

Valssaamon koneilla syntyvän kiertoromun lajittelun parantaminen

Materiaalitekniikka
Tekniikan tiedekunta
Kandidaatintutkielma

Charlotta Suoniemi

15.5.2026

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Materiaalitekniikka

Tekijä: Charlotta Suoniemi

Otsikko: Valssaamon koneilla syntyvän kiertoromun lajittelun parantaminen

Ohjaaja(t): FT Emilia Palo ja Santtu Koivula (Aurubis Finland Oy)

Sivumäärä: 28 sivua

Päivämäärä: 15.5.2026

Kupari on keskeinen teollisuuden metalli sen erinomaisen sähkön- ja lämmönjohtavuuden sekä hyvän korroosionkestävyyden vuoksi. Sitä käytetään laajasti sähköteknisissä sovelluksissa ja lämmönsiirto- ja lämmönvaihtokoneissa sekä puhtaana, että erilaisina seoksina. Kupari on täysin kierrätettävä materiaali ilman, että sen ominaisuudet kuten sähkön- ja lämmönjohtavuus heikkenevät, mikä tekee siitä merkittävän raaka-aineen kestävässä materiaalitalouden näkökulmasta. Tuotannosta saadun sekundäärikuparin hyödyntäminen vähentää energian kulutusta ja ympäristövaikutuksia merkittävästi verrattuna primäärikuparin tuotantoon.

Tässä tutkielmassa tarkastellaan kuparin kiertoromun lajittelun parantamista valssaamon tuotantokoneilla. Tavoitteena on vähentää puhtaan kuparin virheellistä luokittelua epäpuhtaaksi DHP-romuksi. Ongelman taustalla on erityisesti puutteellinen romujen merkintä ja vaihteleva seos tuotannossa johtaa kupariromujen sekoittumiseen tuotannossa.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksen, yrityksen sisäisen tietokannan sekä tuotantokoneiden työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen avulla. Näiden perusteella muodostettiin kokonaiskuva kiertoromun nykyisistä lajittelukäytännöistä ja haasteista. Kehitysehdotuksina esitetään työntekijöiden motivoinnin lisäämistä sekä teknisiä ratkaisuja, kuten erillisten romulaatikoiden käyttöönottoa ja rakenteellisia parannuksia tuotantokoneisiin.

Avainsanat: kupari, kupariseokset, romukuparin kierrätys, DHP-kupari

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
1.1	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	4
1.2	Tutkimusongelma ja tutkimusmenetelmät	5
2	Valssaamon tuotantoprosessin nykytila	6
2.1	Valssaamon tuotantoprosessi	6
2.2	Tehtaan koneilla syntyvä romukupari	8
3	Kirjallisuus	10
3.1	Kuparin ominaisuudet	10
3.2	Primäärikuparin valmistusprosessi	11
3.3	Sekundäärikuparin käyttö valimossa	13
3.4	Valssaamossa käsiteltävät kupariseokset	14
3.4.1	Erikoisseokset	16
3.5	Romukuparien sekoittumisen taloudelliset vaikutukset	16
3.6	Romukuparin käytön ympäristöhyödyt	17
4	Tulokset	19
4.1	Haastattelujen tulokset	19
4.1.1	Nauhaleikkurit (1204, 1206, 1201 ,1120)	19
4.1.2	Kylmävalssaimet (1101, 1102 ,1105)	20
4.1.3	Pesu- ja peittäuskoneet (1140, 1150)	21
4.1.4	Läpivetokone ja uuni (1111 ja 1112)	21
4.1.5	Jyrsimet (1015 ja 1016)	21
4.1.6	Saha (1130 ja 1131)	22
4.1.7	Levyleikkurit (1321+1435, 1322, 1323 ja 1300)	23
4.1.8	Kuumavalssain (1012)	24
5	Yhteenveto	25
	Lähteet	27

1 Johdanto

Tutkielma toteutetaan toimeksiantona Aurubis Finland Oy:lle, joka on saksalaisen Aurubis AG -konsernin tytäryhtiö. Aurubis-konserni on Euroopan johtava kuparituotteiden toimittaja ja yksi maailman johtavista kuparin kierrättäjistä. Yritys työllistää maailmanlaajuisesti n. 7100 työntekijää yli 20 eri maassa [1].

Porin kuparipuistossa sijaitseva Aurubis Finland Oy valmistaa kupariseoksista muun muassa valanteita, levyjä ja nauhoja sähkö-, elektroniikka- ja rakennusteollisuuden tarpeisiin. Yrityksen valssaamon yhteydessä toimivassa integroidussa valimossa sulatetaan kuparikatodeja ja kupariromua, josta valetaan laattoja valssaamoon jatkokäsittelyä varten [1].

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tutkielmassa tarkastellaan valssaamon tuotantokoneilla syntyvän kiertoromun lajittelua ja siihen liittyviä haasteita. Tällä hetkellä valssaamossa syntyvä puhdas kupariromu sekoittuu ajoittain epäpuhtaaseen DHP-romuun, mikä aiheuttaa yritykselle taloudellisia menetyksiä. Puhtaiden kupariseosten valmistus on kustannuksiltaan epäpuhdasta kuparia kalliimpaa. Lisäksi puhtaiden romujen sekoittuminen johtaa siihen, että hyvä romu jää seisomaan varastoon, jolloin hävitään rahaa, kun varastoon sitoutunut pääoma kasvaa. Sekoittumisen syitä ovat erityisesti romujen puutteellinen merkintä sekä epäpuhtaan kuparin päätyminen puhtaan romun joukkoon koneiden rajallisten tilojen vuoksi. Tällaisissa tapauksissa romukuparit lajitellaan epäpuhtaana romuna. Tässä tutkielmassa romukuparilla tarkoitetaan valssaamon työkoneilla tuotteesta poistettavaa ylijäämämateriaalia.

Epäpuhdas romu tarkoittaa tutkielmassa DHP-kuparia (engl. phosphorus-deoxidized copper), joka on fosforilla deoksidoitua kuparia [2]. DHP sisältää vähintään 99.9 % puhdasta kuparia ja sitä käytetään esimerkiksi levyissä ja putkissa. Fosfori kuitenkin heikentää materiaalin sähkönjohtavuutta, minkä vuoksi sitä ei voida hyödyntää sähkötekniisissä sovelluksissa [3].

Puhtailla kupariseoksilla tarkoitetaan muun muassa hapettomia kupariseoksia OF:ä (engl. oxygen-free copper) ja OFE:tä (engl. oxygen-free copper, electronic grade) ja happipitoista kuparia ETP:tä (engl. tough pitch copper), joita voidaan käyttää sähköteknisissä sovelluksissa niiden hyvän sähkönjohtavuuden vuoksi. Näiden seosten erottelu DHP-romusta on tärkeää, sillä pienetkin epäpuhtaudet heikentävät kuparin sähköisiä ominaisuuksia [4].

Tutkielman tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva valssaamon tuotantokoneilla syntyvän romukuparin lajittelusta sekä tunnistaa keinoja lajitteluprosessin kehittämiseksi. Erityisesti tarkastellaan menetelmiä, joilla puhtaat kupariseokset voitaisiin erotella tehokkaammin jo tuotantoprosessin aikana siten, ettei DHP-romu sekoittuisi puhtaampiin kupariseoksiin. Lajittelun tehostamisella voidaan vähentää materiaalihävikkiä ja parantaa prosessin taloudellista tehokkuutta.

1.2 Tutkimusongelma ja tutkimusmenetelmät

Tutkielman keskeisenä ongelmana on puhtaiden kupariromujen virheellinen luokittelu DHP-romuksi valssaamon tuotantokoneilla. Haasteita aiheuttavat erityisesti koneiden rajallinen tila, romukuparin puutteelliset merkinnät sekä tuotantolinjalla vaihtelevat kupariseokset. Tuotantoprosessi koostuu useista työvaiheista, joissa romukuparin lajittelumenetelmät vaihtelevat konekohtaisesti. Näitä menetelmiä tarkastellaan tarkemmin myöhemmissä luvuissa.

