



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**Valokaariuuniin panostettavan romun esikuumennus  
ja kuivaus.**

Emmi Salo

PROSESSITEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Helmikuu 2023



# TIIVISTELMÄ

Valokaariuuniin panostettavan romun esikuumennus ja kuivaus

Emmi Salo

Oulun yliopisto, Prosessitekniikka

Kandidaatintyö 2023, 19 s. 8 liitettä

Työn ohjaajat yliopistolla: Eetu-Pekka Heikkinen, dos., TkT ja Ville-Valtteri Visuri, apul. prof., TkT

Valokaariuunia käytetään teräksen valmistuksessa. Sähkövirran avulla sulatetaan kierrätysromusta terästä. Kierrätysromun esikuumennus ja kuivaus ovat merkittävässä roolissa erityisesti niissä terästä tuottavissa maissa, joissa on kostea ilmasto. Kostean ilmaston takia romun sekaan pääsee vettä, joka voi valokaariuunissa aiheuttaa laiterikkoja sekä vaaraa ihmisille. Kaikissa maissa ei ole tätä ongelmaa, jolloin kierrätysromu voidaan panostaa suoraan valokaariuuniin, ilman esikuumennusta ja kuivausta. Työn tavoitteena oli tehdä kirjallisuusselvitys erilaisista rautaromun panostusmenetelmistä valokaariuuniin. Työssä selitettiin myös, miten romua voidaan esilämmittää ja kuumentaa. Erityisesti työssä vertailtiin Consteel- ja Quantum-menetelmiä. Johtopäätöksenä huomattiin menetelmissä eroavaisuuksia niin rakenteessa, hyödyissä ja haitoissa, kuin myös energian kulutuksessa sekä käsittelyajoissa.

Asiasanat: valokaariuuni, romun panostus, esikuumennus, kuivaus

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYSLUETTELO .....	4
1 Johdanto .....	5
2 Valokaariuuni .....	6
2.1 Valokaariuunin toimintaperiaate .....	6
2.2 Valokaariuunin rakenne .....	7
3 Panostus.....	9
3.1 Raaka-aineiden panostus valokaariuuniin .....	9
4 Panosmateriaalin esikuumennus valokaari-uunissa .....	10
4.1 Polttimet .....	10
4.2 Prosessikaasujen lämpösisällön hyödyntäminen.....	10
4.3 Panosmateriaalin esikuumennus/kuivaus osana VKU-prosessia .....	11
4.3.1 Consteel .....	11
4.3.2 Quantum EAF .....	12
5 Kulutus, lämpötila ja aika.....	15
6 Pohdinta.....	16
7 Yhteenveto .....	18
LÄHDELUETTELO .....	19

# 1 JOHDANTO

Teräksen valmistus perustuu yleisemmin joko masuuni- tai valokaariuunipohjaiseen valmistusmenetelmään. Valokaariuunissa terästä yleisimmin tehdään kierrätysromusta, kun taas masuunissa pääraaka-aineena toimii rautamalmi. Masuunin tuottama raakarauta mellaetaan hapen avulla teräkseksi Linz-Donawitz (LD) –konvertereissa. Valokaariuunit ovat yleistymässä, johon myötävaikuttaa pyrkimys siirtyä kohti vihreämpiä tuotantoteknologioita. Masuuneista halutaan päästä eroon niiden korkeiden kasvihuonekaasupäästöjen takia. Valokaariuunissa käytetään sähköenergiaa lämmityksessä, joka tuottaa huomattavasti vähemmän CO<sub>2</sub>-päästöjä kuin masuuni prosessi. Valokaariuuniin voidaan panostaa kierrätysterästä, joka voi olla esikuumennettua sekä suorapelkistettyjä rautapellettejä, jotka sisältävät erilaisia epäpuhtauksia. Tämä tutkimustyö on suunnattu enemmänkin pohjoisessa oleviin valokaariuuneihin. Lämpimissä maissa missä terästä valmistetaan valokaariuuneilla, ei ole ongelmia yleisesti romujen kosteuden kanssa, kun taas pohjoisemmassa keliolosuhteet (talvi ja vesisateet) vaikuttavat kierrätysromun kosteuteen. On tärkeää, että valokaariuuniin ei pääse kosteutta, koska se voi aiheuttaa vaaratilanteita ja voi rikkoa laitteita.

Tässä kandidaatintyössä on keskitytty erilaisiin valokaariuunin panostusmenetelmiin. Tavoitteena on tarkastella paria erilaista tapaa esikuivata kierrätysromua ennen kuin ne panostetaan valokaariuuniin. Työssä vertaillaan myös kuivausmenetelmiä keskenään, sekä tarkastellaan niiden hyviä ja huonoja puolia. Erityisesti keskitytään hihnakuljettimella toimivaan jatkuvatoimiseen panostukseen ja prosessin savukaasujen sisältämän lämmön hyödyntämiseen teräsromun lämmittämisessä sekä panostusmenetelmällä tapahtuvaan teräsromun kuumennukseen. Työssä tarkastellaan myös valokaariuunin kokonaisprosessia sekä muita vaihtoehtoisia panostusmenetelmiä. Kierrätysromun esikuumentaminen on tärkeää, jotta voitaisiin minimoida valokaariuunissa tarvittavaa energiaa.

