

# Piirikorttien jalometallikeskittymät

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Lampinen Reima	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 26	Valmistumisaika 2022
Työn nimi <b>Piirikorttien jalometallikeskittymät</b>		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan koulutus		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Tiina Malin, R&D Manager DI, Kuusakoski Oy		
Tiivistelmä Työn toimeksiantajana toimi Kuusakoski Oy. Työn tarkoituksena oli tutkia piirikorttien-komponenttien jalometallipitoisuuksia ja käyttää saatuja tietoja piirikorttien arvon parempaan arviointiin. Opinnäytetyön teoriaosiossa perehdyttiin SER-jätteen käsittelyyn ja lainsäädäntöön sekä tutkimuksessa kerättyihin näytteisiin. Teoriaosiossa myös perehdyttiin näytteiden pyriittisulatukseen ja sulatettujen näytteiden analysoimiseen. Opinnäytetyön tuloksena saatiin tiedot eri komponenttien jalometallipitoisuuksista ja niitä vertailtiin toisiinsa, sekä jo olemassa oleviin tuloksiin. Lisäksi käytiin läpi mahdolliset jatkonäytteet sekä kehitysehdotukset piirikorttien lajitteluun. Opinnäytetyön tulokset ovat luottamuksellisia, joten niitä ei käsitellä tässä dokumentissa.		
Asiasanat jalometallit, piirikortti, piirikorttien komponentit, SER-jäte		

## Abstract

Author(s) Lampinen, Reima	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 26	
Title of Publication <b>Circuit boards precious metal concentration</b>		
Degree and field of study Bachelor of Engineering, Energy and Environmental Engineering		
Name, title and organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Tiina Malin, R&D Manager M.Sc. (Tech.), Kuusakoski Ltd.		
Abstract <p>The work was commissioned by Kuusakoski Ltd. The purpose of this work was to study the precious metal concentrations of circuit board components and to use the obtained information to better assess the value of circuit boards.</p> <p>In the theory section of the thesis, the treatment and legislation of WEEE waste and the samples collected in the study. The theory section also discusses how samples are processed in pyrite smelting as well as molten sample analysis.</p> <p>As a result of the thesis, information on the precious metal concentrations of different components was obtained and compared with each other and with the already existing results. In addition, possible follow-up samples and development proposals for sorting circuit boards. The results of the thesis are confidential, so they are not deal with in this document.</p>		
Keywords precious metals, circuit board, circuit board components, WEEE waste		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	SER-kierrätys Suomessa.....	2
2.1	SER-jäte.....	2
2.1.1	SER-jätteen käsittely Suomessa.....	2
2.1.2	POP-jätteiden käsittely.....	2
2.2	Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkaromusta 514/2014.....	3
2.3	Jätelaki 646/2011 ja tuottajavastuu.....	4
3	Piirikorttien komponenttien näytteet ja niiden kokoaminen.....	5
3.1	Näytteiden kokoaminen.....	5
3.2	SEIFFI-palvelu.....	5
3.3	Tietokoneiden keskusyksikköjen purkaminen.....	5
3.3.1	Tietokoneiden emolevyt.....	6
3.3.2	Palvelinemolevyt.....	9
3.3.3	Reitittimet.....	11
3.3.4	Modeemit.....	13
3.3.5	Kullattu laminaatti.....	17
4	Näytteiden pyriittisulatus ja analysointi.....	20
4.1.1	Näytteiden käsittely Kuusakoski Oy:n tutkimuskeskuksessa.....	20
4.1.2	Pyriittisulatus.....	20
4.1.3	Pyriittisulatettujen näytteiden analysointi.....	20
5	Yhteenveto ja pohdinta.....	22
	Lähteet.....	23

## **Käsitteet/termit**

**ADSL:** (Asymmetric Digital Subscriber Line) Verkkoyhteydentechniikka, jolla on mahdollista siirtää 8M/bs tavallista puhelinlinjaa käyttäen.

**DSP-suoritin:** (Digital Signal Processor) Auttaa saamaan prosessorista parhaan tehon tai teho suorituskyky-suhteen.

**Modeemi:** Käytetään siirtämään tietoa esimerkiksi puhelinlinjoja pitkin tai radioteitse, kuten matkapuhelimien, tietokoneiden tai bluetooth laitteiden välille.

**Palvelin:** Palvelinohjelmisto sekä tällaista ohjelmistoa suorittava tietokone. Palvelinohjelmistojen tehtävänä on tarjota erilaisia palveluja muille ohjelmille joko tietokoneverkon välityksellä tai paikallisesti samassa tietokoneessa.

**PGA-suoritin:** (Pin Grid Array) Tämän tyyppisissä suorittimissa pinnit ovat kiinni suorittimen pohjassa.

**PCI:** (Peripheral Component Interconnect) on tietokoneväylä minkä avulla lisätään erilaisia laitteita tietokoneeseen.

**PCI-E:** (Peripheral Component Interconnect Express) on, suurinopeuksinen tietokoneen standardoitu väylätyyppi, joka on suunniteltu korvaamaan vanhemmat PCI, PCI-X ja AGP-liitäntästandardit.

**RAM:** (Random Access Memory) Tietotekniikassa käytettävää muistia, jota voidaan lukea ja kirjoittaa. RAM-muisti katoaa, kun laitteesta katkeaa virta.

**SPGA:** (Staggered Pin Grid Array) Suorittimen pinnit ovat neliön muotoisesti suorittimien pohjan ympärillä.

**Suoritin:** Suorittaa erilaisten tietokoneohjelmien konekielisiä käskyjä.

**Suoritinkanta:** Sillä yhdistetään mekaanisesti suoritin tietokoneen emolevyyn.

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Kuusakoski Oy:lle. Työn tavoitteena oli selvittää piirikorttien komponenttien jalometallipitoisuuksia, jotta saatuja tietoja voidaan käyttää piirilevyjen hankkimisessa ja lajittelussa. Komponenttien jalometallipitoisuuksista saatuja tietoja voitaisiin näin ollen käyttää piirikorttien jalometallipitoisuuden arviointiin. Tutkimuksen tarkoituksena oli, että komponentit pitää pystyä tunnistamaan kuvista, koska piirikorttien hankinta tapahtuu usein kuvien perusteella. Lisäksi piirikorttien lajittelua helpottaa, jos komponentit ovat helposti tunnistettavia. Kokonaisista piirikorteista oli tehty analyyseja Kuusakoski Oy:n toimesta, joten piirikorttien sisältämistä jalometalleista oli aikaisempaa tietoa.

Tässä tutkimuksessa haluttiin erityisesti selvittää, miten tietynlaiset komponentit ja niiden määrä vaikuttavat piirikorttien jalometallipitoisuuksiin. Näin voitaisiin katsoa esimerkiksi asiakkaalta tulevista piirikorttien kuvista tiettyjä komponentteja ja tehdä ostopäätöksiä niiden perusteella, jos tiedetään, että jokin komponentti sisältää paljon jalometalleja tai piirikortin jalometallit keskittyvät kyseiseen komponenttiin.

