	0,014
arsenic	mg/kg	22,4
lead	mg/kg	10
cadmium	mg/kg	< 0,2
chromium	mg/kg	94300
copper	mg/kg	41700
nickel	mg/kg	9100
mercury	mg/kg	< 0,07
zinc	mg/kg	170
lanthanum	mg/kg	1
cerium	mg/kg	3
neodymium	mg/kg	1
europium	mg/kg	< 1

Quality Analysis ...



Innovative Technologies

Date Submitted: 11-Apr-12
Invoice No.: A12-03848
Invoice Date: 22-May-12
Your Reference: 345400

Geological Survey of Norway
Postboks 6315 Sluppen
Trondheim N-7491
Norway

ATTN: Belinda Flem

CERTIFICATE OF ANALYSIS

2 Pulp samples were submitted for analysis.

The following analytical packages were requested: Code 1C-OES Fire Assay ICPOES
Code UT-7 Sodium Peroxide Fusion(ICP & ICPMS)

REPORT **A12-03848**

This report may be reproduced without our consent. If only selected portions of the report are reproduced, permission must be obtained. If no instructions were given at time of sample submittal regarding excess material, it will be discarded within 90 days of this report. Our liability is limited solely to the analytical cost of these analyses. Test results are representative only of material submitted for analysis.

Notes:

Footnote: samples were not homogenous

CERTIFIED BY :

Emmanuel Esemé , Ph.D.

Quality Control



ACTIVATION LABORATORIES LTD.

1336 Sandhill Drive, Ancaster, Ontario Canada L9G 4V5 TELEPHONE +1.905.648.9611 or
+1.888.228.5227 FAX +1.905.648.9613
E-MAIL Ancaster@actlabs.com ACTLABS GROUP WEBSITE www.actlabs.com

Activation Laboratories Ltd. Report: A12-03848

Analyte Symbol	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Ge	Hf	Ho	In	La	Li	Mn
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	10	5	10	3	3	2	2	0.8	0.2	30	0.1	2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.7	10	0.2	0.2	0.4	3	3
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2
1	1270	41	1990	3340	< 3	71	< 2	6.7	202	19100	0.7	335000	1.9	0.2	< 0.1	6.6	1.5	2.8	< 10	0.8	< 0.2	7.5	8	3140
2	360	35	2990	2830	< 3	266	< 2	8.3	145	12800	1.2	341000	4.1	0.2	< 0.1	6.0	0.7	< 0.7	< 10	< 0.2	< 0.2	8.4	14	646

side 2

Activation Laboratories Ltd. Report: A12-03848

Analyte Symbol	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	1	2.4	0.4	10	0.8	0.1	0.4	2	0.8	0.1	0.5	3	0.2	0.1	6	0.1	0.1	0.1	0.1	5	0.7	0.1	0.1	30
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2
1	316	23.0	38.7	28400	19300	4.4	1.4	461	216	1.2	28900	203	8010	< 0.1	< 6	1.4	0.2	< 0.1	1.5	110	1180	2.8	0.3	63700
2	106	20.5	11.8	12300	1600	2.6	1.6	549	118	5.7	7630	246	5.7	< 0.1	< 6	1.9	< 0.1	< 0.1	0.4	86	658	2.1	0.3	2810

side 3

Activation Laboratories Ltd. Report: A12-03848

Analyte Symbol	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S	Si	Ti	Au	Pd	Pt
Unit Symbol	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppb	ppb	ppb
Detection Limit	0.01	0.01	0.05	0.1	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	2	5	5
Analysis Method	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FUS- Na2O2	FA-ICP	FA-ICP	FA-ICP
1	1.54	1.83	8.62	< 0.1	2.42	0.158	0.10	5.73	0.14	1210000	116000	4830
2	2.09	2.58	6.22	< 0.1	0.25	0.293	0.10	10.1	0.15	1360000	131000	6350