## 2 VALOKAARIUUNI

### 2.1 Valokaariuunin toimintaperiaate

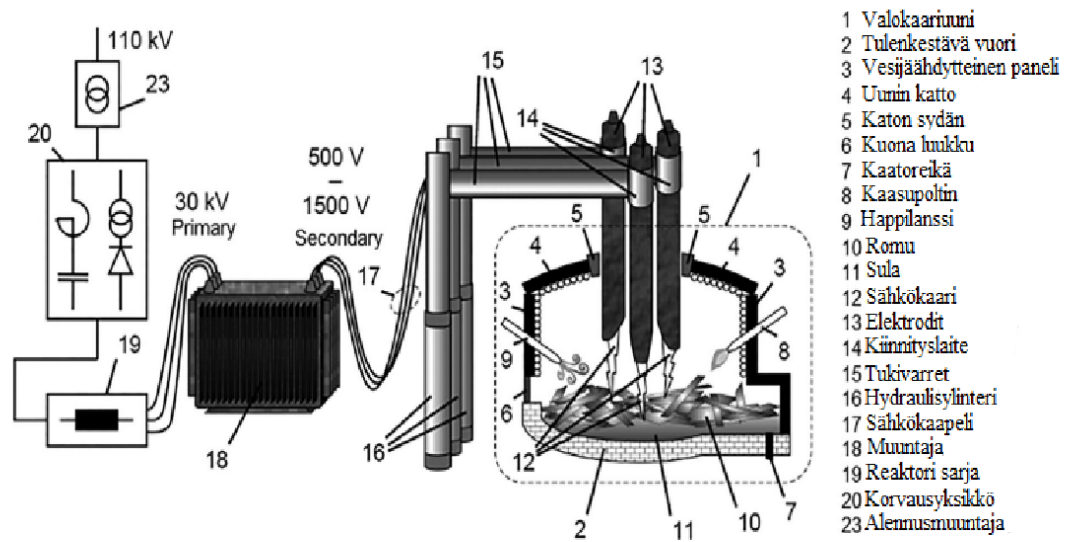
Valokaariuunissa raaka-aineet kuumennetaan elektrodien avulla. Valokaariuunin tyypistä riippuen näitä elektrodeja voi olla 1 tai 3 kappaletta. Jos valokaariuunissa on yksi elektrodi on se silloin malliltaan tasavirtauuni, jossa pohja toimii toisena elektrodina. Jos taas valokaariuunissa on kolme elektrodia, on se silloin malliltaan vaihtovirtauuni. Kuohuvan kuonan aikaansaamiseksi voidaan sulaan injektoida ja hiiltä puhaltaa sulan sekaan happea (Singh, 2016). Valmis teräs jatkaa matkaansa sekundäärimetallurgiaan. Sekundäärimetallurgiaan lukeutuvia jatkokäsittelymahdollisuuksia ovat esimerkiksi vakuumikäsittely, senkkauuni tai CAS-OB, joissa siihen lisätään seosaineita, poistetaan epäpuhtauksia sekä säädetään teräksen lämpötila halutuksi.

Valokaariuunissa elektrodien avulla syötetään sähköenergiaa rautarikasteen ja romun sekaan, jotta ne saataisiin sulatettua kiinteästä muodosta sulaan muotoon. Alkuun valokaariuuni, sekä sähkövirta mitä syötetään valokaariuuniin, ovat epävakaita. Lämpötilan noustessa uunissa valokaari, sekä sähkövirta kuitenkin stabiloituvat. Tämän jälkeen alkaa muodostumaan sulaa, jonka ansiosta valokaaresta tulee vakaa ja keskimääräinen tehonsyöttö alkaa kasvaa (Singh, 2016). Lämpö siirtyy sulamattomien romujen välillä johtumisen avulla, mikä edesauttaa sulamisprosessia. Valokaariuunissa seuraavaksi aletaan nostamaan lämpötilaa poltinten avulla. Tämän seurauksena saadaan kaikki loputkin sulamatta jääneet romut sulaan muotoon. Valokaariuunista riippuen kierrätysromua voidaan panostaa 1–3 kertaa yhden sulatuksen aikana. Romun panostus valokaariuuniin täytyy suorittaa useassa erässä, koska ne eivät kiinteässä muodossa mahdu kaikki yhdellä kerralla uunin sisään (Hay ym. 2018). Kun valokaariuunissa on tapahtunut kaikkien materiaalien sulaminen sulaan muotoon, voidaan sulan sekaan puhaltaa happea. Tämän seurauksena happi reagoi eri alkuaineiden kanssa, joita sulan seassa on. Tällaisia alkuaineita on alumiini, mangaani, pii, fosfori, hiili ja rauta (Singh, 2016). Nämä palamisreaktiot ovat eksotermisiä, jolloin ne tuottavat lisää lämpöenergiaa prosessiin. Tästä muodostuvat metallioksidit ovat prosessissa syntyviä sivutuotteita ja ne muodostavat sulan päälle kuonan yhdessä kuonamuodostajan käytettävän kalkin kanssa. Muodostunut kuona suojaa valokaariuunin seinämiä suuremmilta kulumisilta. Valokaariuunin seinämiin tarttunut kuona varastoi suuren määrän lämpöenergiaa, joka puhallusten aikana edesauttaa sulamista ja vähentää valokaariuunin energiankulutusta.