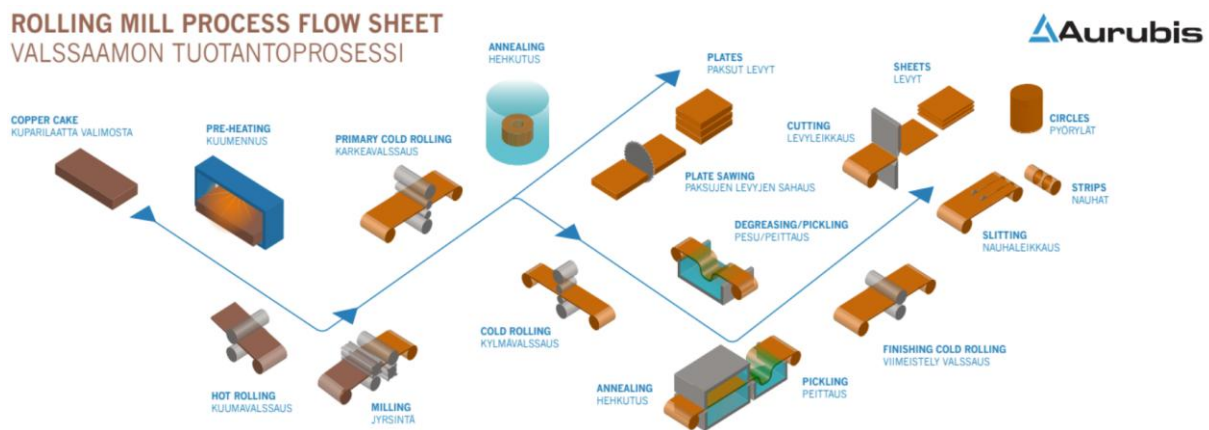
Tutkimuksessa hyödynnetään kuparia käsittelevää kirjallisuutta, yrityksen sisäisiä tietokantoja ja tuotantokoneiden operaattoreiden kanssa käytyjä keskusteluja. Tutkimuksen pääkysymys on: *”Miten kiertoromun lajittelua voitaisiin parantaa?”* Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan romukuparin lajittelua taloudellisesta ja ympäristöllisestä näkökulmasta.

2 Valssaamon tuotantoprosessin nykytila

Tässä luvussa kuvataan valssaamon tuotantoprosessin päävaiheet sekä tarkastellaan prosessin aikana syntyviä romukuparin eri muotoja ja niiden lajitteluohjeita. Tuotantoprosessin tarkastelu auttaa ymmärtämään romun syntymisestä ja sen lajitteluun liittyvistä haasteista.

2.1 Valssaamon tuotantoprosessi

Valssaamossa tuotantoprosessi alkaa, kun kuparilaatta siirretään valimosta valssaamon uunille. Laattoja kuumennetaan noin 850°C-asteessa useamman tunnin ajan ennen valssausta. Kuvassa 1 esitetään valssaamon tuotantoprosessin vaiheet uunilta lopputuotteeksi.



Kuva 1 Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamo tuotantoprosessi (Aurubis Finland Oy 2026)

Uunilta kuumavalssin radalle siirrettäessä kupari on uudelleenkiteytymispisteen yläpuolella, jolloin sen metallurgiset ominaisuudet mahdollistavat tehokkaan plastisen muodonmuutoksen. Valssausprosessissa laatta kuljetetaan suurikokoisten, pyöriä valssien välistä, minkä seurauksena kuparilaatan paksuus pienenee ja pituus kasvaa [5]. Kuumavalssauksessa laatta voidaan joko pitää suorana levynä tai kelata rullalle jatkokäsittelyä varten. Korkean lämpötilan seurauksena kuparin pintaan muodostuu oksidikerros, joka tekee pinnasta tumman ja mattamaisen. Oksidikerros poistetaan jyrinnässä, jossa tuotteen pinnasta poistetaan ohut kerros kuparin pinnan kirkastamiseksi.

Jyrsinnän jälkeen tuote siirtyy karkeavalssaukseen, joka on ensimmäinen kylmävalssaus kuparille. Kylmävalssaus suoritetaan huoneenlämpötilassa eli alle kuparin uudelleenkiteytymislämpötilan, jolloin tuotteelle voidaan saavuttaa tarkat mittatoleranssit ja hyvä pinnanlaatu. Kylmämuokkauksen seurauksena materiaalin murtolujuus ja kovuus kasvavat, kun taas murtovenymä pienenee. Samalla materiaaliin syntyy sisäisiä jännityksiä ja sen raerakenne muokkautuu [6]. Rullamuodossa olevat tuotteet siirtyvät hehkutukseen ja laatat pesun kautta sahalle [7]. Sahalla laatat ja levyt sahataan lopullisiin mittoihin kuva 1.

Kylmämuokkauksen aiheuttamien muutosten poistamiseksi kuparirullia hehkutetaan kylmävalssausten välissä. Hehkutuksen aikana materiaalin sisäiset jännitykset purkautuvat ja raerakenne palautuu, mikä parantaa materiaalin muokattavuutta ja mahdollistaa valssauksen jatkamisen ilman haurastumista. Valssaus- ja hehkutusvaiheita voidaan toistaa useita kertoja, kunnes tuotteelle asetetut mitta-, pinta- ja mekaaniset ominaisuudet saavutetaan. Kuvassa 1 esitetty viimeistelyvalssaus tarkoittaa prosessin viimeistä kylmävalssausvaihetta, jossa muokkaus on enää hyvin pieni lopullisten mittatoleranssien saavuttamiseksi.

Pesu- ja peittausprosessissa kuparin pinta puhdistetaan epäpuhtauksista ja hapettumistuotteista sekä tarvittaessa suojataan jatkokäsittelyä varten. Pesuvaiheessa kuparin pinnalta pestään valmistusprosessin aikana kertyneet öljyt ja muut epäpuhtaudet. Lisäksi pinnalle voidaan lisätä inhibiitti, joka hidastaa kuparin hapettumista.

Peittauksessa kuparin pinta puhdistetaan kemiallisesti poistamalla hapettumisen seurauksena syntyneet oksidit ja syöpymistuotteet. Happepeittäus tehdään tavallisesti 10 tilavuusprosenttisessa rikkihappoliuoksessa, jolloin pintakerrokset irtautuvat ja ne voidaan tarvittaessa poistaa mekaanisesti esimerkiksi harjaamalla [6].


Prosessin loppuvaiheessa tuotteet leikataan asiakkaan vaatimusten mukaisesti nauhoiksi, levyiksi tai pyörylöiksi. Tuotteiden prosessivaiheet vaihtelevat lopullisen tuotteen mukaan. Peruseriaate pysyy samankaltaisena, vaikka esimerkiksi kylmävalssausten, pesujen ja hehkutusten määrä voi vaihdella tuotteen mukaan [7].

2.2 Tehtaan koneilla syntyvä romukupari

Valssaamon koneilla syntyy romukuparia: lastuina, paaleina, levyinä, rullina ja laattoina. Aurubis on määritellyt taulukon 1 mukaisesti jokaiselle kupariseokselle oman värin, joka merkitään romukupariin spraymaalilla lajittelun selkeyttämiseksi.

Taulukko 1. Kupariseosten spraymaalin väri kupariromun merkitsemiseksi (Aurubis Finland Oy 2026)

SEOS	Spraymaali	
OF, OFE	VIHREÄ	
ETP	SININEN	
XLP & HCP	MUSTA	
DLP	KIRJOITETAAN	
HK	VALKOINEN	
CUSN015	KELTAINEN	SININEN
CUSN4	VIHREÄ	KELTAINEN



Kuva 1. Esimerkki OF-romuksi merkitystä romusta.

Spraymaalin lisäksi romuille on laadittu ohjeistuksia, jotka helpottavat niiden jatkokäsittelyä valimossa, jossa romu sulatetaan ja otetaan uudelleen käyttöön. Taulukossa 2 on esitetty romujen lajitteluohjeet.

Taulukko 2. Valssaamon romujen lajitteluohjeet (Aurubis Finland Oy 2026).