Jalometallit, joiden pitoisuuksia komponenteissa haluttiin selvittää, olivat: kulta, palladium, platina ja hopea. Piirilevyt, joita käytettiin tutkimuksessa, olivat: tietokoneiden emolevyt, reitittimien ja modeemien piirikortit sekä kullattu laminaatti. Tutkimukseen sisältyi näytteiden kokoaminen ja niiden valmistelu, jonka jälkeen näytteet käsiteltiin pyriittisulatuksessa ja sen jälkeen sulatettu näyte analysoitiin laboratoriossa. Tämän jälkeen saaduista tuloksista tehtiin raportti, jossa tuloksia vertailtiin jo olemassa oleviin sekä tutkimuksissa saatuihin tuloksiin. Lisäksi tuloksista saatiin selville tietoa, millaisiin komponentteihin ja piirilevyn osiin jalometallit ovat keskittyneet. Tulokset ovat yrityssalaisuuksia, joten niitä ei voida käsitellä tässä raportissa.

## 2 SER-kierrätys Suomessa

### 2.1 SER-jäte

SER tulee sanoista sähkö- ja elektroniikkaromu. Sähkö- ja elektroniikkalaitteet, jotka on poistettu käytöstä, ovat SER-jätettä. Tällaisiksi luokitellaan kaikki laitteet, jotka tarvitsevat toimiakseen sähkövirtaa, aurinkoenergiaa, akkuja tai paristoja. Myös lamput kuuluvat sähkö- ja elektroniikka jätteeseen poisluettuna hehku- ja halogeenilamput. Yleisimpiä kotitalouksien sähkö- ja elektroniikkalaitteita ovat viihde-elektroniikka, kännykät, kodinkoneet, tulostimet, kellot ja sähkötyökalut. (SER-kierrätys 2021b.)

#### 2.1.1 SER-jätteen käsittely Suomessa

Laitteet yleensä murskataan ja hyödynnetään uudestaan. Materiaalit voidaan käyttää jopa 99 prosenttisesti uudelleen. Esimerkiksi pesukone, joka on yleensä yli 90 prosenttisesti valmistettu metalleista, on helppo prosessoida. Yleensä pesukoneet murskataan ja murskattu materiaali lajitellaan esimerkiksi magneeteilla tai muilla tekniikoilla. Pienempiä sähkölaitteita on enemmän ja niiden käsittely on haasteellisempaa. Yleensä laitteet lajitellaan ensin ja niiden seasta poistetaan vaaralliset jätteet. Tämän jälkeen laitteet murskataan ja murskattu materiaali lajitellaan käyttäen esimerkiksi magneettia, upotuskellutusta, painon mukaan lajittelua tai röntgeniä. Parhaiten pystytään hyödyntämään esimerkiksi tietokoneiden keskusyksiköt, joista voidaan 99 prosenttia hyödyntää teollisuuden käyttöön. Tietosuojamateriaali käsitellään siten, että tietosisältö ei voi joutua ulkopuolisten käsiin. Haasteellisimpia ovat esimerkiksi vanhat kuvaputkitelevisiot ja -monitorit, koska ne sisältävät lyijyylasia, jonka hyödyntämiseen ei löydy Suomesta prosessia. Lyijyylasia käytetään jäteasemien rakennekerroksissa. SER-jätettä käsittelee Suomessa monta eri organisaatiota, jotka itse hoitavat materiaalien jalostuksen tai myyvät materiaalin eteenpäin ulkomaille. Jokaisella Suomessa toimivalla organisaatiolla on voimassa oleva ympäristölupa. (SER kierrätys 2012a.)

#### 2.1.2 POP-jätteiden käsittely

POP-yhdisteet (Persistent Organic Pollutant) ovat kaukokulkeutuvia yhdisteitä, jotka säilyvät erittäin pitkään ne ovat myös myrkyllisiä ja kerääntyvät eliöihin. Useimmat yhdisteet ovat olleet käytössä erilaisina teollisuuden kemikaaleina, palonestoaineina ja torjunta-aineina. POP-yhdisteet ovat yksin vaarallisimpia ympäristömyrkyjä, sillä ne säilyvät pitkään ympäristössä ja pienikin määrä voi olla vaarallinen ihmisille ja eliöille. POP-yhdisteitä rajoitetaan kahdella erilaisella sopimuksella: Tukholman yleissopimus, joka on maailmanlaajuinen, sekä alueellinen YK:n Euroopan Talouskomission alainen kaukokulkeutumissopimus. (Ympäristöhallinnan yhteinen verkkopalvelu 2019.) SER-jätteestä pitää kerätä pois PCB-

kondensaattorit ja bromattuja palonestoaineita sisältävät muovit. Romuautoja käsiteltäessä on poistettava osat, joiden tiedetään sisältävän pysyviä orgaanisista yhdisteistä annettussa asetuksessa (EY) N:o 850/2004 tarkoitettuja pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-asetus). Kerätyt POP-aineet on poltettava asianmukaisella tavalla ja ne ei saa sekoittua muuhun jätteeseen tai yrittää sekoittaa pitoisuusrajojen alittamistarkoituksessa. Murskauksessa on myös otettava huomioon, että POP-yhdisteitä ei pääse ympäristöön eikä pölynä ulkoilmaan. POP-yhdisteiden ja bromattujen palonestoaineiden pitoisuuksia on erityisesti tarkkailtava. Tarkkailussa on erityisesti kiinnitettävä huomiota, kuinka paljon näissä prosesseissa POP-yhdisteitä ja palonestoaineita päätyy tuotteisiin ja jätteeseen kuten pölyihin ja sakkoihin. Pitkäaikainen tarkkailu voi esimerkiksi perustua epäsuorasti bromipitoisuuksien mittaukseen. (Lounais-Suomen ympäristölupakeskus 2008.)

## 2.2 Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkaromusta 514/2014

Suomessa SER-jätteen käsittelyssä sovelletaan valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta. Asetuksessa säädetään toimista, jotka vähentävät sähkö- ja elektroniikkalaitteista tulevaa romua ja sen haitallisuutta. Sillä edistetään sähkö- ja elektroniikkaromun uudelleenkäytön valmistelua, hyödyntämistä, ja pyritään parantamaan romun käsittelyn laatutasoa. (Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta 514/2014.) Suomessa sähkö- ja elektroniikkaromu on käsiteltävä sekä säilytettävä valtioneuvoston asetuksen (519/2014) 7§:n mukaan. Käsittelyn on täytettävä asetuksen (519/2014) liitteen kolme mukaiset vähimmäisvaatimukset. SER-romu, johon liittyy erityinen paloturvallisuusriski, on säilytettävä pieninä määrinä palo-osastoidussa katetussa varastotilassa niin, että tulipalon sytyessä se ei pääse leviämään muualle. Kun romu vastaanotetaan suoraan murskattavaksi sekä loppukäsittelyyn, on varmistettava, että romu on käsitelty asianmukaisesti asetuksen (519/2014) liitteen kolme mukaisesti. (Lounais-Suomen ympäristölupakeskus 2008.) Fluorattuja kasvihuonekaasuja tai otsonikerrosta heikentäviä aineita sisältäville laitteille pitää olla lainsäädännössä määrätty päätös, joka perustuu EU:n asetukseen fluoratuista kasvihuonepäästöistä (517/2014). EU:n F-kaasusetusta sovelletaan suoraan sen kaikissa jäsenmaissa. Sen tarkoitus on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä EU:n päästövähennystavoitteiden mukaisesti. Myös käyttörajoitukset ja kiellot säädetään asetuksessa, sekä F-kaasuihin liittyvät pätevyysvaatimukset (Ympäristöhallinnan yhteinen verkkopalvelu. 2021a). Todiste pätevyydestä esitetään Hämeen ELY-keskukselle. (Lounais-Suomen ympäristölupakeskus 2008.)