Kun kaikki romu ja rikaste on sulanut, voidaan siitä mitata lämpötila ja ottaa koostumusnäyte. Lopuksi teräs ja kuona erotetaan toisistaan ja teräs menee jatkojalostettavaksi ennen valamista. Riippuen valokaariuunin rakenteesta teräs voidaan kaataa pois valokaariuunista joko pohjasta tai sivusta. Kuona poistetaan valokaariuunista sen sivussa olevasta reiästä. Valokaariuunia kallistetaan pari astetta sivulle päin, jolloin kuonaa alkaa valumaan reiästä. Tämän kuonan poistamista voidaan auttaa kuokkimalla sitä. Yleensä kuonan poisto tapahtuu ennen kuin teräs kaadetaan senkkaan (Primetals Technologies, 2022). Valokaariuunia ei kaadeta täysin tyhjäksi, vaan sinne jätetään aina pienimäärä terästä ja kuonaa, jotta kierrätysromua ei tarvitse panostaa tyhjiin valokaariuuniin. Kierrätysromun panostaminen valokaariuuniin, jossa on jo valmiiksi materiaalia, edesauttaa sulamisprosessia sekä vähentää energian kulutusta. Jos valokaariuunia huolletaan tai se vaihdetaan toiseen, silloin se voidaan kaataa tyhjäksi. (Primetals Technologies, 2022).

## **2.2 Valokaariuunin rakenne**

Valokaariuuni on geometrialtaan soikea astia. Se on ulkopuolelta vuorattu teräskuorella ja se on sisäpuolelta muurattu keraamisella vuorausmateriaaleilla, joka voi olla esimerkiksi tiiltä tai ruiskutusmassaa. Seinämissä on johtimia, joiden avulla voidaan kondensoida lämpöä tasaisesti ympäri valokaariuunia. Valokaariuunin seinämissä ja katossa on myös linjoja, joissa kulkee jäähdytysvesi, jonka avulla estetään ylikuumeneminen (Odenthal ym. 2021). Valokaariuuni tyypin mukaan se voi sisältää 1 tai 3 eri elektrodiä, jotka voidaan laskea valokaariuuniin katossa olevista rei'istä. Elektrodeista lähtee johtoja, joiden avulla saadaan johdettua sähkövirtaa niihin. Johtojen toisessa päässä on muuntaja. Valokaariuunin yläosassa on kaksi putkea, joista toisesta voidaan puhaltaa sulan sekaan happea ja toisesta putkesta puhalletaan kaasumaista polttoainetta (Odenthal ym. 2021). Tämän poltetun kaasun avulla saadaan nostettua valokaariuunin lämpötilaa. Teräs voidaan valokaariuunin rakenteesta riippuen erottaa kuonasta kahdella eri tavalla. Teräs voidaan kaataa pohjassa olevasta reiästä tai sivussa olevasta reiästä senkkaan. Kuona voidaan poistaa valokaariuunin sivussa olevasta luukusta kallistamalla valokaariuunia pariastetta ja kuokkimalla sitä pois (Tenova, 2022). Teräs kaadetaan senkkaan ja kuona kaadetaan kuonapataan, jotka ovat valokaariuunin alapuolella raiteilla olevassa vaunuissa.



- 1 Valokaariuuni
- 2 Tulenkestävä vuori
- 3 Vesjähdytteinen paneli
- 4 Uunin katto
- 5 Katon sydän
- 6 Kuona huukku
- 7 Kaatoreikä
- 8 Kaasupolitiin
- 9 Happilanssi
- 10 Romu
- 11 Sula
- 12 Sähkökaari
- 13 Elektrodit
- 14 Kiinnityslaitte
- 15 Tukivarret
- 16 Hydraulisylinteri
- 17 Sähkökaapeli
- 18 Muuntaja
- 19 Reaktori sarja
- 20 Korvausyksikkö
- 23 Alemmuuntaja

Kuva 1. Valokaariuunin rakenne (mukaiillen Odenthal ym., 2018).

Elektrodit ovat liikutettavia, jotta niiden huoltaminen ja vaihtaminen olisi helpompaa. Valokaariuunin katto on poistettavissa, jotta valkokaariuunin panostaminen ja vaihtaminen olisi helpompaa. Huoltotoimintojen helpottamiseksi valokaariuuni on poistettavissa paikoiltaan nostureiden avulla (Primetals Technologies, 2022). Yleensä on valmiina uusi valokaariuuni, joka voidaan asettaa huollossa olevan valokaariuunin tilalle. Tämän ansiosta tuotannossa ei tapahdu suuria pysähdyksiä tai tappioita. Valokaariuunen rakenteeseen myös voi kuulua kierrätysromun esikuumentaminen. Tämä riippuu täysin romun laadusta ja siitä pääseekö sen sekaan kosteutta.