Romu	Lajitteluohjeet
Romurulla	Enimmillään 1 m leveä ja paino 2500 kg. Tärkeää, että pää on sidottu hyvin teipillä.
Reunaromukieppi	Enimmillään 1 m leveä ja halkaisija korkeintaan 40 cm.
Romulaatikko	Romulaatikossa toimitettavia romuja ei saa sulloa, sillä muuten laatikko ei tyhjene kunnolla, kun se kipataan.
Kuumavalssirullat	Paino ei saa olla yli 2500 kg.
Levyniput	Toimitetaan kuparivanteella sidottuna nippuna. 1 m x 2 m -levyniput, paino enintään 2000 kg.
Sahan päätyromu	Sidotaan neljällä teräsvanteella. Pino on koottava tasapainoiseksi, jotta saadaan turvallisesti kuljetettua trukilla.

Kuparin selkeän merkinnän ja lajitteluohjeiden tavoitteena on varmistaa romun turvallinen ja tehokas käsittely. Liian suuret romut eivät mahdu kuilu-uuniin tai eivät sulaa riittävän nopeasti sulatusprosessin aikana, mikä heikentää valimon toiminnan sujuvuutta. Kuparin merkitseminen spraymaalilla vähentää eri laatujen, kuten puhtaan romukuparin ja DHP-romun sekoittumista ja helpottaa niiden lajittelua.

Valssaamossa syntyvät romut kuljetetaan trukilla romulaatikoissa, rullin ja laattoina ulkona sijaitseviin varastointipaikkoihin, kuten romukatokseen, romulavoille tai traktorin peräkärärylle. Romut pyritään lajittelemaan mahdollisimman tarkasti puhtaisiin romuseoksiin (OF/OFE, ETP, XLP, HCP), epäpuhtaaseen DHP-romuun sekä erikoisseoksiin, kuten CUSN ja messinki, jotka käsitellään ja kuljetetaan erillään muusta romusta. Kuvassa 2 on esitetty lava, johon muun muassa valssaamossa syntyvää romua kerätään.

Kuva 2. Romulava



3 Kirjallisuus

Kuparin elinkaari muodostuu kuudesta keskeisestä vaiheesta: louhinnasta, jalostuksesta, puolivalmiste- ja tuotevalmistuksesta, käyttövaiheesta sekä kierrätyksestä. Tässä luvussa tarkastellaan kuparin ominaisuuksia, jotka ohjaavat kuparin teknistä soveltuvuutta. Tarkastelu painottuu primäärituotannon ja sekundääriprossien vertailuun, korostuen kierrätyksen tuottamiin ympäristöhyötyihin. Lisäksi luvussa analysoidaan puhtaan ja epäpuhtaan kupariromun taloudellista sekä ympäristöllistä merkitystä osana resurssitehokasta kiertotaloutta.

3.1 Kuparin ominaisuudet

Kupari (Cu) on yksi varhaisimmista ihmiskunnan hyödyntämistä metalleista. Sen keskeiset ominaisuudet liittyvät erityisesti erinomaiseen sähkön- ja lämmönjohtavuuteen sekä hyvään korroosionkestävyyteen. Kupari on hopean jälkeen toiseksi paras sähkönjohde, minkä vuoksi sitä käytetään laajasti sähkön siirrossa ja erilaisissa sähkösovelluksissa [6]. Lisäksi sen alhainen sähkövastus $1,72 \times 10^{-7} \Omega$ sekä kohtuullinen hinta verrattuna jalometalleihin, kuten kultaan ja hopeaan tekevät siitä hyvän materiaalin sähkötekniisiin sovelluksiin [8].

Kuparia hyödynnetään sekä puhtaana metallina että erilaisina seoksina, jolloin sen fysikaalisia, mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia voidaan sovittaa monipuolisesti eri käyttökohteisiin. Puhtaan kuparin mekaaninen lujuus ja kulutuskestävyys ovat kuparin pehmeiden ja sitkeyden vuoksi rajallisia, mutta näitä ominaisuuksia voidaan parantaa seostamalla [8]. Esimerkiksi tinan lisääminen kasvattaa kuparin lujuutta, parantaa kulutuskestävyyttä sekä vaikuttaa edullisesti sen työstettävyyteen ja hitsattavuuteen.

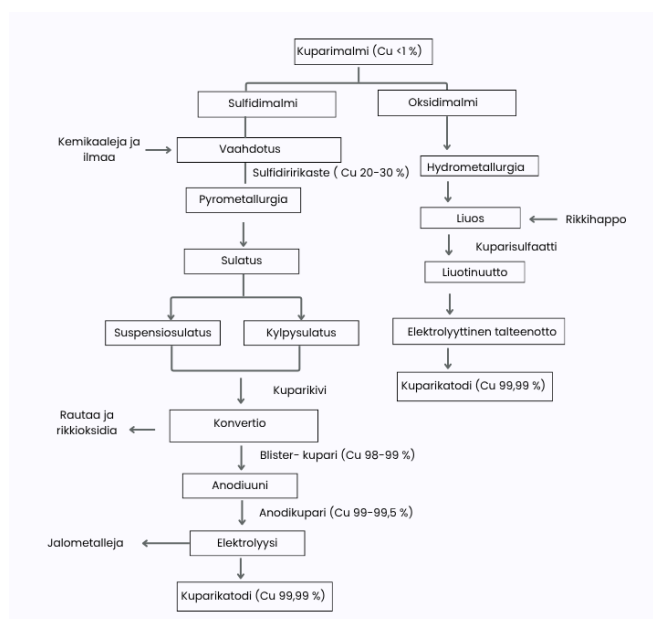
Kuparipohjaisia materiaaleja käytetään laajasti erilaisissa teknisissä sovelluksissa, kuten lämmönvaihtimissa, induktiolämmityslaitteissa, jäähdytyslaitteissa, jäähdytysjärjestelmissä, pattereissa ja elektronisissa liittimissä. Näiden materiaalien suosio perustuu niiden korkeaan sähkön- ja lämmönjohtavuuteen, hyvään korroosionkestävyyteen sekä erinomaisiin muovattavuus- ja lastuttavuusominaisuuksiin. Kupari on lisäksi hyvin muokattava materiaali, ja se soveltuu

sekä kuuma- että kylmämuokkaukseen [9]. Tämän ansiosta siitä voidaan valmistaa monenlaisia puolivalmisteita ja tuotteita, kuten levyjä, nauhoja ja putkia.

Teknologian viimeaikainen kehitys, erityisesti sähköistymisen ja energiatehokkuuden korostuminen on lisännyt kuparin kysyntää entisestään. Nykyisissä sovelluksissa kuparilta edellytetään korkeaa sähkön- ja lämmönjohtavuutta sekä erinomaista korroosionkestävyyttä [10]. Ympäristön näkökulmasta kupari on erittäin arvokas materiaali, sillä se on täysin kierrätettävissä ilman ominaisuuksien heikkenemistä [9]. Kuparia voidaan sulattaa ja käyttää uudelleen käytännössä rajattomasti, mikä tekee siitä kestävän valinnan nykyaikaisessa materiaalitaloudessa.

3.2 Primäärikuparin valmistusprosessi

Primäärikuparilla tarkoitetaan kuparia, joka tuotetaan suoraan louhituista malmeista sulatus- ja jalostusprosessin avulla. Kuparipitoiset malmit jaetaan geokemiallisesti sulfidi-, oksidi- ja natiivimetallimalmeihin, joista sulfidimalmit ovat yleisimpiä [11]. Maailman primäärikuparin tuotannosta noin 80 % perustuu Cu-Fe-S-mineraaleihin, kuten kalkopyriittiin. Sulfidimineraalit eivät liukene vesiliuokseen, minkä vuoksi niiden käsittely tapahtuu pääasiassa pyrometallurgisin menetelmin [12]. Oksidimalmit puolestaan soveltuvat hydrometallurgiseen käsittelyyn. Kuvassa 2 on esitetty primäärikuparin pyro- ja hydrometallurgiset valmistusvaiheet.



Kuva 2. Sulfidi- ja oksidimalmin valmistusvaiheet.