### 2.3 Jätelaki 646/2011 ja tuottajavastuu

Jätelaki (646/2011) velvoittaa tuotteiden valmistajia ja maahantuojia kustantamaan jätehuolto, kun tuotteet poistuvat käytöstä. Jos lakia laiminlyö, siitä saattaa seurata sakkorangaistus. Yritykset, jotka ovat tuottajavastuun piirissä, ovat esimerkiksi sähkö- ja elektroniikkalaitteiden valmistajat tai niiden maahantuojat, akkujen ja paristojen valmistajat sekä ajoneuvojen valmistajat ja maahantuojat. Pirkanmaan ELY-keskus hallinnoi julkista listaa yrityksistä, jotka on hyväksytty tuottajarekisteriin. Listalla ovat hyväksytyt tuottajat ja tuottajayhteisöt. Valtakunnallinen virallinen viranomaisena on Pirkanmaan ELY-keskus. Pirkanmaan ELY-keskus valvoo tuottajavastuun toteutumista ympäri Suomea paitsi Ahvenanmaalla. Myös juomapakkausten palautusjärjestelmien valvonta kuuluu Pirkanmaan ELY-keskukselle. Tuottajavastuun piiriin kuuluvat yritykset: sähkö- ja elektroniikkalaitteiden valmistajat ja maahantuojat sekä myyjät, jotka myyvät laitteita omalla tuotemerkillä, akkujen ja paristojen valmistajat ja maahantuojat, henkilöautojen, pakettiautojen tai muiden niihin rinnastettavien ajoneuvojen valmistajat ja maahantuojat sekä toimijat, jotka toimittavat maahan ajoneuvoja kotimaisen käyttäjän nimissä, renkaiden maahantuojat, valmistajat ja pinnoittajat sekä renkailla varustettujen ajoneuvojen ja laitteiden maahantuojat, paperituotteen maahantuojat sekä paperituotteen valmistukseen käytettävän paperin valmistajat ja maahantuojat, pakkaajat ja pakattujen tuotteiden maahantuojat, joiden liikevaihto on vähintään miljoona euroa. (Ympäristöhallinnan yhteinen verkkopalvelu 2021.)

### 3 Piirikorttien komponenttien näytteet ja niiden kokoaminen

#### 3.1 Näytteiden kokoaminen

Piirikortteja löytyy nykyään melkein jokaisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteesta. Yleisimpiä laitteita ovat viihde-elektroniikka, tietokoneet ja oheislaitteet, sähkötyökalut ja keittiön sähkölaitteet. Laitteet sisältävät eri määrän erikokoisia piirikortteja. Piirikorttien jalometallipitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti eri laitteiden välillä. Samanlaisten laitteidenkin välillä voi olla suurta vaihtelua riippuen laitteen iästä tai valmistajasta. Kuusakoski Oy:n toimesta on tehty näytteitä erilaisten laitteiden piirikorteista, joten tietoa on saatu kokonaisten piirikorttien sisältämistä jalometalleista. Tutkimuksessa kuitenkin tarkoituksena oli selvittää, minkälaiset komponentit ja osat sisältävät mahdollisesti paljon jalometalleja. Jalometallit, joita komponenteista etsittiin, ovat: kulta, palladium, platina ja hopea, lisäksi selville saatiin näytteen sisältämä kupari. Näytteet jakautuivat seuraavasti: tietokoneiden emolevyt, modeemien piirikortti, reitittimien emolevyt ja kullattu laminaatti. Näistä piirikorteista eroteltiin tutkimuksessa käytettävät komponentit. Laitteita, jotka sisältävät näitä piirikortteja, tulee runsaasti Kuusakoski Oy:n SER-kierrätykseen. Tutkimuksessa käytettyjen komponenttien näytteet ovat kooltaan sellaisia, että ne voi tunnista ja havaita esimerkiksi valokuvista. Lisäksi pyrittiin siihen, että komponentti olisi muutenkin helposti tunnistettavissa. Muutamien komponenttien jalometallipitoisuuksista oli käsitystä ja tämän takia muutama näyte otettiin vahvistamaan tätä käsitystä. Näytteitä tutkimukseen otettiin yhteensä 20.

#### 3.2 SEIFFI-palvelu

SEIFFI on Kuusakoski Oy:n ja Postin yhteinen SER-kierrätyspalvelu, jonka avulla datalaitteet voidaan kierrättää tietoturvallisesti. Palvelu toimii siten, että käyttäjä maksaa palvelusta seiffi.fi-sivustolla lähetyk- ja tietoturvakäsittelymaksun. Tämän jälkeen asiakas saa koodin, jota käyttämällä lähetyksen voi jättää kaikkiin Postin palvelupisteisiin. Palvelun käyttäjä pystyy seuramaan paketin kulkua Postin omilla verkkosivuilla, palvelupisteeltä aina tietoturvakäsittelyyn asti. Kun laitteen tai laitteiden data on tuhottu, saa asiakas siitä todistuksen sähköpostiinsa. Paketit toimitetaan Kuusakoski Oy:n turvatilaan. Siellä laitteiden sisältämät tiedot ylikirjataan. Niitä laitteita, mitä ei voida ylikirjata, murskataan mekaanisella murskaimella (Kuusakoski.com 2017.)