## 3 PANOSTUS

### 3.1 Raaka-aineiden panostus valokaariuuniin

Valokaariuuniin panostetaan kierrätys romua, sekä joissain määrin rikastettakin. Kierrätysromu on kuitenkin valokaariuunin pääraaka-aine. Tämä kierrätysromu voidaan esikuumentaa. Esikuumentaminen on tarpeellista, jos kierrätysromun sekaan on päässyt kosteutta. Maissa, joissa sataa paljon vettä tai lunta kierrätysromu olisi hyvä esikuumentaa. Esikuumentamisen ansiosta valokaariuunissa ei kulu niin paljoa energiaa romun sulattamiseen. Kosteutta ei saa joutua valokaariuuniin, koska siitä voi syntyä vetyräjähdys ja tämän seurauksena valokaariuuni voi vioittua ja aiheuttaa vaaraa ihmisille. Panostettavan teräsromun täytyy olla esikumennettua myös siksi, että kylmään romuun valokaarissa valmiiksi oleva sula teräs jähmettyisi kiinni. Tämä jähmettyminen johtuu myös osittain siitä, että valokaariuunissa on heikko virtausnopeus (Odenthal ym. 2021). Panostus voi tapahtua yhden sulatuksen aikana 1–3 kertaa. Useampi panostus johtuu siitä, että kaikki sulatukseen tarvittavat romut eivät mahdu kiinteässä muodossa kerralla valokaariuuniin. Esikumennustapoja on monenlaisia. Näissä kaikissa on pääideana hyödyntää valokaariuunissa syntyvän savukaasun lämpöenergiaa kierrätysromun esikuumentamisessa. Näiden savukaasujen poisto sijoitetaan yleensä esikumennuslaitteen alkupäähän, jolloin niiden täytyy kulkea kierrätysromun läpi (Tenova, 2022), jolloin osa savukaasujen sisältämästä lämpöenergiasta siirtyy kierrätysromuun. Kierrätysromun esikuumentamisessa voidaan apuna käyttää myös kaasupolttimia.

Aina ei kuitenkaan tarvita esikumennusta. Joissain pakoissa, missä terästä valmistetaan valokaariuunin avulla, ilmasto on niin kuumaa ja kuivaa, että ei ole tarvetta esikumennukselle. Tällöin voidaan kierrätysromu panostaa suoraan valokaariuuniin, ilman minkäänlaista esikuumentamista. Tällaisessa tapauksessa panostaminen voi tapahtua magneettinosturin tai jonkinlaisen kourun avulla.

## **4 PANOSMATERIAALIN ESIKUUMENNUS VALOKAARIUUNISSA**

### **4.1 Polttimet**

Kaasupolttimia voidaan käyttää kierrätysromujen esikuumentimissa. Niitä yleisimmin käytetään antamaan lisälämpöä romulle kuumennuksen lopulla. Tätä kutsutaan tehostetuksi jälkipoltoksi (Tenova, 2022). Täytyy muistaa huomioida, että polttimien käytön ei ole kuitenkaan tarkoitus sulattaa kierrätysromua, vaan antaa sille tarvittava lämpötila ennen panostusta. Consteel- ja Quantum-menetelmissä on molemmissa käytössä myös polttimet antamaan lisälämpöä tarvittaessa. Valokaariuunissa on käytössä polttimeita, joita käytetään kierrätysromun sulattamisen tehostamisessa.

### **4.2 Prosessikaasujen lämpösisällön hyödyntäminen.**

Esikuumennus ja panostus voidaan toteuttaa joka jatkuvatoimisena prosessina tai korimallisena, jossa panostus tapahtuu useampaan kertaan. Jatkuvatoimisessa kierrätysromujen panostuksessa käytetään yleisimmin hihnakuuljetinta, johon romu voidaan panostaa magneettinosturin avulla. Hihnan alkupäässä on pölynpoisto, josta voidaan prosessista syntyvät savukaasut poistaa ja saadaan savukaasujen lämpöenergia hyödynnettyä (Tenova, 2022). Toinen tapa panostaa ja esikuumentaa kierrätysromua valokaariuuniin on asettaa panostuskori valokaariuunin päälle. Valokaariuunissa syntyvät savukaasut nousevat ylöspäin, jolloin ne kuumentaisivat panostuskorissa olevia kierrätysromuja. Panostettaessa panostuskori aukeaa alapuolelta, jolloin romut putoavat valokaariuuniin. Panostuskori täytetään nosturilla tai jollain toisen laisella kuljettimella (Primetals Technologies, 2022). Valokaariuuni voidaan myös panostaa ilman minkäänlaista esikuumentamista nosturin tai kourun avulla.