Primäärikuparin valmistus alkaa sulfidi- tai oksidimalmien louhinnalla, joissa kuparipitoisuus on tavallisesti alle 1 %. Ensimmäisessä vaiheessa malmi murskataan ja jauhetaan vesilietteeksi, minkä jälkeen se rikastetaan, tavallisesti vaahdottamalla. Vaahdotuksessa lietteeseen lisätään kemikaaleja ja ilmaa, jolloin kuparimineraalit tarttuvat ilmakupliin ja nousevat pintaan vaahdoksi, jolloin saadaan kuparirikaste, jonka kuparipitoisuus on 20-30 % [6].

Sulfidimalmien jatkokäsittely tapahtuu sulametallurgisesti. Nykyiset teolliset sulatusmenetelmät voidaan jakaa suspensio- ja kylpysulatukseen, joista liekkisulatus on yleisin suspensioprosessi. Liekkisulatuksessa hyödynnetään rikasteen sisältämien sulfidien ominaispalamislämpöä, jolloin prosessi on osittain omavarainen energian suhteen. Liekkisulatusprosessit kattavat reilusti yli 50 % kuparin tuotannosta maailmanlaajuisesti [13]. Kylpysulatusprosessissa prosessikaasu ruiskutetaan sulaan kylpyyn kylvyn voimakkaaksi sekoittamiseksi ja/tai kuplien muodostamiseksi. Sulatuksessa muodostunut kuparikivi johdetaan konvertteriin, jotka ovat tiilivuorattuja, lieriömäisiä, kääntyviä uuneja. Konvertterissa sulasta poistetaan rautaa ja rikkiä puhaltamalla sinne happipitoista ilmaa. Konvertoinnin tuloksena saadaan raakakuparia eli blister-kuparia, jonka kuparipitoisuus on noin 98 % [6].

Blister-kupari jatkokäsitellään anodiunissa, jossa siitä poistetaan jäljellä olevia epäpuhtauksia, jonka jälkeen saatu noin 99 % puhdaskupari valetaan anodilevyiksi elektrolyyttistä puhdistusta varten. Elektrolyysissä anodikupari liuotetaan happamaan kuparisulfaattiliuokseen sähkövirran avulla, jolloin puhdas kupari saostuu katodilevyille. Lopputuotteena saadaan yli 99,99 % puhdasta kuparikatodia. Elektrolyysin aikana pohjalle kerääntyneet jalometallit, voidaan myöhemmin erotella ja jatkojalostaa [14]. Suomessa kuparia puhdistetaan ainoastaan elektrolyyttisesti.

Oksidimalmien käsittely tapahtuu hydrometallurgisesti. Prosessissa malmi liuotetaan happoliuokseen, minkä jälkeen kuparipitoinen liuos puhdistetaan ja väkevöidään liuotinuotolla. Lopuksi kupari erotetaan liuoksesta elektrolyyttisesti, jolloin tuotteena saadaan puhdasta kuparikatodia [15].

3.3 Sekundäärikuparin käyttö valimossa

Sekundäärikuparilla tarkoitetaan kierrätettyä kuparia, joka on peräisin joko teollisuuden ylijäämäromusta tai erilaisista kuparia sisältävistä tuotteista. Ominaisuuksiltaan sekundäärikupari vastaa primäärikuparia, minkä vuoksi kuparia voidaan kierrättää useita kertoja ilman merkittävää laadun heikkenemistä. Sekundäärikuparin hyödyntäminen vähentää neitseellisen kuparimalmin tarvetta ja siten myös tuotannon ympäristövaikutuksia [16].

Primäärinkuparin tuotanto on energiantensiivistä ja siihen liittyy ympäristö- ja terveysvaikutuksia ja tuotannossa syntyvä jäte aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä [16]. Sekundäärituotanto tarjoaa kestävämmän vaihtoehdon, sillä sen tuotannon energian kulutus on 85 % pienempi ja päästöt 65 % alhaisemmat verrattuna primäärikuparin tuotantoon. Tämän vuoksi kuparin kierrätyksellä on keskeinen rooli materiaalitehokkuuden ja kestävä kehityksen kannalta.

Sekundäärikuparia hyödynnetään teollisuudessa uudelleensulatukseen perustuvissa prosesseissa. Kuvassa 3 on esitetty yksinkertaistettu valimoprosessi, jossa tuotannosta saatua kupariromua sekä primäärikuparista valmistettuja kuparikatodeja sulatetaan ja valetaan uusiksi kuparivalanteiksi.



Kuva 3. Valssaamon prosessi

Prosessi alkaa, kun panostaja täyttää kahmarilla romut ja katodit kuoppaan, josta ne kipataan kuilu-uuniin sulatettavaksi. Sulanut kupari johdetaan edelleen valu-uuniin ja kokilliin, jossa kupari jähmettynyt kupari muotoillaan valanteeksi. Lopuksi valanteet katkaistaan haluttuun mittaan ennen jatkokäsittelyä valssaamossa.

Romukuparin puhtaus riippuu valmistettavasti kuparilaadusta. Esimerkiksi DHP-kuparin valmistuksessa voidaan hyödyntää pelkästään epäpuhdasta DHP-romua, kun taas korkean sähkönjohtavuuden sovelluksissa käytetään puhtaampaa kierrätyskuparia ja

erittäin puhdasta kuparikatodia. Kuparilaatoille ominaista on vähäinen epäpuhtauspitoisuus sekä noin 0,02 % happipitoisuus. Happi sitoo jäljelle jääneitä epäpuhtauksia pääasiassa oksideiksi, mikä helpottaa sulatus- ja valutusprosessia ilman merkittävää vaikutusta kuparin sähkönjohtavuuteen [6].

Happipitoisiin kuparilaatuihin liittyy kuitenkin vetysairauden riski. Vetysairaudessa vety reagoi kuparioksidin kanssa muodostaen vesihöyryä, joka voi aiheuttaa materiaalin sisäisiä huokosia ja raerajahalkeamia korkeissa lämpötiloissa [17]. Vetysairauden ehkäisemiseksi on kehitetty hapettomia kuparilaatuja, joissa kuparin hapettuminen estetään suojakaasun ja pelkistävän hiilipeitteen avulla koko sulatus- ja valutusprosessin ajan [6]. Kuparia voidaan myös deoksidoida fosforin avulla, mutta liiallinen fosforipitoisuus heikentää kuparin sähkön- ja lämmönjohtavuutta.

3.4 Valssaamossa käsiteltävät kupariseokset

Kuparin sähkönjohtavuus ilmaistaan usein yksikössä % IACS (engl. International Annealed Copper Standard), joka kuvaa kuparin sähkönjohtavuutta [6]. Taulukossa 3 on esitetty valssaamon yleisimpien kuparilaatujen sähkönjohtavuuksia.

Taulukko 3. Kupariseosten sähkönjohtavuus.

Seos	Sähkönjohtavuus %IACS
OFE	101 %
OF	100 %
ETP	100 %
XLP	99 %
HCP	98 %
DLP	90 %
DHP	75 %

Hapettomat kuparit ovat sähkönjohtavuudeltaan parhaimpia kuparilaatuja. Cu-OFE (engl. oxygen free copper, electronic grade), on erittäin puhdas hapeton kupari, jonka kuparipitoisuus on vähintään 99,99 % ja happipitoisuus enintään 5 ppm. On kehitetty erityisesti elektroniikkateollisuuden tarpeisiin, joissa vaaditaan erittäin korkeaa sähkönjohtavuutta ja puhtautta.

Cu-OF (engl. oxygen-free copper) on toinen yleinen hapeton kuparilaatu, jona kuparipitoisuus on vähintään 99.95 %. Hapettomat kuparit ovat kestäviä vetysairautta vastaan, minkä vuoksi niitä käytetään esimerkiksi sähkönjohtimissa, virtakiskoissa sekä sähkö- ja tietoliikennekaapeleissa [6].

ETP-kupari (engl. tough pitch copper) on yleisin happipitoinen kuparilaatu. Sen sähkönjohtavuus on noin 100 % IACS, minkä vuoksi sitä käytetään laajasti sähköteollisuuden sovelluksissa, kuten kaapeleissa ja sähkökomponenteissa. Happi sitoo kuparissa olevat epäpuhtaudet oksideiksi, mikä helpottaa sulatus- ja valuprosessia, mutta on kuitenkin altis vetysairaudelle korkeissa lämpötiloissa [6].