Side 4

Activation Laboratories Ltd. Report: A12-03848

Quality Control																										
Analyte Symbol	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ge	Gd	Ga	Hf	Ho	In	La	Li	Mn		
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
Detection Limit	10	5	10	3	3	2	2	0.8	0.2	30	0.1	2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.7	10	0.2	0.2	0.4	3	3		
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2		
GXR-1 Meas	40		< 10		< 3	1500			7.5	< 30	2.6	1150	4.6		0.6	12.6	3.8		< 10		0.8	6.8	7	806		
GXR-1 Cert	31.0		15.0		1.22	1360			8.20	12.0	3.00	1110	4.30		0.690	13.8	4.20		0.960		0.770	7.50	8.20	852		
GXR-4 Meas	< 10	106	< 10	1470	< 3	18	< 2	101	13.7	70	2.3	5630	2.4			18.4			< 10		0.2		11	140		
GXR-4 Cert	4.00	98.0	4.50	1640	1.90	19.0	0.860	102	14.6	64.0	2.80	5520	2.60			20.0			6.30		0.270		11.1	155		
KC-1A Meas	1480	370										5990														
KC-1A Cert	1670	400										6290														
CDN-PGMS-9 Meas																										
CDN-PGMS-9 Cert																										
NIST 696 Meas													290													
NIST 696 Cert													321													
NCS DC70018 Meas	10	16				62			9.0			322				16.3							27			
NCS DC70018 Cert	7.50	18.8				66.8			9.80			310				15.0							29.0			
OREAS 134b (Fusion) Meas	210	234		1440				546		107		1290														
OREAS 134b (Fusion) Cert	206	224		1423				569		104		1340														
MP-1b Meas	50	22600				905		459				29500														
MP-1b Cert	47.0	23000.00				954.0000		527.0000				30690.000														
CCu-1d Meas	110											223000														
CCu-1d Cert	120.7											239300.00														
1 Orig	450	47	1640	1960	< 3	93	< 2	4.4	148	11500	0.5	420000	1.9	0.1	< 0.1	5.1	2.1	3.7	< 10	0.9	< 0.2	8.6	5	4440		
1 Dup	2090	35	2340	4710	9	50	< 2	9.0	256	26600	0.9	249000	1.9	0.2	< 0.1	8.1	0.9	1.9	< 10	0.7	< 0.2	6.4	10	1830		
2 Orig	250	31	3370	3700	< 3	25	< 2	9.5	197	16200	1.5	351000	6.6	0.2	< 0.1	7.7	0.7	< 0.7	< 10	< 0.2	< 0.2	6.7	14	685		
2 Dup	460	39	2620	1970	< 3	508	< 2	7.1	92.5	9360	0.8	331000	1.6	0.1	< 0.1	4.3	0.8	< 0.7	< 10	< 0.2	< 0.2	10.1	14	508		
Method Blank	< 10	< 5	< 10	< 3	< 3	< 2	< 2	< 0.8	< 0.2	< 30	< 0.1	< 2	< 0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 0.1	< 0.7	< 10	< 0.2	< 0.2	< 0.4	< 3	< 3		

SIDS

Quality Control																								
Analyte Symbol	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	1	2.4	0.4	10	0.8	0.1	0.4	2	0.8	0.1	0.5	3	0.2	0.1	6	0.1	0.1	0.1	0.1	5	0.7	0.1	0.1	30
Analysis Method	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2	FUS-MS- Na2O2
GXR-1 Meas		< 2.4			742			112	17.2	2.8	48.4	251	0.3	0.7	14	2.3	0.4	0.4	31.7	78	156		2.1	780
GXR-1 Cert		0.800			730			122	16.6	2.70	54.0	275	0.175	0.830	13.0	2.44	0.390	0.430	34.9	80.0	164		1.90	760
GXR-4 Meas	301	9.7	40.6	40			141	5	5.5	6.0	5.9	202	0.8	0.5	< 6	20.5	3.0	0.2	5.7	94		12.9	1.1	80
GXR-4 Cert	310	10.0	45.0	42.0			160	4.80	5.60	6.60	5.60	221	0.790	0.360	0.970	22.5	3.20	0.210	6.20	87.0		14.0	1.60	73.0
KC-1A Meas								89			5490													334000
KC-1A Cert								100			6100													347000
CDN-PGMS-9 Meas																								
CDN-PGMS-9 Cert																								
NIST 696 Meas																								
NIST 696 Cert																								
NCS DC70018 Meas	48600	25.0			1780			8			14.9				< 6					56.7				230
NCS DC70018 Cert	51700	27.0			2000			8.1			10.000				3.1					50.000				240
OREAS 134b (Fusion) Meas					118000			113																171000
OREAS 134b (Fusion) Cert					132000.00			111																181200.00
MP-1b Meas	262				19100						14500										1200			157000
MP-1b Cert	285				20910.000						16100.000										1100.000			166700.00
CCu-1d Meas					2400																			25100
CCu-1d Cert					2620.000																			26300.00
1 Orig	136	11.1	62.1	26200	9960	6.1	0.7	388	137	1.0	11700	164	16000	< 0.1	< 6	1.0	0.3	< 0.1	0.4	82	15.2	2.6	0.2	112000
1 Dup	497	34.9	15.4	30500	28700	2.7	2.0	535	294	1.3	46000	242	12.7	< 0.1	< 6	1.9	0.1	< 0.1	2.6	138	2350	2.9	0.4	15500
2 Orig	153	22.7	8.4	10600	882	1.7	1.8	93	148	6.3	7130	288	5.3	0.1	< 6	2.2	< 0.1	< 0.1	0.4	122	74.4	2.2	0.3	250
2 Dup	59	18.3	15.2	13900	2320	3.5	1.4	1010	87.4	5.0	8140	203	6.0	< 0.1	< 6	1.7	< 0.1	< 0.1	0.5	50	1240	2.0	0.2	5370
Method Blank	< 1	< 2.4	< 0.4	< 10	< 0.8	< 0.1	< 0.4	< 2	< 0.8	< 0.1	< 0.5	< 3	< 0.2	< 0.1	< 6	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 5	< 0.7	< 0.1	< 30