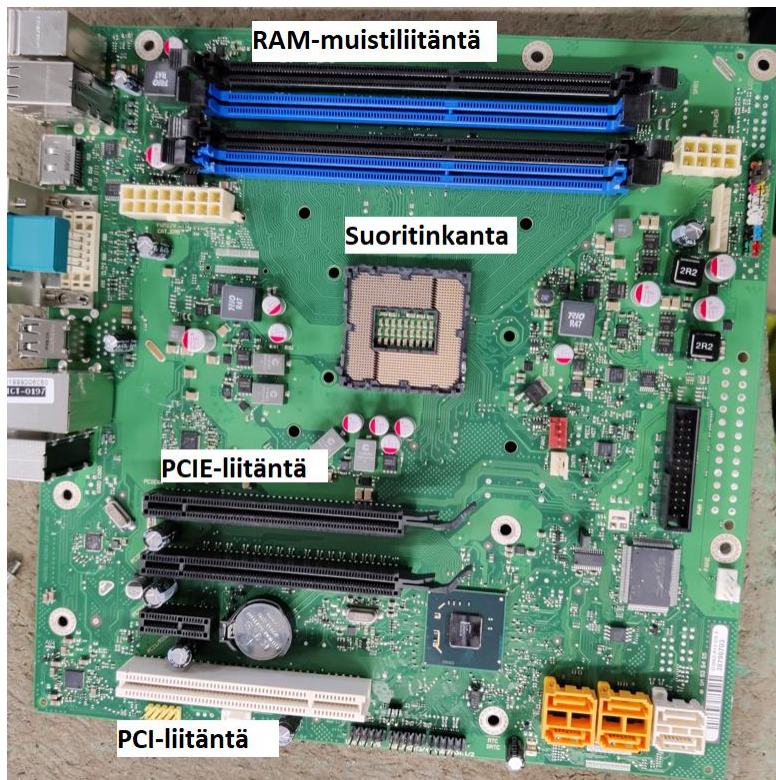
#### 3.3 Tietokoneiden keskusyksikköjen purkaminen

Tietokoneiden keskusyksiköt puretaan käsityönä akku- ja paineilmatyökaluja käyttäen. Tietokoneen keskusyksiköistä puretaan jokainen osa erilleen: virtalähde, piirikortit, kovalevyt, tietokoneenkotelo, kaapelit, muovipitoiset osat esimerkiksi kotelon etupaneeli, alumiiniosat

kuten piirikorttien jäähdyttimet, kupariosat esimerkiksi vesijäähdytyksen putket. Emolevyistä otetaan vielä talteen erikseen RAM-muistit ja suoritin. Piirikortit myös esikäsitellään siten, että niistä irrotetaan jäähdyttimet ja muut irtoavat metalliosat. Kovalevyistä ja CD-aseista otetaan erikseen talteen niiden piirikortit. Purkamisen jälkeen eri jakeet ohjataan myyntiin tai jatkojalostukseen.

### 3.3.1 Tietokoneiden emolevyt

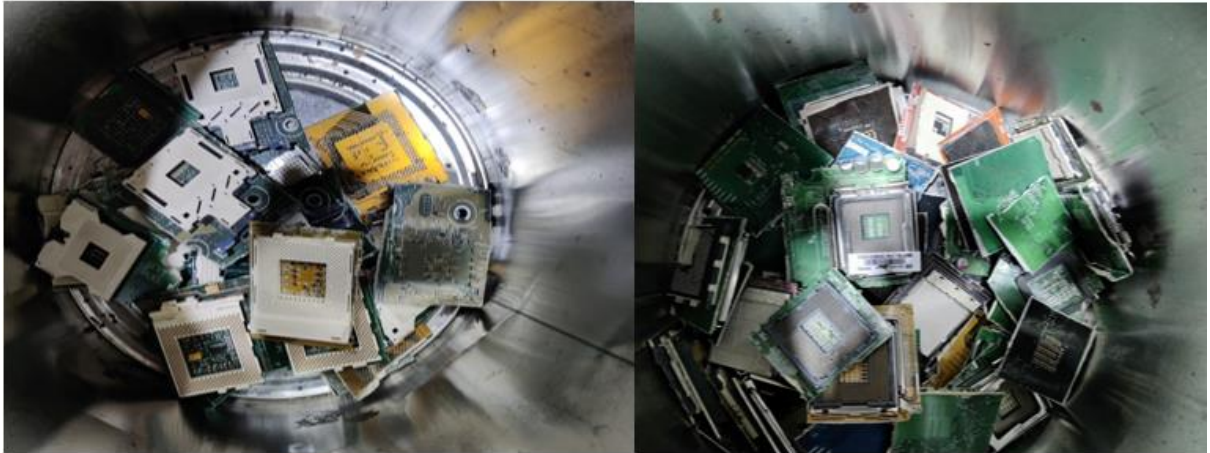
Emolevyllä yhdistetään kaikki tietokoneeseen kuuluvat osat kuten näytönohjain, suoritin ja RAM-muistit. Ne liitetään joko johdoilla tai suoraan itse emolevyyn. Emolevyistä otettiin näyttöet suoritinkannoista, RAM-muistiliittimistä sekä PCI- ja PCIE-liittimistä (Kuva 1).



Kuva 1. Tietokoneen emolevy ja komponentit

Suoritinkannat eroteltiin moderneihin kantoihin sekä vanhoihin SPGA- ja PGA-kantoihin (Kuva 2.), koska vanhoja emolevyjä sisältäviä tietokoneen keskusyksiköitä tulee edelleen paljon purkuun ja kierrätykseen. Lisäksi suoritinkannat on helppo erottaa toisistaan, vanhat

suoritinkannat ovat yleensä suurempi, väriltään valkoisia ja aukko kannan keskellä on suurempi.



Kuva 2. Vasemmalla vanha SPGA- ja PGA-kanta, oikealla moderni suoritinkanta

Suoritinkantojen lisäksi näytteet otettiin PSI- ja PSIE-liitäntöistä. PSIE-liitäntä on nykypäivänä syrjäyttänyt PSI-liittimen, mutta edelleen niitä on runsaasti Kuusakoski Oy:lle saapuvissa tietokoneissa sekä piirikorteissa. On myös yleistä, että emolevyssä on molempia liitäntöjä. Näytteet otettiin, koska PSI- ja PSIE-liittimien määrä vaihtelee emolevyjen välillä, joten ne voivat vaikuttaa emolevyn jalometallipitoisuuteen. Lisäksi vanhat SPGA-kannan emolevyt sisältävät vain PSI-liittimiä, joten näin ollen saadaan myös tietoa vanhojen emolevyjen jalometallipitoisuuksista verrattuna modernimpiin PSIE-liittimillä oleviin emolevyihin. PSI- ja PSIE-liitin on kohtalaisen helppo erottaa toisistaan, koska PSI-liitin on korkeampi sekä ne ovat yleensä saman pituisia muiden emolevyssä olevien PSI-liittimien kanssa. PSIE-liitin on kapeampi, lisäksi siinä on kiinnike, jolla näytönohjain lukitaan ja yleensä sen alapuolella on lyhyempi liitin (Kuva 3).



Kuva 3. Vasemmalla PSI-liitin ja oikealla PSIE-liitin

RAM-muistikampojen liittämisestä otettiin omat näytteet samasta syystä kuin PSI -ja PSIE-liittämisestä. Niiden määrä vaihtelee melko paljon emolevyjen välillä etenkin palvelinemolevyissä. RAM-muistikampojen liittäminen on helppo erottaa toisistaan liittinten molemmissa päistä olevista kiinnikkeistä. Liittimet ovat myös toisissaan kiinni emolevyssä (Kuva 4).