XLP (engl. extra low phosphorus) ja HCP (engl. High Conductivity Phosphorous-deoxidized copper) kuparit yhdistävät korkean sähkönjohtavuuden hyviin valmistusominaisuuksiin. Cu-XLP sisältää vähintään 99.95 % kuparia ja erittäin vähän fosforia. Vähäisen fosforipitoisuuden ansiosta hitsattavuus on parempi kuin ETP-kuparilla, samalla kun sähkönjohtavuus säilyy samalla tasolla [18]. Cu-HCP puolestaan on hapeton ja vähäfosforinen kuparilaatu, joka yhdistää hyvän muovattavuuden, hitsattavuuden ja juotettavuuden korkeaan sähkönjohtavuuteen [19]. Näitä kuparilaatuja käytetään erityisesti sovelluksissa, joissa vaaditaan sekä hyvää sähkönjohtavuutta että hyviä valmistusominaisuuksia.

DLP (engl. phosphorous-deoxidized copper-high residual phosphorous) ja DHP (engl. phosphorus-deoxidized copper) kuparit ovat fosforideoksidoituja kuparilaatuja. Fosforia käytetään poistamaan happi kuparisulasta, jolloin materiaalin vetysairausherkkyyks pienenee [6]. Fosfori kuitenkin heikentää kuparin sähkönjohtavuutta, minkä vuoksi DHP- ja DLP-kuparit eivät sovellu sähkönjohtotarkoituksiin. Niitä käytetään erityisesti lämmönsiirtimissä, kuumavesivaraajissa, julkisivuissa sekä ilmastointi- ja jäädytysjärjestelmien putkistoissa [6]. Lisäksi fosfori nostaa kuparin uudelleenkiteytymislämpötilaa ja vähentää raekoon kasvua lämpökäsittelyn aikana, mikä parantaa materiaalin käsittelyominaisuuksia.

3.4.1 Erikoisseokset

Kupariin voidaan lisätä pieniä määriä seosaineita materiaalin ominaisuuksien muuttamiseksi. Seostuksella voidaan esimerkiksi parantaa kuparin lujuutta, pehmenemislämpötilaa, korroosionkestävyyttä tai lastuavuutta. Yleisiä kupariseoksia ovat hopeakuparit, messingit ja tinapronssit.

Hopeakuparia käytetään erityisesti sähköteollisuuden sovelluksissa, joissa materiaalilta vaaditaan hyvää virumislujuuksia korkeissa lämpötiloissa. Hopean vaikutus hidastuu 0,06 %:sta lähtien, joten monissa teknisissä tarkoituksissa riittää vain pieni hopealisäys [6]. Messingit eli kuparisinkkiseokset muodostavat yhden tärkeimmistä kupariseosryhmistä. Niille ominaista on hyvä korroosionkestävyys sekä sinkkipitoisuudesta riippuva kellertävä väri, jota Aurubis hyödyntää Nordic Copper-tuotteissaan. Tinapronssit eli kupari-tinaseokset puolestaan kestävät hyvin merivettä ja happamia ympäristöjä [6].

Kupariseosten kierrätyksessä materiaalien oikea lajittelu on tärkeää, sillä niitä ei voida sulattaa yhdessä puhtaiden kuparilaatujen kanssa. Käytyjen keskustelujen perusteella yksikin väärin lajiteltu kieppi voi aiheuttaa kymmeniä tonneja romua kuparivalimossa. Tästä syystä erikoisseokset lajitellaan aina erikseen muista kupariseoksista.

3.5 Romukuparien sekoittumisen taloudelliset vaikutukset

Kuparin hinnoittelu perustuu pääosin London Metal Exchange (LME)-pörssin noteerauksiin, jotka toimivat globaalina viitehintana erityisesti puhtaalle kuparikatodille. LME-hinta koskee standardoitua erittäin puhdasta standardoitua kuparikatodia [20]. Yritykset, jotka toimivat kuparimarkkinoilla, käyttävät tätä hintaa lähtökohtana sekä ostetta myyntipäätöksissään. Kaikki kupari ei kuitenkaan ole laadultaan tai puhtaudeltaan samanarvoista, minkä vuoksi sen hinta ei suoraan määräydy LME-kurssin mukaan.

Romukupari eroaa puhtaasta kuparikatodista. Romukupari sisältää usein epäpuhtauksia, kuten likaa, mikä heikentää kuparin laatua ja sen käyttöä sellaisenaan. Tämän seurauksena romukuparista maksetaan alhaisempaa hintaa suhteessa LME-hintaan. Alhaisemman hinnan syynä on se, että ostajalle aiheutuu lisäkustannuksia materiaalin puhdistamisesta ja jalostamisesta.

Jalostusprosessissa romukuparin arvo nousee. Siinä romukupari puhdistetaan, mikä vaatii kuitenkin resursseja. Se kuluttaa energiaa, työvoimaa ja usein myös kemiallisia aineita. Joten jalostuksessa saatava arvon lisäyksen on katettava jalostusprosessissa syntyneet menot. Sen takia puhdistetusta kuparista voidaan saada markkinoilla korkeampi hinta, joka on lähellä LME:n noteeraamaa tasoa tai jopa sen yläpuolella.

Kuparin lajittelu valssaamalla on keskeistä koko arvoketjun kannattavuuden kannalta. Mikäli puhdasromukupari sekoittuu epäpuhtaaseen romukupariin, joudutaan koko erä myymään tai lajittelemaan epäpuhtaimman kuparin mukaan. Tämä johtaa sekä suoran myyntiarvon laskuun ja aiemmin tehdyn työn arvon menetykseen.

Tästä syystä romukuparin tarkka lajittelu, varastointi ja hallittu käsittely ovat taloudellisesti merkittäviä. Pienetkin romujen sekoittumiset voivat aiheuttaa huomattavia taloudellisia menetyksiä, minkä vuoksi lajittelun kehittäminen valssaamon työkoneilla on taloudellisesti tärkeää.

3.6 Romukuparin käytön ympäristöhyödyt

Kuparin tuotannolla on merkittäviä ympäristövaikutuksia, erityisesti primäärituotannossa, jossa kuparia valmistetaan malmeista. Primäärituotanto on energiantensiivistä, sillä kuparimalmien pitoisuudet ovat usein alle prosentin [15]. Tämän vuoksi suuria määriä kiveä täytyy louhia, murskata ja rikastaa, jotta kupari saadaan erotettua malmista.

Vaihtoehtona primäärituotannolle on sekundäärituotanto, jossa kuparia valmistetaan kierrätetystä romukuparista. Romukupari voidaan jakaa vanhaan ja uuteen romuun. Vanha romu koostuu käytöstä poistetuista tuotteista, kuten sähköjohdoista, putkista ja elektroniikasta [21]. Uusi romu puolestaan syntyy suoraan teollisuuden tuotantoprosesseissa esimerkiksi romurullina, reunaromuna, ja jyrsinlastuina.

Tuotantolinjalla syntyvä romukupari on arvokkaampaa, koska sen laatu on usein tunnettu ja tasaista. Lisäksi se sisältää yleensä vain vähän epäpuhtauksia, minkä vuoksi romu voidaan usein palauttaa takaisin tuotantoon ilman laajoja puhdistusvaiheita. Kun valssaamalla syntyvä romu voidaan hyödyntää suoraan valimossa, vältetään useita primäärituotannon vaiheita, kuten kaivostoiminta ja rikastus.

Sekundäärituotannon merkittävimmät edut liittyvät energiansäästöön ja pienempiin päästöihin. Kuparin kierrätys kuluttaa jopa noin 85 % vähemmän energiaa kuin primäärituotanto, ja kasvihuonepäästöt voivat olla noin 65 % pienemmät [16]. Kierrätys vähentää uusien malmien louhinnan tarvetta ja säästää luonnonvaroja. Kierrätetyn kuparin merkitys kasvaa jatkuvasti myös maailmanlaajuisesti, sillä noin 35 % käytetystä kuparista on peräisin kierrätyksestä [22].

4 Tulokset

Tässä luvussa tarkastellaan Aurubiksen työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta muodostettua kokonaiskuvaa valssaamon eri koneilla tapahtuvasta kupariromun lajittelusta. Tarkastelun tavoitteena on kuvata koneiden nykyiset käytännöt sekä niihin liittyvät haasteet.