Työssä tarkasteltavissa Consteel- ja Quantum-menetelmissä molemmissa hyödynnetään prosessissa syntyviä poistokaasuja. Poistokaasuissa on varastoituneena lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää, kun esikuumentetaan kierrätysromua. Valokaariuunissa

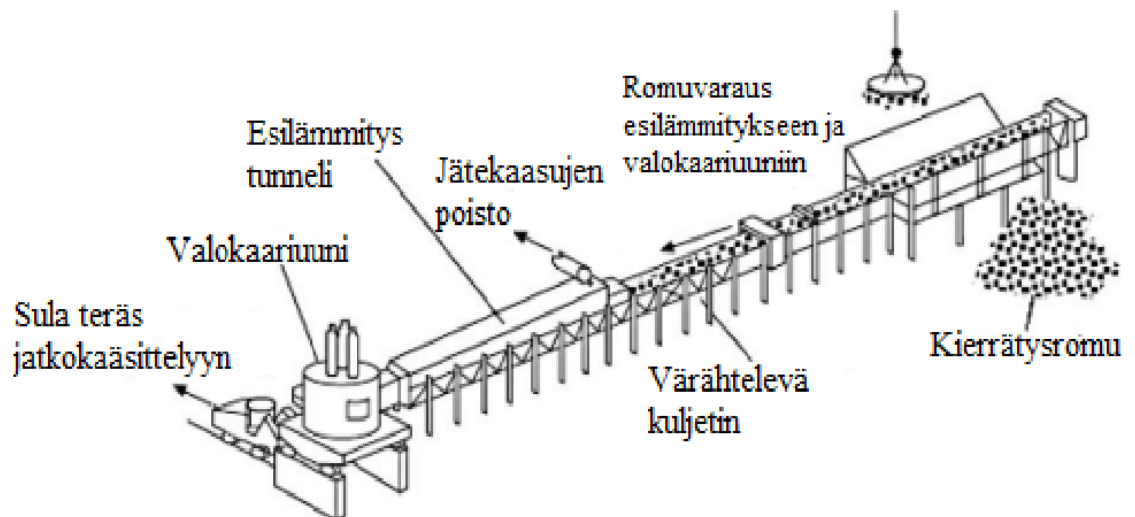
sulatuksen aikana syntyvät prosessikaasut johdetaan romujen esikuumennuksen alkupäähän sijoittamalla sinne pölynpoisto. Consteel-menetelmällä pölynpoisto on sijoitettu hihnan alkupäähän, mistä esikuumennus alkaa. Quantum-menetelmässä pölynpoisto tapahtuu panostuskorin yläpuolelta. Näin molemmissa tapauksissa saadaan kaikkein parhaiten hyödynnettyä prosessissa syntyviä savukaasuja. Yleensä jos prosessissa syntyviä savukaasuja halutaan hyödyntää kierrätysromujen esikuumentamisessa, tapahtuu valokaariuuniin romujen panostus joko jatkuvatoimisesti tai panostus tapahtuu useammin kuin kerran sulatuksen aikana.

### **4.3 Panosmateriaalin esikuumennus/kuivaus osana VKU-prosessia**

#### **4.3.1 Consteel**

Consteel-menetelmän ideana on se, että hihnalle nostetaan nosturilla kierrätysromu. Kierrätysromu kulkee esikuumennuksen kautta ja lopuksi se panostetaan jatkuvatoimisesti valokaariuuniin. Romujen kuumennus tapahtuu hyödyntämällä valokaariuunissa syntyviä savukaasuja, sekä käyttämällä vastuksia (Tenova, 2022).

Consteel-prosessin panostusmenetelmä on havainnollistettu kuvassa 2. Prosessin ensimmäisessä vaiheessa magneetin avulla nostetaan kierrätysromu hihnakuljettimen alkupäähän. Näin vältetään ottamasta kierrätysromun seasta suurempia epäpuhtauksia, jotka eivät ole terästä. Tämän jälkeen se kulkee hihnaa pitkin esikuumentimelle. Hihnakuljettimessa on tärytin, joka täryttää hihnaa ja näin ollen romuakin. Romun täytyy olla mahdollisimman tasaisesti kuljettimella, jotta se kuivaisi ja kuumenisi mahdollisimman tasaisesti, eikä mihinkään jäisi nestettä (vettä pääsääntöisesti). Mahdollisimman tasaisesti lämmennyt romu helpottaa valokaariuunissa tapahtuvaa sulamisprosessia. Esikuumennuksen alkupäässä on pölynpoisto, joihin kerätään esikuumentimen läpi menneet savukaasut (Madias, 2016). Siihen on kiinnitetty sensorit, joiden avulla voidaan seurata kaasun lämpötilaa ja koostumusta. Tämän jälkeen tulee alempi huuva. Lopuksi vielä tulee tehostettu jälkipoltto, ennen kuin romut panostetaan valokaariuuniin. Jälkipoltolla saadaan romu kuumennettua vielä haluttuun lämpötilaan. Kierrätysromujen panostus tapahtuu välittömästi esikuumentamisen jälkeen.



Kuva 2. Consteel panostusmenetelmä (Mukaillen Madias, 2016)

Valokaariuunista johdetaan savukaasut oikeaan suuntaan imujen avulla. Panostettava romu ei kaikesta tästä huolimatta ole tasalämpöistä. Kierrätysromu on hihnalla, jolloin sen päällimmäiseen osaan kohdistuu enemmän lämpöä. Näin ollen hihnaa vasten olevat romut ovat viileämpiä kuin, mitä sen päällä olevat romut ovat (Madias, 2016). Valokaariuunia ei voida tässä menetelmässä kaataa täysin tyhjäksi teräksestä ja kuonasta, vaan sen pohjalla täytyy aina olla jonkin verran terässulaa.