Kuva 4. RAM-muistikampojen liittäminen

### 3.3.2 Palvelinemolevyt

Palvelinemolevyt ovat samankaltaisia kuin toimisto- ja kotitietokoneiden emolevyt. Palvelimien emolevyt saattavat olla suurikokoisempia ja niissä on usein enemmän RAM-muistille tarkoitettuja liittimiä sekä enemmän PCIe-liitäntöjä. Suoritinkantoja on yleensä vähintään kaksi. Joissain palvelimien emolevyissä on laajennusportti, jota ei ole tavallisesti koti- ja toimistotietokoneiden emolevyissä (Kuva 5).



Kuva 5. Palvelinemolevyn laajennusportti

Etenkin Blade-mallisissa (Kuva 6) palvelimissa nämä olivat yleisiä. Blade-palvelin koostuu metallikehikosta, joka sisältää useita pienempiä modulaarisia yksiköitä, josta sen nimitys tulee. Jokainen pienempi yksikkö on oma palvelimensa (Fizgibbons, L. 2019.)



Kuva 6. Blade-palvelinkehikko ja modulaarinen yksikkö

Silmällä katsottuna laajennusportti näyttää erittäin kultapitoiselta. Näyte otettiin emolevyistä, joissa oli laajennusportti ja toinen näyte otettiin emolevyistä, joista se oli poistettu, näin saatiin selville ero kultamäärässä. Joissain laajennusporteissa oli myös kiinni niihin kiinnitettävä piirikortti (Kuva 7), jossa oli myös kultapitoiselta vaikuttavat liittimet. Tästä piirikortista ei kuitenkaan otettu näytettä.



Kuva 7. Laajennusporttiin liitettävä kortti

### 3.3.3 Reitittimet

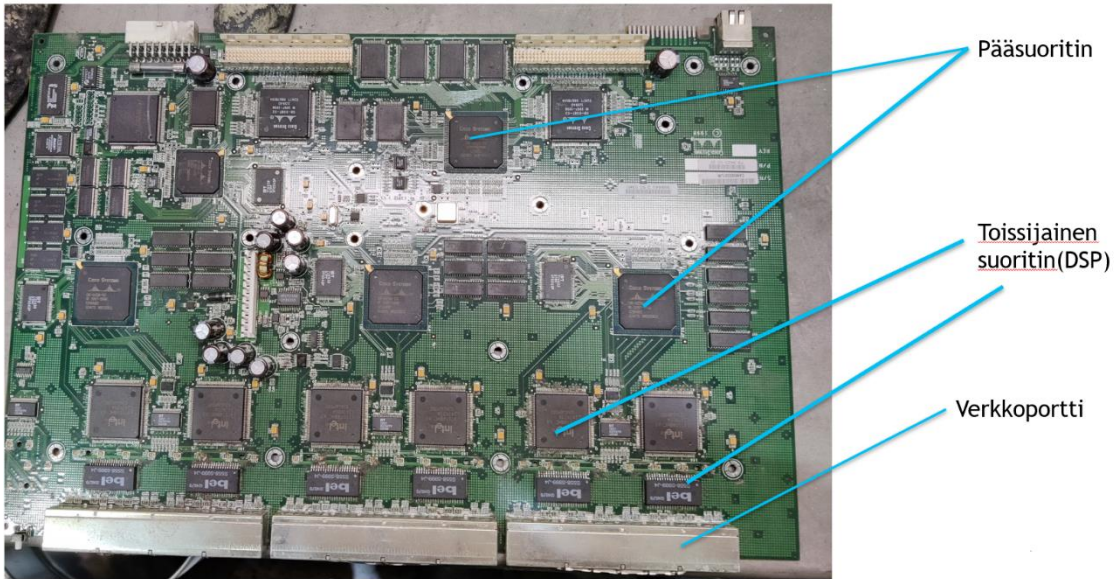
Modeemin ja reitittimen ero on, että reitintä käytetään yhdistämään useita verkkoja ja niiden yhteyksien muodostamiseen. Reitittimiin voidaan kytkeä useita langallisia laitteita. Reitittimellä ei kuitenkaan voida luoda Internet-yhteyttä, joten se on yhdistettävä modeemiin. Yleensä reitittimet ovat metallikuorisia ja suurempia kuin modeemit (If-Koubou). Etenkin tutkimuksessa käytetyt teolliset reitittimet ovat poikkeuksetta metallikuorisia. Jos emolevyä verrataan modeemin vastaavaan, niin siinä on enemmän suorittimia sekä verkkoportteja. Reitittimistä otettiin kolme näytettä: pääsuoritin, toissijainen suoritin ja verkkoportit (Kuva8).



Kuva 8. Teollisia reitittimiä

Reitittimien emolevyissä on kolme helposti havaittavaa komponenttia: verkkoportit, toissijainen suoritin ja pääsuoritin (Kuva 9). Suorittimet ovat samankaltaisia, kuin tietokoneiden emolevyissä. Suorittimet usein sijaitsevat alumiinisten jäähdyttimien alla, joka auttaa niiden tunnistamista esimerkiksi kuvasta.





Kuva 9. Reitittimenemolevy ja komponentit

Pääsuorittimen ja toissijaisen suorittimen tunnistaminen voi aluksi olla haastavaa, mutta niissä on selkeästi eroa (Kuva 10). Näkyvin ero on toissijaisensuorittimen ulkonevat kiinnitys pinnit sekä suoritin on enemmän kohollaan piirikortin pinnasta. Näiden komponenttien määrä vaihtelee paljon eri reititinpiirikorttien välillä.