4.1 Haastattelujen tulokset

Valssaamossa muodostuvan romukuparin lajittelukäytäntöjä selvitettiin tuotantokoneiden työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen avulla viiden käyntikerran aikana. Käynnit mahdollistivat kaikkien valssaamon tuotantokoneiden lajittelukäytäntöjen tarkastelun. Keskustelujen perusteella pystyttiin muodostamaan kokonaiskuva romukuparin syntymisestä sekä sen lajittelusta. Keskusteluiden keskeisenä tavoitteena oli tarkastella DHP-romun erottelua muista puhtaista kuparilaaduista, jotta kierrätysmateriaalin laatu ja arvo voidaan säilyttää mahdollisimman korkeana.

Havaintojen ja keskustelujen perusteella suurimmat haasteet liittyivät työvaiheisiin, joissa romukuparia ei käsitellä yksittäin. Erityisesti tilanteissa, joissa useiden kuparirullien romut kerätään samaan romulaatikkoon ilman erillistä käsittelyä, jolloin romujen sekoittumisriski kasvaa. Koska romukupari tulee lajitella aina epäpuhtaimman mukana olevan materiaalin mukaan, johtaa tällainen sekoittuminen puhtaampien romujen arvon alenemiseen ja hyödyntämismahdollisuuksien heikkenemiseen.

4.1.1 Nauhaleikkurit (1204, 1206, 1201 ,1120)

Nauhaleikkureilla muodostuvan romukuparin käsittelyssä havaittiin konekohtaisia eroja mutta, kokonaisuutena prosessi sisältää alku- ja loppuromun sekä reunaromun erillisen käsittelyn ja varastoinnin. Romukuparien sekoittumiseen vaikuttaa miten epäpuhdas romu saadaan pidettyä erillään puhtaasta kuparista tuotannon koneilla.

Uudella 1204-nauhaleikkurilla syntyy koneen työntekijän mukaan alku- ja loppupään romua noin 15–20 metriä yhtä rullaa kohden, jota ei lajitella. Muut romut kuten reunaromu ja romurullat merkitään ja lajitellaan lajitteluohjeiden mukaisesti.

Kehityskohteena nousi esiin toisen romulaatikon lisääminen DHP-romulle linjaston loppupäähän. Haasteeksi voi tulla rajallinen tila tai riski siihen, että romut menisivät sekaisin.

1206-nauhaleikkurilla syntyy vähän sekalaista romukuparia. AKV leikkurilla ajetaan ohuimpia kupareita, jonka takia kuparirullasta noin 300–400 m menee romuksi, mutta se kierrätetään ohjeiden mukaan, samoin myös reunaromu. Tarvittaessa voitaisiin lisätä toinen romulaatikko vähentämään minkäänlaista romujen sekoittumista.

1201-nauhaleikkurilla syntyvä reunaromu paalataan ja kipataan lavalle. Yhdelle lavalle mahtuu tyypillisesti noin 5–6 kpl paalia. Paalien tarkkaa painoa on kuitenkin vaikea arvioida, sillä siihen vaikuttavat tuotantotekniset tekijät, kuten käsiteltävän kuparin paksuus, reunaromun leveys sekä nauhan kokonaispituus. Alku- ja loppuromu voidaan lajitella ohjeistuksen mukaisesti. Tähän esitettiin kehitystoimenpiteenä kiinnittämään huomiota DHP-kuparin erillään pitoon etenkin tilanteissa, joissa reunaromulava on lähes täynnä jo puhdasta romua.

1120 hitsaus- ja leikkauslinjalla kaksi tai useampi rulla hitsataan yhdeksi suuremmaksi rullaksi. Linjalla romukuparin lajittelu on toteutettu tehokkaasti ja siirrettävien romulaatikoiden käyttö mahdollistaa eri kuparilaatujen erillään pidon. Romulaatikoiden liikuteltavuus mahdollistaa joustavan lajittelun tilanteen mukaan sekä vähentää DHP-romun sekoittumista.

4.1.2 Kylmävalssaimet (1101, 1102, 1105)

Kylmävalssaimilla 1101, 1102 ja 1105 romukuparin lajittelu voidaan toteuttaa asianmukaisesti. Romua syntyy pääasiassa valssausvaiheiden yhteydessä, mutta saatu romupala on mahdollista ohjata oikeaan romulaatikkoon. Tarvittaessa syntyvä romurulla voidaan lisäksi merkitä asianmukaisesti ennen sen siirtämistä trukkipuljettajalle jatkokäsittelyä varten.

Nykyinen toimintamalli tukee romukuparin hallittua lajittelua. Kehitystoimenpiteenä olisi varmistaa tilan salliessa, että jokaisella kylmävalssaimella olisi käytössään kaksi romulaatikkoa, mikä parantaisi lajittelun tarkkuutta ja vähentäisi romujen sekoittumista.

4.1.3 Pesu- ja peittauskoneet (1140, 1150)

Peittauskoneella 1140 romukuparin muodostuminen on vähäistä, minkä vuoksi kaikki syntyvä romu kerätään yhteen romulaatikkoon erikoisseoksia lukuun ottamatta. Rullien käsittely ei aina tuota romua jokaisella ajokerralla, jolloin romulaatikon täyttymisnopeus on siten hidas, mikä johtaa noin kolmen viikon vaihtoväliin. Nykyinen käytäntö on prosessin näkökulmasta toimiva, eikä tarkentamiselle ole riittäviä hyötyjä sen vaatimiin resursseihin verrattuna.

1150 pesukoneen linjastolla on käytössä kaksi romulaatikkaa, joihin kertyy säännöllisesti romua, mutta kokonaismäärä on vähäinen. Linjaston alkupäässä olevaan romulaatikkoon romua kertyy vain satunnaisesti, kun taas loppupään romulaatikkoon syntyy tyypillisesti jokaisesta käsiteltävästä rullasta yksi romupala. Tarvittaessa syntyvät romurullat voidaan lajitella asianmukaisesti. Koska romua syntyy kokonaisuudessaan melko vähän, tarkemman lajittelun toteuttaminen ei ole prosessin kannalta välttämätöntä.

4.1.4 Läpivetouuni (1111 ja 1112)

Läpivetouuneilla 1111 sekä 1112 romukuparin muodostuminen on vähäistä ja luonteeltaan satunnaista. Syntyvä romu voidaan kuitenkin ohjeistusten mukaisesti lajitella asianmukaisesti. Kokonaisuutena näiden koneiden vaikutus romukuparin määrään ja lajitteluun on vähäinen.

4.1.5 Jyrsimet (1015 ja 1016)

Kaksipuolisella jyrsimellä 1015 sekä yksipuolisella jyrsimellä 1016 muodostuu jysintäprosessissa kuparilastua, joka johdetaan putkistoa pitkin erilliseen keräystilaan. Koneen 1015 työntekijän mukaan yhdestä rullasta syntyy noin 400 kg jysinlastua, ja yhdelle lavalle mahtuu arviolta noin 30 rullan lastut. Koneella on riski romujen sekoittumiseen, sillä yhdelle lavalle kertyy useiden rullien lastut ilman erillistä erottelua kupariseosten mukaan.

Yksipuolisella jyrsimellä 1016 laatat jysitään yksi puoli kerrallaan. Samalla tavalla jysinnässä syntyvä lastu johdetaan putkea pitkin yhdelle kippilavalle, johon kerätään

useiden ajojen romut, jolloin myös koneella esiintyy riski puhtaan romun ja DHP-romun sekoittumiselle.

Molempien koneiden osalta kehitysehdotuksena nousi esille toisen keräyslavan lisääminen sekä siirrettävän putkiston käyttöönotto. Ratkaisun avulla jyrsinlastu voitaisiin ohjata eri lavoille kupariseoksen perusteella, mikä vähentäisi romukuparin sekoittumista ja parantaisi lajittelun hallintaa. Tämä kehitysehdotus nousi esille myös koneen 1015 työntekijän kanssa käydyssä keskustelussa.