Consteel-menetelmän haittapuolena on sen romun hihnasyötöstä aiheutuva tilan tarve. Hihnakuljettimen ympärille täytyy rakentaa tarpeeksi suuri halli, jotta sinne saadaan mahtumaan nosturit sekä panostettava kierrätysromut. Toinen huono puoli on kierrätysromun osittainen epätasainen kuumeneminen. Consteel-menetelmän etu on sen jatkuvatoimisuus. Toinen etu on prosessissa syntyvien savukaasujen hyödyntäminen osana esikuumennusta. Tämän ansiosta energiaa säästyy.

#### 4.3.2 Quantum EAF

Quantum-menetelmässä romut nostetaan kouruun, joka kuljettaa sitä raiteita pitkin ylöspäin. Kourusta panostetaan romut koriin, joka on valokaariuunin yläpuolella. Valokaariuunista tulevat savukaasut, sekä polttimet lämmittävät kierrätysromua. Lopuksi

kun Kierrätysromu on lämmennyt tarpeeksi, voidaan se panostaa valokaariuuniin (Primetals Technologies, 2022). Panostus tapahtuu noin 1–3 kertaa sulatuksen aikana.

Kuvassa 3 on havainnollistettu miten Quantum-prosessi toimii. Kierrätysromu tuodaan isoon halliin sisään, mistä se voidaan nosturin avulla nostaa kourulle. Tämä kouru kulkee ”raiteilla”, missä se liikkuu ylöspäin, jotta sen panostaminen esilämmitys koriin olisi mahdollisimman helppoa (Primetals Technologies, 2022). Kourun avulla panostetaan romut valokaariuunin yläpuolella olevaan koriin sen yläpuolelta. Tämän panostuksen ajaksi pölynpoisto huuva nostetaan pois edestä. Korin rakenne on tarkkaan suunniteltu, jotta valokaariuunista tulevien savukaasujen lämpöenergia saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman hyvin (Beile, 2019). Valokaariuunista tulevien savukaasujen poisto tapahtuu panostuskorin yläpuolella olevasta pölynpoistosta, jotta kaikki lämpöenergia saataisi hyödynnettyä kierrätysromun kuivauksessa ja kuumentamisessa. Polttimilla voidaan myös edesauttaa kierrätysromujen kuumennusta ja kuivausta tarvittaessa. Valokaariuunista myös lähtee johtimia, joiden avulla voidaan johtaa ylimääräinen lämpö koriin ja siitä kierrätysromuun (Primetals Technologies, 2022).



Kuva 3. Quantum-panostusmenetelmä (mukaillen Beile, 2019)

Kun kierrätysromu on saatu esikuumennettua haluttuun lämpötilaan, voidaan se panostaa valokaariuuniin. Panostaminen tapahtuu korin pohjasta, josta aukeaa ”hampaat” sivuille ja kierrätysromu pääsee putoamaan valokaariuuniin (Primetals Technologies, 2022). Heti

kun on saatu kierrätysromu panostettua valokaariuuniin, on seuraava kouru valmis panostamaan uuden lastin koriin. Korista ei koskaan panosteta kierrätysromuja tyhjiin valokaariuuniin, vaan valokaariuunin pohjalla on valmiiksi sulaa terästä ja kuonaa (Primetals Technologies, 2022). Sinä aikana, kun valokaariuuni sulattaa kierrätysromua, on seuraava romukori esikuumentamassa, jotta se voidaan panostaa valokaariuuniin heti tarvittaessa. Tämä vaihe voidaan toistaa niin monta kertaa kuin vaan on tarve (Beile, 2019). Yleisimmin tehdään noin 1–3 panostusta yhden sulatuksen aikana, mutta tarpeen vaatiessa panostuksia voi olla useampiakin.

Tämän esikuumentamistavan haittapuolena on myös suuri tilantarve. Valokaariuunin yläpuolelle täytyy pystyä mahtua sekä kuivaus/kuumennus kori ja sen yläpuolelle vielä pölynpoistolaitteisto (Beile, 2019). Tilaa tarvitaan myös vaakatasossa. Romukuljetin vaatii paljon tilaa vaakatasossa. Nosturi, joka panostaa kourua tarvitsee myös liikkumistilaa paljon. Quantum-menetelmän hyvänä puolena on sen automatisoiminen. Kourun kulkeminen, panostaminen, korin lämmittäminen, sekä kierrätysromun panostaminen valokaariuuniin, voidaan automatisoida kokonaan (Beile, 2019).