Pääsuoritin



Toissijainen suoritin

Kuva 10. Pääsuoritin ja toissijainen suoritin

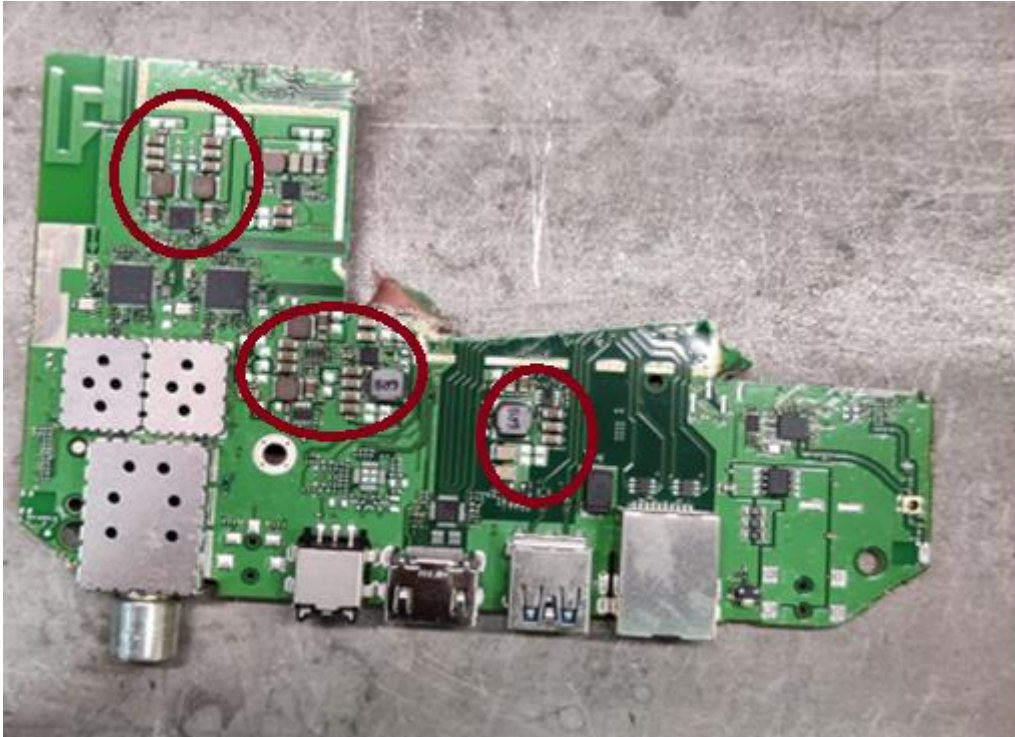
### 3.3.4 Modeemit

Näytteitä otettiin kolmesta erilaisesta modeemista Huaweiin 4G- modeemi DNA HUB-modeemi ja UBEE 4G-modeemi. Modeemeista otettiin seuraavat komponentit: DNA-HUB modeemin suoritin (Kuva 11).



Kuva 11. Vasemmalla DNA HUB-modeemin suoritin ja oikealla DNA HUB-modeemi

Näyte otettiin siitä syystä, että DNA HUB-modeemin kortissa on suurikokoinen suoritin, joka ei ole tyypillistä perinteisissä modeemeissa. Esimerkiksi vanhemmissa ADSL-modeeimeissa on pienempi suoritin. Tästä syystä suorittimista otettiin oma näyte. DNA HUB -modeemin piirikortti leikattiin myös niin, että saatiin näyte komponenteista, joista haluttiin lisätietoja (Kuva 12).



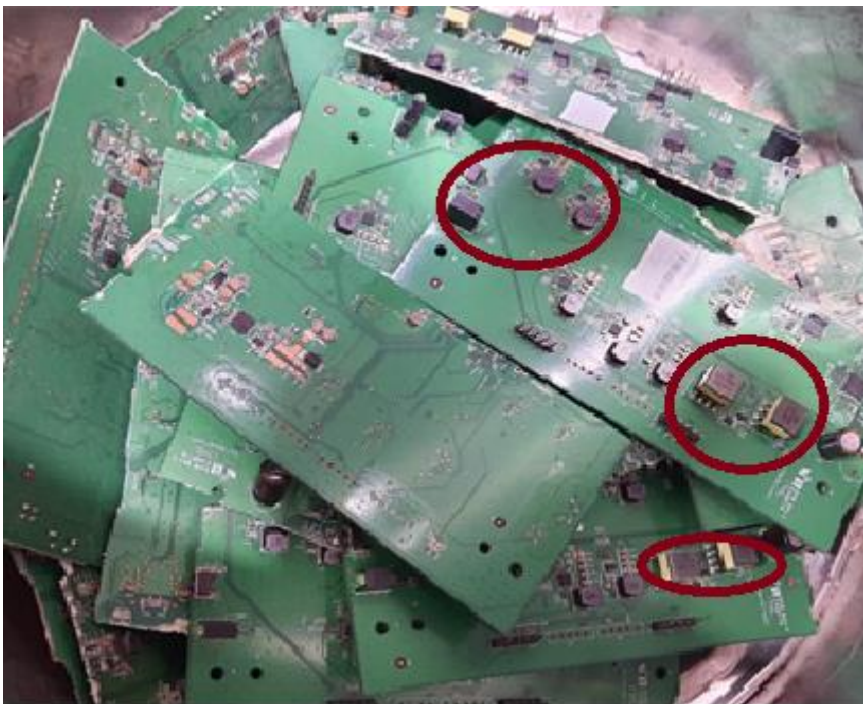
Kuva 12. Leikattu DNA HUB -modeemin piirikortti ja komponentit

UBEE 4G -modeemista tehtiin oma näyte antenninjohdon adaptoreista, koska tämänkaltaista adapteria ei ole vanhemmissa ADSL-modeemeissa (kuva 13). ADSL-modeemeissa on vain verkkoportin liittimet, koska se liitetään puhelinverkkoon, kun taas nykyaikaisemmat valokuituyhteydet liitetään antenniverkkoon.



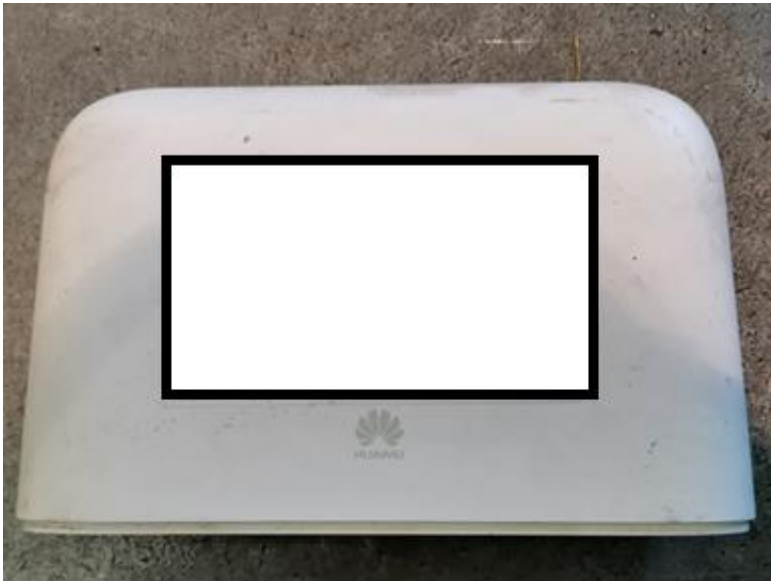
Kuva 13. UBEE 4G -modeemin antenninjohdon adapter

Lisäksi UBEE 4G -modeemista otettiin näyte piirikortista, jossa oli komponentteja, joita ei ollut muissa modeemipiirikorteissa (Kuva 14). UBEE 4G -modeemin kortti erosi myös kooltaan ja siinä oli huomattavasti vähemmän suorittimiksi luokiteltavia komponentteja.