4.1.6 Saha (1130 ja 1131)

Katkaisusahalla 1130 syntyy lastua, päätypaloja ja suurempia kappaleita. Suuremmat kappaleet kerätään pienelle lavalle, mikä mahdollistaa puhtaiden ja epäpuhtaiden romujen tehokkaan lajittelun. Sen sijaan romulaatikkoon kerättävän romun lajittelu on haastavampaa, sillä sama romulaatikko on käytössä usean vuoron ajan. Tämän seurauksena romulaatikko luokitellaan usein varmuuden vuoksi DHP-romuksi. Kehitystoimenpiteenä nähtiin erityisesti romulaatikon selkeämpi merkintä sekä DHP-kuparin päätyamisen vähentäminen yhteiseen romulaatikkoon. Haasteena on kuitenkin, että se vaatii työntekijältä lisätyötä.

Kaistasahalla 1131 syntyvä romu koostuu pääasiassa lastusta sekä pitkistä ja kapeista leikkuukappaleista. Romu kerätään lattiatason kautta jatkokäsittelyyn, eikä yksittäisten kappaleiden erottelu ole tuotannon kannalta tarkoituksen mukaista sen aiheuttaman lisätyön vuoksi. Keskusteluissa nousi esille mahdollisuus kehittää lajittelua lisäämällä erillinen keräystaso epäpuhtaalle romulle. Ratkaisun toteuttamista rajoittavat nykyiset tilaratkaisut ja koneen rakenne, mutta pidemmällä aikavälillä koneen liikeratoihin tehtävät muutokset voisivat mahdollistaa romun tehokkaamman erottelun kupariseoksen perusteella. Eli nykyisessä rakenteessa koneen pöytä nousee alhaalta ylöspäin kuljettaen romut keräystasolle. Tällöin uusi lisätaso estäisi pöydän normaalin liikeradan. Kehitysideana pöydän liikesuuntaa muutettaisiin, siten että se liikkuisi ylhäältä alaspäin. Tällöin pöydän liikeradan ja pituutta säätämällä voitaisiin ohjata romu joko ensimmäiselle tai toiselle keräystasolle, mikä mahdollistaisi puhtaiden ja epäpuhtaampien romujen erottelun tehokkaammin

4.1.7 Levyleikkurit (1321+1435, 1322, 1323 ja 1300)

Levyleikkureilla romukuparin lajittelu toteutuu pääosin hallitusti, vaikka konekohtaisia eroja esiintyy erityisesti tilaratkaisujen ja syntyvän romutyypin osalta esimerkiksi reunaromu ja alku- ja loppuromu.

Skarveirilla 1321 ja pakkauslinjastolla 1435 syntyy reunaromua ja romulaattoja. Laattojen lajittelu voidaan toteuttaa asianmukaisesti. Laattojen eri kupariseosten erottelua tuetaan erottelemalla seokset puupölkkyjen avulla, mikä vähentää sekoittumisriskiä. Reunaromulaatikkoon mahtuu noin viiden rullan romut. Laadukas reunaromun lajittelu pyritään säilyttämään varsinkin tilanteissa, jossa koneella ajetaan puhdasta kupariseosta. Kehitysehdotuksena olisi lisätä samantyyppinen laatikoiden liikuttelumahdollisuus kuin hitsikoneella 1120.

Laattaleikkurilla 1322 romukuparit voidaan lajitella seoskohtaisesti. Ainoastaan koneen rakenteisiin jäävät pienimmät kappaleet kerätään siivouksen yhteydessä ja lajitellaan DHP-romuna. Samoin pyöryläkoneella 1323 pystytään romukuparit lajittelemaan tehokkaasti. Koneen kippilaatikot vaihdetaan aina kupariseoksen vaihtuessa, mikä mahdollistaa eri materiaalien pitämisen erillään. Koneella käsitellään pääosin puhdasta OF-kuparia sekä epäpuhdasta DHP-kuparia ja nämä romulaadut voidaan erottaa tehokkaasti koneella.

Consella 1300-työkoneella kuparirullasta valmistetaan laattaa, jolloin prosessissa syntyy reunaromua sekä alku- ja loppuromua. Reunaromulaatikon kapasiteetti koneen työntekijän mukaan noin kolmen rullan verran romua, mutta käytännössä puhtaiden romujen erottelu DHP-kuparista on harvoin mahdollista. Ohjeistusten mukaisesti voidaan lajitella lähinnä pitkät rullalle ajettavat romupätkät sekä erikoisseokset.

Romun lajittelun parantamista rajoittavat erityisesti koneen tilat. Vaikka koneen reunaromulaatikon viereen olisi mahdollista sijoittaa toinen romulaatikko, niiden käsittely ja siirtäminen olisi ahtauden vuoksi haastavaa. Lisäksi linjaston loppupäässä on tilaa vain yhdelle romulaatikon, johon kaikki syntyvä romu kerätään. Romulaatikon jatkuva vaihtaminen puhtaana ja epäpuhtaana romun välillä ei myöskään olisi tuotannon tehokkuuden kannalta tarkoituksen mukaista.

4.1.8 Kuumavalssain (1012)

Kuumavalssaimella 1012 on käytössä yksi romulaatikko, johon kerätään kaikki kupariromu lukuun ottamatta erikoisseoksia, kuten CUSN- ja messinkiseoksia. Nämä erikoisseokset erotellaan ja lajitellaan erikseen. Romua syntyy kuparilaattojen päiden tasauksessa, jossa yhdestä laatan päästä muodostuu noin 14 kg romua. Työvuoron aikana käsiteltäessä noin 70–100 laattaa romua kertyy yhteensä arviolta 140–200 kappaletta, mikä vastaa keskimäärin noin 2240 kg romukuparia työvuoroa kohden. Kaikki syntyvä romu merkitään nykykäytännön mukaisesti DHP-romuksi.

Nykyinen lajittelukäytäntö perustuu prosessin tehokkuuteen, eikä tarkempaa erottelua ole toteutettu, koska romun käsittely tai useamman romulaatikon käyttö lisäisi työvaiheita ja heikentäisi tuotannon sujuvuutta. Kuumavalssain on kuitenkin yksi merkittävimmistä kone puhtaan romukuparin sekoittumisen kannalta, koska koneen kautta kulkee suuria määriä kuparia, sillä kaikki tuotannossa käsiteltävät kuparit kulkevat kuumavalssin kautta. Eikä koneella ei ole minkäänlaista romujen lajittelua.

Keskusteluissa kehitysideaksi nousi esiin työntekijöiden aktiivisempi panostus romun lajitteluun. Työntekijöiden ohjeistuksen ja toimintatapojen tarkentamista siten, että yksittäisiä DHP-romukappaleita voitaisiin tarvittaessa erotella romulaatikosta tilanteissa, joissa romulaatikko ennestään sisältää ainoastaan puhdasta romua. Tällä pyrittäisiin vähentämään puhtaan kuparin sekoittumista ja parantamaan puhtaan romun saamista talteen.

Toisena kehitysehdotuksena olisi löytää tilaratkaisu kahden romulaatikon käyttöönottoon siten, että lajittelu olisi mahdollista toteuttaa ilman merkittävää vaikutusta tuotannon tehokkuuteen. Tavoitteena olisi parantaa romun erottelua erityisesti puhtaan ja epäpuhtaan kuparin välillä.

5 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin keinoja kuparin kiertoromun lajittelun parantamiseksi valssaamon tuotantokoneilla. Tutkielmassa keskityttiin erityisesti puhtaiden kuparilaatujen (OF, OFE, ETP, XLP ja HPC) sekä heikommin sähköä johtavan DHP-kuparin erotteluun, sillä näiden kupariromujen sekoittuminen heikentää puhtaan romukuparin arvoa ja hyödyntämismahdollisuuksia.

Kiertoromun lajittelun parantamista tarkasteltiin tuotantokoneiden työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen sekä kirjallisuuskatsauksen avulla. Lisäksi tutkielmassa käsiteltiin myös kiertoromun taloudellisia ja ympäristöön liittyviä näkökulmia. Keskustelujen perusteella muodostettiin kokonaiskuva valssaamon nykyisistä lajittelukäytännöistä, ja kirjallisuuskatsaus tuki kiertoromun taloudellisten ja ympäristöhyötyjen arviointia.