Side b

Quality Control												
Analyte Symbol	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S	Si	Ti	Au	Pd	Pt
Unit Symbol	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppb	ppb	ppb
Detection Limit	0.01	0.01	0.05	0.1	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	2	5	5
Analysis Method	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FUS-Na2O2	FA-ICP	FA-ICP	FA-ICP
GXR-1 Meas	3.56	0.87	25.8	< 0.1	0.22							
GXR-1 Cert	3.52	0.960	23.6	0.050	0.217							
GXR-4 Meas	7.25	0.98	3.12	4.1	1.71	0.126	1.79					
GXR-4 Cert	7.20	1.01	3.08	4.01	1.66	0.120	1.77					
KC-1A Meas			10.5									
KC-1A Cert			10.9									
CDN-PGMS-9 Meas										956	2600	790
CDN-PGMS-9 Cert										1040	2600	710
NIST 696 Meas	> 25.0											
NIST 696 Cert	28.9											
NCS DC70018 Meas												
NCS DC70018 Cert												
OREAS 134b (Fusion) Meas			12.0				20.7					
OREAS 134b (Fusion) Cert			12.69				20.74					
MP-1b Meas		2.57	7.87		< 0.01		13.6	17.0				
MP-1b Cert		2.47	8.19		0.024		13.79	16.79				
CCu-1d Meas												
CCu-1d Cert												
1 Orig	1.15	1.42	5.29	< 0.1	1.81	0.149	0.11	5.19	0.06			
1 Dup	1.92	2.24	12.0	< 0.1	2.93	0.166	0.09	6.27	0.22			
2 Orig	2.10	2.99	6.64	< 0.1	0.37	0.300	0.11	7.30	0.15			
2 Dup	2.07	2.17	5.79	< 0.1	0.13	0.287	0.08	12.9	0.14			
Method Blank	< 0.01	0.03	< 0.05	< 0.1	< 0.01	< 0.005	< 0.01	0.02	< 0.01			

side 7

Gjennomsnitt av 3 analyser gjennom "data-posed". Hver analyse på 60 sek- 3 program totalt 180 s

	SAMPLE	prov-1datapose ppm	prov-2-datapose ppm
Sølv	Ag	932	2 797
Arsen	As		
Gull	Au	861	583
Barium	Ba	2 265	5 796
Vismut	Bi	1 731	748
Kalsium	Ca	17 535	15 243
Kadmium	Cd	< LOD	< LOD
Cerium	Ce	2 476	5 209
Kobolt	Co		
Krom	Cr	< LOD	< LOD
Kobber	Cu	122 565	307 301
Jern	Fe	28 177	8 514
Kvikksølv	Hg	< LOD	< LOD
Lantan	La	< LOD	< LOD
Mangan	Mn	3 716	1 941
Molybden	Mo		
Niob	Nb	89	39
Neodym	Nd	868	1 485
Nikkel	Ni	4 314	4 604
Bly	Pb	2 956	766
Praseodym	Pr	< LOD	< LOD
Rubidium	Rb	1 238	384
Svovel	S		
Antimon	Sb	726	1 323
Selen	Se		
Strontium	Sr		
Scandium	Sc	65	60
Tinn	Sn	5 239	15 968
Thorium	Th	< LOD	< LOD
Titan	Ti	< LOD	< LOD
Uran	U	< LOD	< LOD
Vanadium	V	< LOD	< LOD
Wolfram	W	< LOD	< LOD
Yttrium	Y	< LOD	< LOD
Sink	Zn	1 387	1 157