## 5 KULUTUS, LÄMPÖTILA JA AIKA

Yleisesti jos halutaan valmistaa valokaariuunissa terästä noin 1620–1640 °C:ksi ja huomioitaisiin myös esilämmityksen vaatima kulutus, menisi energiaa yhteensä noin 390 kWh/t (Toulouevski, 2013). Tässä täytyy nyt huomioda se, että eri esikuumentus laitteilla kulutus voi olla hiukan pienempi tai suurempi. Mitä enemmän esikuumentin voi hyödyntää prosessissa syntyvien savukaasujen sisältämää lämpöä, sitä pienempi kulutus esilämmittimessä on, joka taas vaikuttaa kokonaiskulutukseen vähentämällä sitä. Teräksen valmistus valokaariuunissa (sisältäen romun esilämmittämisen, panostamisen valokaariuuniin, sulattamisen, kuumentamisen haluttuun lämpötilaan sekä sen pois kaatamisen) kestää noin 50–70 minuuttia. Keskimääräinen aika on yleensä vähän alta 60 minuuttia (Schmitt, 1997).

Consteel-menetelmässä hihnalla oleva kierrätysromu esikuumentetaan noin 316 °C:ksi ennen kuin se panostetaan valokaariuuniin. Täytyy huomioda, että kaikki romu ei ole tasalämpöistä, vaan alempana olevat romut voivat olla viileämpiä kuin mitä päällä olevat romut ovat. Koko prosessi kestää noin 50 minuuttia (esikuumentuksen alusta, aina valmiiksi teräkseksi). Energiankulutus esikuumentimessa, sekä valokaariuunissa on noin 360 kWh/tonni (Schmitt, 1997).

Quantum-menetelmässä korissa oleva romu esikuumentetaan noin 315–450 °C:ksi ennen kuin se panostetaan valokaariuuniin. Tässä lämpötilavälillä energian kulutus on noin 40–60 kWh/tonni (kyseessä siis pelkkä romujen esikuumentaminen). Esikuumentus kestää noin 5–8 minuuttia. Siitä, että romut lastataan kouruun, kuljetetaan valokaariuunin esilämmittimeen, panostetaan ja käsitellään valokaariuunissa teräkseksi kestää hiukan vajaan 70 minuuttia (Schmitt, 1997).

On tärkeää seurata tarkasti esilämmittimellä olevan romun lämpötilaa. Jos lämpötila lähtee kierrätysromussa nousemaan lähemmäksi 800–900 °C:tta, voi alkaa syntymään ongelmia kierrätysromuja panostaessa. Tässä lämpötilassa hieno romu alkaa hapettua voimakkaasti. Sen seurauksena tuotto lähtee alaskee sekä kierrätysromua panostaessa valokaariuuniin voi syntyä vaaratilanteita. Jos hapettunutta kierrätysromua pääsee valokaariuuniin siitä voi seurata räjähdysten tapainen tila, jossa vapautuu ilmaan hiilimonoksidia (Toulouevski, 2013). Tämä hiilimonoksidia on erityisen vaarallista ihmisten hengittää.

## 6 POHDINTA

Kun Consteel- ja Quantum-panostusmenetelmiä vertaillaan keskenään, huomataan niiden välillä samankaltaisuutta. Molempien ideana on hyödyntää prosessissa syntyviä savukaasuja, osana romujen lämmitystä. Molemmissa menetelmissä käytetään myös polttimia tehostamassa kierrätysromun kuivaamista ja lämmittämistä, lämmityksen loppuvaiheella. Molemmissa menetelmissä kierrätysromu täytyy panostaa esikuumentimelle. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää erilaisia nostureita ja kuljettimia.

Molemmissa on samana haittana niiden suuri tilan tarve. Kun aletaan suunnitella terästedasta, jossa teräksen valmistus tapahtuu valokaariuunin avulla, täytyy miettiä kuinka paljon tilaa on käytettävissä. Consteel-menetelmässä tilaa tarvitaan leveys- ja pituussuunnassa huomattavasti enemmän kuin Quantum-menetelmässä, kun taas Quantum-menetelmässä korkeutta tarvitaan paljon enemmän kuin Consteel-menetelmässä. Nämä tila erot johtuvat menetelmien eri tavoista kuivata ja esikuumentaa kierrätysromua. Kun tehdasta suunnitellaan, täytyy miettiä, halutaanko panostamisen tapahtuvan jatkuvatoimisesti vai kertaluonteisesti. Consteel- ja Quantum-menetelmissä merkittävin eroavaisuus on panostustavassa. Consteel-menetelmässä panostus tapahtuu jatkuvatoimisesti hihnakuljettimen avulla ja Quantum-menetelmässä panostaminen tapahtuu kertaluonteisesta valokaariuuniin. Jälkimmäisessä tavassa voidaan yhden sulatuksen aikana panostaa kierrätysromua valokaariuuniin useamman kerran.

Quantum- menetelmässä romut, jotka ovat korin pohjalla kuumenevat nopeammin kuin taas romut korin yläosassa. Tässä menetelmässä kori on sijoitettuna valokaariuunin yläpuolelle, jolloin valokaariuunissa syntyvä postokaasujen sisältämä lämpöenergia pääsee suoraan käyttöön, eikä sitä juurikaan tarvitse ohjata pölynpoistohuuvien avulla. Tämä johtuu siitä, että lämpö nousee ylöspäin ja kylmempi ilma painuu alaspäin. Consteel- menetelmässä hihna on valokaariuunin sivussa, jolloin ylimääräinen lämpöenergia, jota on postokaasujen seassa täytyy ohjata valokaariuunista sivullepäin pölynpoistohuuvien avulla. Tällöin Quantum- menetelmä on tehokkaampi tapa kuivattaa kierrätysromua.