Keskustelujen ja havaintojen perusteella romukuparin lajittelu toteutuu useilla tuotantokoneilla pääosin asianmukaisesti. Lajittelun onnistumiseen vaikuttavat kuitenkin koneiden rakenteelliset ominaisuudet, käytettävissä olevat tila ja romukuparin merkintä- ja käsittelykäytännöt. Suurimmat puhtaan kiertoromun häviöt havaittiin erityisesti jrsinkoneilla, nauhaleikkureilla ja kuumavalssilla, joissa koneilla useiden kuparirullien romut päätyvät samaan romulaatikkoon. Tämän seurauksena puhtaan romukuparin sekoittuminen DHP-romuun on useasti välttämätöntä. Näillä koneilla nähtiin suurin potentiaali kiertoromun lajittelun kehittämiseksi.

Keskustelut työntekijöiden kanssa olivat hyödyllisiä, sillä työntekijöillä oli hyvä ymmärrys koneiden toiminnasta ja lajitteluun liittyvistä haasteista. Keskustelut tukivat myös käytännön havainnointia ja auttoivat tunnistamaan keskeiset ongelmakohdat kiertoromun lajittelussa. Keskeiseksi kehitystoimenpiteeksi nousi työntekijöiden motivointi tarkempaan lajitteluun. Muutamilla koneilla työntekijöiden aktiivisuudella voitaisiin vähentää romukuparien sekoittumista. Haasteena on kuitenkin, että toimintatapojen muutokset kohtaavat todennäköisesti vastustusta, sillä se edellyttää totuttujen toimintatapojen muuttamista ja lisäävät työn määrää. Yhtenä mahdollisena ratkaisuna voisi toimia rahallinen kannustin, joka sitouttaisi työntekijöitä tarkempaan lajitteluun.

Teknisinä kehitysehdotuksina esille nousivat erityisesti romulaatikoiden lisääminen sekä erilaiset lajittelua tukevat ratkaisut jyrsimille, sahalle ja kuumavalssille. Pienikin määrä DHP-romua johtaa koko romun luokitteluun DHP-romuksi, minkä vuoksi jo pienilläkin muutoksilla voitaisiin vähentää puhtaan romun sekoittumista ja säilyttää suurempi osa romukuparista puhtaana kiertoromuna. Romulaatikoiden lisäämisen haasteina ovat kuitenkin tilanpuute, romujen mahdollinen sekoittuminen sekä romulaatikoiden käsittelyn vaikeuttaminen ahtaissa työtiloissa. Muut tekniset ratkaisut vaativat investointeja.

Kokonaisuutena havaintojen ja keskustelujen perusteella voidaan todeta, että kuparin kiertoromun lajittelua voidaan parantaa sekä teknisillä ratkaisuilla ja työntekijöiden ohjeistusta parantamalla. Suurimmat romujen sekoittumiset tapahtuvat koneilla, joissa useiden kuparirullien romut päätyvät samaan romulaatikkoon. Tämän vuoksi erityisesti romulaatikoiden lisääminen tilan salliessa ja työntekijöiden motivoinnilla voitaisiin saavuttaa hyötyjä puhtaan romukuparin talteenotossa.

Lähteet

- [1] Aurubis Finland Oy. 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.aurubis.com/en/finland/about-us>
- [2] Scandinavian Copper Development Association kotisivu. Seostamattomat kuparit. <https://www.kupari.com/kupari-ja-kupariseokset/kuparimetallit-ja-seokse/seostamattomat-kuparit/> (viitattu 19.3.2026).
- [3] M. J. Balart, J. B. Patel, F. Gao, ja Z. Fan, ”Grain Refinement of Deoxidized Copper”, *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 47, nro 10, s. 4988–5011, 2016, doi: 10.1007/s11661-016-3671-8.
- [4] Z. Zhang ym., ”Study on the effect of phosphorus on anti-softening performance of oxygen-free copper”, *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 33, s. 2612–2623, 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2024.09.252.
- [5] Ala-Karvia, H., ”Tuotannon laatuohjeet”, Opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu, Suomi, 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/891651/Ala-Karvia_Hanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [6] S. Silvennoinen, *Kuparimetalli*. teoksessa met-julkaisuja ; 1.
- [7] Maja, M., ”Hukkalämmön hyödyntäminen prosessivesien lämmitykseen”, Opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu, 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/884708/Maja_Matias.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [8] A. Vahedi Nemani, M. Ghaffari, K. Sabet Bokati, N. Valizade, E. Afshari, ja A. Nasiri, ”Advancements in Additive Manufacturing for Copper-Based Alloys and Composites: A Comprehensive Review”, *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 8, nro 2, s. 54, 2024, doi: 10.3390/jmmp8020054.
- [9] Scandinavian Copper Development Association kotisivu. Ominaisuudet <https://www.kupari.com/kupari-ja-kupariseokset/ominaisuudet/> (viitattu 18.3.2026).
- [10] J.-S. Liu, W.-X. Yu, D.-Y. Chen, S.-W. Wang, H.-W. Song, ja S.-H. Zhang, ”A Review of Studies on the Influence of Rare-Earth Elements on the Microstructures and Properties of Copper and Copper Alloys and Relevant Applications”, *Metals*, vol. 15, nro 5, s. 536, 2025, doi: 10.3390/met15050536.
- [11] S. Alvarado, P. Maldonado, ja I. Jaques, ”Energy and environmental implications of copper production”, *Energy*, vol. 24, nro 4, s. 307–316, 1999, doi: 10.1016/S0360-5442(98)00093-0.
- [12] M. Dimitrijević, A. Kostov, V. Tasić, ja N. Milosević, ”Influence of pyrometallurgical copper production on the environment”, *J. Hazard. Mater.*, vol. 164, nro 2–3, s. 892–899, 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.08.099.
- [13] H. Y. Sohn, ”Industrial Technologies for Copper Production”, teoksessa *Treatise on Process Metallurgy*, Elsevier, 2024, s. 567–573. doi: 10.1016/B978-0-323-85373-6.00022-3.
- [14] H. H. Nguyen ja V. Y. Bazhin, ”Optimization of the Control System for Electrolytic Copper Refining with Digital Twin During Dendritic Precipitation”, *Metallurgist*, vol. 67, nro 1–2, s. 41–50, 2023, doi: 10.1007/s11015-023-01487-3.
- [15] S. Alvarado, P. Maldonado, ja I. Jaques, ”Energy and environmental implications of copper production”, *Energy*, vol. 24, nro 4, s. 307–316, 1999, doi: 10.1016/S0360-5442(98)00093-0.
- [16] J. Zhang, X. Tian, W. Chen, Y. Geng, ja J. Wilson, ”Measuring environmental impacts from primary and secondary copper production under the upgraded technologies in key Chinese enterprises”, *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 96, s. 106855, 2022, doi: 10.1016/j.eiar.2022.106855.
- [17] Y. Yagodzinsky, E. Malitckii, T. Saukkonen, ja H. Hänninen, ”Hydrogen-enhanced creep and cracking of oxygen-free phosphorus-doped copper”, *Scr. Mater.*, vol. 67, nro 12, s. 931–934, 2012, doi: 10.1016/j.scriptamat.2012.08.018.
- [18] Aurubis, *C10300 (Cu-XLP)*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.aurubis.com/en/dam/jcr:3cc97f54-e2eb-4114-b4fc-3a006f28d7cd/c10300-cu-xlp-us.pdf>
- [19] Aurubis Stolberg, *Cu-HCP*. 2026. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.aurubis.com/en/dam/jcr:d3351b70-af64-467c-bc8f-e196007f61fd/PNA%20210_Cu-HCP_C10300-En.pdf
- [20] ”The LONDON METAL EXCHANGE”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.lme.com/>

- [21]F. Gómez, J. I. Guzmán, ja J. E. Tilton, "Copper recycling and scrap availability", *Resour. Policy*, vol. 32, nro 4, s. 183–190, 2007, doi: 10.1016/j.resourpol.2007.08.002.
- [22]X. Li, B. Ma, C. Wang, ja Y. Chen, "Sustainable recovery and recycling of scrap copper and alloy resources: A review", *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 41, s. e01026, 2024, doi: 10.1016/j.susmat.2024.e01026.