Kuva 14. UBEE 4G- modeemin piirikortti ja komponentit

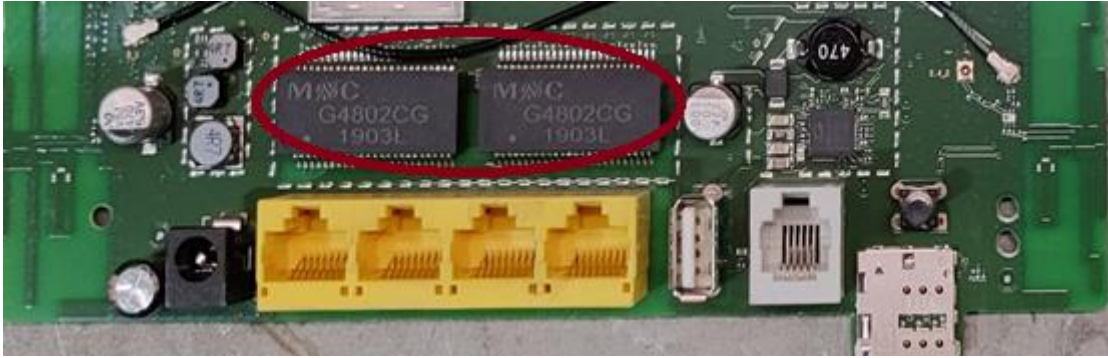
Huawei 4G -modeemista (Kuva 15) otettiin näytteet pienistä suorittimista, jotka olivat peltisten suojiensa alla (Kuva 16), ja integroiduista piireistä (Kuva 17). Integroidut piirit oli tarkoitettu omaan näytteeseen, mutta näytteeseen otettiin mukaan myös verkkoportit, koska kortin leikkaaminen oli todella vaikeaa suorittaa siten, että piirit ei eivätkä olisi vaurioituneet tai irronneet piirikortista. Jos integroidut piirit olisi vain poistettu piirikortista, olisi osa jalometallista jäänyt kiinni piirikortin pintaan, joten tulos ei olisi ollut luotettava.



Kuva 15. Huawei 4G-modeemi



Kuva 16. Huawei 4G-modeemin piirikortin suorittimet ja kullatut liittimet



Kuva 17. Huawei 4 G-modeemin integroidut piirit

### 3.3.5 Kullattu laminaatti

Kullattu laminaatti on piirilevyjen valmistuksessa syntyvää jätettä. Tällainen jäte on esimerkiksi kehysmateriaali, jossa piirilevy on ollut kiinni, kun se tulee esimerkiksi piirikortteja valmistavalle yritykselle. Seassa on myös piirilevyjä, jotka saattavat olla viallista tai ne jostain muusta syystä tuhoaan (Kuva 18).



Kuva 18. Kehysmateriaalia ja piirilevyjä

Näytteet kerättiin 300 kilogramman kuormasta, jossa oli seassa kehysmateriaalia sekä piirilevyjä. Suurin osa kuormasta oli kuitenkin kehysmateriaalia. Piirilevyt olivat yleensä pakkattu erilliseen suojamuoviin. Kehysmateriaalista haluttiin tietää, eroaako kultapitoisuus erilaisissa kuvioinneissa (Kuva 19).



Kuva 19. Kehysmateriaalin kullatut kuvioinnit

Kehysmateriaalin seasta löytyi piirilevyjä, jotka näyttivät huomattavasti kultapitoisimmilta kuin kehysmateriaali. Piirilevyistä otettiin oma näyte, koska kullattua laminaattia ei lajitella erikseen, vaan se murskataan sellaisenaan. Piirilevyt olivat omissa pakkauksissaan, joten niiden lajittelu voitaisiin toteuttaa, jos niissä olisi suuremmat jalometallipitoisuudet (Kuva 20).



Kuva 20. Vasemmalla kullattu piirilevy ja oikealla pakkaukset, joista piirilevyjä löytyi

Kuormasta löytyi myös liittimiä, jotka vaikuttivat kultapitoisimmilta kuin kehysmateriaali (Kuva 21). Muista näytteistä poiketen liittimet käsiteltiin pyriittisulatuksen sijasta keittämällä dekanterilasissa, koska näytettä oli vain 420 grammaa.



Kuva 21. Kullatut liittimet



## 4 Näytteiden pyriittisulatus ja analysointi

### 4.1.1 Näytteiden käsittely Kuusakoski Oy:n tutkimuskeskuksessa

Tutkimusjärjestelmään kirjataan tutkimuskeskukseen saapuvat näytteet, jossa ne saavat yksilöidyt näyttenumerot. Siellä myös tarkistetaan, että näytteessä ei ole mitään poikkeavaa ja näyte kuvataan tarvittaessa. Kuvat liitetään samaan näytelomakkeeseen. Näytteiden mukana toimitetaan analyysipyyntölomake. Lomakkeessa on näytteen tiedot, näytteen kuvaus ja halutut analyysit näytteestä. Näyte merkitään näyttenumerolla ja näyttenumeroa käytetään analysointiketjun jokaisessa vaiheessa. Näytteitä säilytetään normaalissa huoneenlämmössä. Mikäli näyte ei ole analysointikelpoinen näyte palautetaan sen lähettäjälle ja tarvittaessa pyydetään uusi näyte (Kuusakoski Oy 2021a.)

### 4.1.2 Pyriittisulatus

Näytteen koosta riippuen näytteet sulatetaan joko pienemmällä (28 l) tai suuremmalla (98 l) sulatusuunilla pyriitin kanssa. Näytemäärä määrittelee apuaineiden ja käytettävän pyriitin määrän. Näytteet laitetaan uuniin, kun uunin lämpötila on n. 900–1000 asteinen. Näyte tulee punnita tarkasti ennen sulattamista, lisäksi pyriittisulatusresepti kirjataan järjestelmään. Noin puolet pyriitistä lisätään aluksi upokkaan pohjalle. Näyte laitetaan pyriitin päälle, jonka jälkeen loppu pyriitti laitetaan näytteen päälle. Apuaineet lisätään uuniin lopuksi (sooda ja booraksi/boorihappo), jonka jälkeen uunin lämpötilaa nostetaan 1300 asteesta 1320 asteeseen. Näytteestä riippuu kuinka kauan sulatus kestää. Yleensä sulatus kestää noin 2–4 tuntia, mutta joskus se voi viedä pitempäänkin. Ennen kuin näyte kaadetaan ulos upokkaasta, on tarkistettava, että näyte on täysin sulanut. Tämä tapahtuu sekoittamalla näytettä uuninluukusta. Näytettä ulos kaadettaessa saattaa ilmaan päästä savukaasuja etenkin pyriittisulatuksessa. Rikkipitoisia savukaasuja voi tulla erittäin paljon, joten hyvästä tuuletuksesta on huolehdittava. Sula näyte kaadetaan esilämmitettyyn ja pinnoitettuun kokilliin (Kuusakoski Oy 2021c.)