Consteel-menetelmässä elektrodien siirtäminen valokaariuuniin ja pois voidaan vapaammin sijoittaa ja suunnitella kuin Quantum- menetelmässä. Myös valokaariuunin nostaminen pois ja takaisin laitto on helpompaa Consteel-menetelmässä. Tämä johtuu



juuri siitä, että Consteel-menetelmässä esilämmitys on sijoitettu valokaariuunin sivulle, kun taas Quantum-menetelmässä esilämmitys on valokaariuunin yläpuolella, jolloin se täytyy huomioida liikutellessa elektrodeja ja itse valokaariuunia. Tällöin voitaisiin todeta Consteel- menetelmä huoltojen ja elektrodien siirtelyn kannalta käytännöllisemmäksi.

Consteel- ja Quantum-menetelmissä on molemmissa omat huonot ja hyvät puolet. Kun halutaan suunnitella tehdasta, johon tulee valokaariuuni ja siihen esikuumennus, täytyy huomioida mitä ominaisuuksia halutaan esikuumennus laitteelta. Täytyy myös huomioida rakennetaanko valokaariuuni ihan uusiin tiloihin vai jo käytössä oleviin tiloihin. Tällöin täytyy huomioida käytössä oleva tila tarkasti.

## 7 YHTEENVETO

Terästä valmistetaan etupäässä masuuniprosessin tai kierrätysteräksen avulla, joissain tapauksissa sitä voidaan valmistaa suorapelkistystekniikalla, mutta tämä on harvinaisempaa. Vihreä siirtymä on edesauttanut valokaariuunien yleistymistä, koska se tuottaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin masuunin avulla tuotettu teräs. Pohjoisemmassa, missä ilmastossa on enemmän kosteutta, tarvitaan kierrätysromun esikuumentamista. Esikuumentamisen avulla saadaan kierrätysromun seasta poistettua kosteutta. Kosteutta ei saa joutua valokaariuuniin, koska se voi aiheuttaa vetyräjähdysten, joka on merkittävä työturvallisuusriski ja laitteistoja voi rikkoutua.

Tässä työssä tarkastelun kohteena olivat erityisesti Consteel- ja Quantum- menetelmät. Consteel-menetelmässä kierrätysromu panostetaan hihnalle, johon on ohjattu valokaariuunista syntyvä kuuma savukaasu. Kierrätysromu kulkee hihnalla ensiksi esilämmittimen ohi ja sen jälkeen se panostetaan valokaariuuniin. Quantum-menetelmässä kierrätysromut panostetaan valokaariuunin yläpuolella olevaan koriin. Valokaariuunista syntyvät päästöt, jotka sisältävät lämpöenergiaa, menevät korin läpi samalla lämmittävät kierrätysromua.

Kun valitaan tapaa millä halutaan esikuumentaa kierrätysromu, täytyy pohtia minkälaisia ominaisuuksia halutaan esilämmittimenmenetelmästä ja kuinka paljon on tilaa käytettävässä valokaariuunille. Täytyy myös ottaa huomioon onko prosessille asetettu, jonkinlainen tuottavuusvaatimus ja paljonko energiaa esilämmittimen voi kuluttaa.

# LÄHDELUETTELO

H. Beile, J. Apfèl, B. Kradel & T. Sucher: Metals & mining. Metals Magazine (2008)

H.-J. Odenthal, A. Kemminger, F. Krause, L. Sankowski, N. Uebber & N. Vogl (2018). Review on Modeling and Simulation of the Electric Arc Furnace (EAF). Steel research int, 89 (11), 1700098.

J. Madias (2016). Electric Arc Furnace. Ironmaking and Steelmaking Processes – Greenhouse Emissions, Control, and Reduction – Electric Arc Furnace Chapter, 432 (9), 1-19.

Primetals Technologies (2022) ELECTRIC STEELMAKING – A FULL ARRAY OF ADVANCED AND ENERGY-SAVING SOLUTION. Haettu 28.11.2022 osoitteesta <https://www.primetals.com/portfolio/steelmaking/electric-steelmaking>

R. J. Schmitt (1997). Electric arc Furnace Scrap Preheating. Center for Materials Production, 97(4), 1-4.

R. Singh. Applied Welding Engineering (3rd Edition). Butterworth-Heinemann (2020).

Tenova (2022) Consteel EAF. Haettu 10.12.2022 osoitteesta <https://tenova.com/technologies/consteelr-eaf>

T. Hay, V.-V. Visuri, M. Aula & T. Echterhof (2021). A Review of Mathematical Process Models for the Electric Arc Furnace Process. Steel research int, 92(9), 2000395.

Y. Toulouevski & I. Zinurov (2013). Innovation in Electric Arc Furnaces. London: Springer.