### 4.1.3 Pyriittisulatettujen näytteiden analysointi

Pyriittisulatettu näyte jaetaan noin kahden gramman näytteisiin, josta punnitaan kaksi rinnakkaista näytettä analyysivaa'alla suoraan mikroaltohajotusastiaan. Pyriittisulatusnäytteille voidaan tehdä kolmivaiheinen esikäsittely: typpihappoliuotus, sen jälkeen kuningasvesiliuotus ja lopuksi natriumperoksidisulfaatti (Kuusakoski Oy 2021c). Erilaisia happoliuoksia käytetään, jotta näytteessä olevat metallit saadaan liuosmuotoon ja siten analysointi on mahdollista ICP:llä. Eri happoseoksia käytetään, koska kaikki metallit eivät liukene esim. typpihappoon. Esimerkkinä on kulta, joka liukenee vain kuningasveteen. Sulate tehdään

näytteestä siksi, että saadaan mahdollisesti happoliuotuksessa liukenematta jäänyt kulta mukaan analyysiin. Standardiliuoksia käytetään ICP:n kalibrointiin. Kalibroinnissa mitataan liuoksia, joiden pitoisuudet tunnetaan ja siten saadaan kalibrointisuora. Kalibrointisuoraan verrataan tuntemattomia näytteitä ja saadaan tuloksena näytteen pitoisuus (Lehtinen 2021.) Laadunvarmistus suoritetaan säännöllisesti esim. 1–2 kertaa kuukaudessa esikäsitellään pyriittinolla ja jokin referenssinäyte. Jokaisessa ajossa mitataan sekä pyriittinolla että referenssinäyte. Pyriittinollan tasoa seuraamalla voidaan arvioida mahdollisia kontaminaatioita esikäsitelyssä ja mittauksessa (Kuusakoski Oy 2021c.)

## 5 Yhteenveto ja pohdinta

Piirikorttien yksittäisistä komponenteista ei ollut aikaisemmin tehty analyyssejä Kuusakoski Oy:n toimesta. Aikaisemmat analyysit oli tehty kokonaisista piirikorteista, joten tutkimuksen avulla saatiin hyvää tietoa siitä, millaisiin komponentteihin kannattaa kiinnittää huomiota, kun piirikortteja tilataan asiakkailta. Tutkimuksessa olleiden näytteiden lukumäärä huomioiden saatiin hyvä käsitys tutkimuksessa olleiden piirikorttien jalometallikeskittymistä ja tuloksia voidaan soveltaa myös muihin piirikortteihin, jotka sisältävät samanlaisia komponentteja. Tuloksista ilmeni yllättäviä eroja jalometallipitoisuuksissa, joita ei aikaisemmin tiedetty, jonka takia työ myös miellettiin tarpeelliseksi.

Tutkimuksessa käytettyjä piirikortteja tulee runsaasti Kuusakoski Oy:lle ja niiden jalometallipitoisuuksissa on ollut suurtakin hajontaa, mistä johtuen tutkimuksessa käytetyt piirikortit valittiin tähän tutkimukseen. Tästä syystä pidettiin tärkeänä, jos tutkimuksen avulla voitaisiin löytää sellaisia komponentteja, joiden jalometallipitoisuus vaikuttaa merkittävästi piirikortin kokonaispitoisuuteen. Muutama näyte otettiin myös vahvistamaan aikaisempaa tietoa.

Piirikortteja sisältäviä laitteita on nykyään niin paljon, että tutkimuksessa saadut tulokset ovat vain pintaraapaisu. Tutkimusta olisi voinut jatkaa vielä vuosiksi eteenpäin, jotta voitaisiin vertailla esimerkiksi eri valmistajien piirikortteja. Piirikortti on monesti arvokkain osa elektronisissa laitteissa, josta syystä myös niiden parempi tuntemus on hyödyllistä tietoa. Jalometallien kierrätys piirikorteista on myös ympäristöystävällisempää kuin niiden louhiminen maaperästä.

Tutkimuksessa saatiin hyvä käsitys piirikorttien jalometallikeskittymistä, joita tutkimuksessa käytettiin ja saatuja tuloksia pidettiin Kuusakoski Oy:n edustajien mielestä hyödyllisenä tietona. Tutkimuksen tulososiossa käytiin myös läpi mahdolliset jatkonäytteet ja piirikorttien lajitteluun kohdistuvat kehitysehdotukset, mutta näiden toteuttaminen jää Kuusakoski Oy:n vastuulle.

## Lähteet

Fizgibbons, L. 2019. Blade server. Viitattu 9.9.2021. Saatavissa <https://searchdatacenter.techtarget.com/definition/blade-server>

If-Koubou. Mikä on modeemin ja reitittimen välinen ero. Viitattu 9.9.2021. Saatavissa <https://fi.if-koubou.com/articles/how-to/whats-the-difference-between-a-modem-and-a-router.html>

Kuusakoski.com. 2017. SEIFFillä kierrätät datalaitteet turvallisesti. Viitattu 15.9.2021. Saatavissa: <https://seiffi.fi/>

Kuusakoski Oy. 2021a. Näytteiden käsittely Kuusakoski Oy:n tutkimuskeskuksessa. Viitattu 29.9.2021. Ei saatavissa.

Kuusakoski Oy. 2021b. Näytteiden sulatus. Viitattu 29.9.2021. Ei saatavissa.

Kuusakoski Oy. 2021c. Pyriittisulatettujen näytteiden analysointi. Viitattu 29.9.2021. Ei saatavissa.

Lounais-Suomen ympäristölupakeskus. 2008. Ympäristölupapäätös nro 249/2017/1. Viitattu 16.9.2021. Ei saatavissa.

Lehtinen, M. 2021. Laboratory manager. Kuusakoski Oy. Haastattelu 15.11.2021.

SER-kierrätys. 2012a. Mitä kierrätetyille laitteille tapahtuu? Viitattu 13.9.2021. Saatavissa <http://www.serkierratys.fi/fi/kuluttajille/mitae-keräetyille-laitteille-tapahtuu>

SER-kierrätys. 2012b. Mitä on SER? Viitattu 13.9.2021. Saatavissa <http://www.serkier-ratys.fi/fi/kuluttajille/mitae-on-ser>

Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta 519/2014. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140519>

Ympäristöhallinnan yhteinen verkkopalvelu. 2019. Pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP). Viitattu 15.11.2021. Saatavissa <https://www.ymparisto.fi/POP>

Ympäristöhallinnan yhteinen verkkopalvelu. 2021. Tuottajavastuu jätehuollossa. Viitattu 15.11.2021. Saatavissa <https://www.ymparisto.fi/tuottajavastuu>

Ympäristöhallinnan yhteinen verkkopalvelu. 2021a. Fluoratut kasvihuonepäästöt. Viitattu 15.11.2021. Saatavissa [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ ja\\_ ilma/Kasvihuonekaasupaastojen\\_ raportointi\\_ ja\\_ seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen\\_ seuranta\\_ Suomessa/Fluoratut\\_ kasvihuonekaasut/Fluoratut\\_ kasvihuonekaasut\(9377\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ ja_ ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_ raportointi_ ja_ seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen_ seuranta_ Suomessa/Fluoratut_ kasvihuonekaasut/Fluoratut_ kasvihuonekaasut(9377))

Ympäristöhallinnan yhteinen verkkopalvelu. 2021b. Tuottajavastuu jätehuollossa. Viitattu 15.11.2021. Saatavissa <https://www.ymparisto.fi/tuottajavastuu>