



Valimon sulatusuunin vuorausprosessin ja vuorauksen eliniän kehittäminen

Saara Puusaari

Opinnäytetyö, AMK
Toukokuu 2022
Tekniikan ala
Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Puusaari, Saara

Valimon sulatusuunin vuorausprosessin ja vuorauksen eliniän kehittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 62 sivua

Tekniikan ala. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Tutkimuksen aiheena oli Valmet Technologies Oy:n sulatusuunien vuorausprosessin ja vuorauksen eliniän kehittäminen. Opinnäytetyön päätavoitteena oli kehittää toimeksiantajan vuorausprosessia ja vuorauksen elinikää muuttamalla omaa toimintaa nykypäivän suositusten mukaiseksi. Tästä kehitetystä sulatusuunin vuorausprosessista laadittiin työohje työntekijöille.

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena kvalitatiivisin menetelmin. Tutkimuksen aineisto kerättiin useasta eri lähteestä, kuten asiantuntijanhaastatteluista, kirjallisuudesta ja artikkeleista. Tutkimus toteutettiin tiivissä yhteistyössä uunin vuorausmateriaalien maahantuojan kanssa. Eri lähteiden tietoja yhdistelemällä ja oman toiminnan nykytilan kartoituksella löydettiin prosessin kehityskohdat.

Tutkimuksen tuloksena saatiin, että sulatusuunien vuorauksen kylmäkuuma vaihtelusta johtuva tilavuuden muutos vaikuttaa merkittävästi vuorauksen elinikään. Muita vuorauksen elinikään vaikuttavia kehityskohteita on vuorauksen ylisintraantuminen, joka johtuu liian kuumasta sintrauksesta tai ylitiivistyksestä.

Avainsanat (asiasanat)

Valimo, Sulatus, Tapaustutkimus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Opinnäytetyön liitteet ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 24: teknologista taikka muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevat tiedot. Salassapitoaika on kuusi (6) vuotta. Salassapito päättyy 30.5.2028

Puusaari, Saara

Development of the foundry melting furnace lining process and linings service life

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 62 pages

Engineering and technology. Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The sponsor of my thesis was Rautpohja Foundry of Valmet Technologies Inc.. The main target of this thesis was to develop the lining process of melting furnaces as well as extending the lining's life by changing the production according to the today's recommendations. As a result of this development work was drawn up the guidelines for employees/workers.

The study was carried out as a case study research using qualitative methods. The material was collected from several different sources such as specialist interviews, literature and articles. The study was implemented through close cooperation with the importer of lining material for melting furnaces. Combining the data from different sources and observing the used present state of production was found the process points to improve.

As the result of the study was found, that the volume change caused of the temperature change (cold-hot) have a great impact to the lifetime of inner lining. Other causes, which have an impact to the lifetime, are too hot sintering and too high density of the lining.

Keywords/tags (subjects)

Foundry, Melting, Case study

Miscellaneous (Confidential information)

All attachments are confidential, and they have been removed from public version. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999 24 §, section 24: information on technological or other development work and its evaluation. Period of secrecy is six (6) years and it ends 30.5.2028.

1	Johdanto	5
1.1	Valmet Technologies Oy.....	5
1.2	Tavoitteet ja rajaus.....	5
2	Tutkimusote	7
2.1	Tutkimuskysymykset	8
2.2	Aineiston luotettavuus	8
2.3	Eettisyys.....	9
3	Valimotekniikka	9
4	Rautametallien sulatus	10
4.1	Sulatusuunit	10
4.1.1	Induktiouunit	11
4.1.2	Kupoliuunit.....	12
4.1.3	Valokaariuunit.....	12
4.2	Valuraudat.....	12
4.2.1	Suomugrafiittirauta GJL	12
4.2.2	Pallografiitti GJS	13
5	Tulenkestävät aineet	14
6	Induktiopokasuunin vuoraus	17
6.1	Uunin vuorausmassat.....	17
6.2	Kelan muuraus.....	18
6.3	Vuoraus kvartsimassalla	19
6.4	Vuorauksen käyttöönotto	19
6.5	Vuorauksen purku	22
7	Vuorauksen kestoon vaikuttavat tekijät	23
8	Vuorauksen kuluminen	24
9	Työohjeen laadinta	25
10	Toteutus	25
10.1	Tutkimusaineiston hankinta	25
10.2	Aineiston analyysi.....	27
11	Nykytilanteen kuvaus	27
11.1	Käytettävät materiaalit	28
11.2	Vuorausprosessi	31
11.3	Vuorauksen kunnossapito	43
11.4	Vuorauksen vyöhykkeet	44

12 Tulokset ja johtopäätökset	45
13 Pohdinta	49
Lähteet	52
Liitteet	55
Liite 1. Vuorausprosessin työohje (salassa pidettävä)	55

Kuviot

Kuvio 1. Induktioupokasuunin poikkileikkaus ja pyörrevirrat (Keskinen & Niemi 2011)	11
Kuvio 2. Suomugrafiittivaluraudan (vasemmalla) ja pallografiittivalurauda (oikealla) (Meiskanen & Niini N.d)	14
Kuvio 3. Uuninvuorausmassojen lämpölaajeneminen (Dötsch 2019, 25)	18
Kuvio 4. Kvartsin kidemuutokset eri lämpötiloissa (Autere, Ingman & Tennilä, 91, muokattu)	20
Kuvio 5. Vuorausmassan sintraantumiskerrokset (Levander 2019)	21
Kuvio 6. Vuorauksen työntölaite (Keskinen & Niemi 2011).....	22
Kuvio 7. Uunin vuorauksen kulumistyytit. A: tasainen kuluminen B: uunin alaosan kuluminen D: kuonasta johtuva kuluminen (Keskinen & Niemi 2011, muokattu)	24
Kuvio 8. Ulostyöntölaite eli tunkki asennettuna uuniin pohjaan.	31
Kuvio 9. Ulos työnnetty vuoraus ja pohjalimppu.....	32
Kuvio 10. Uunin pohjalimppu, josta puuttuu iso pala.	33
Kuvio 11. Purettu uuni, ennen kelamassalla korjausta.....	33
Kuvio 12. Kaatonokan valua varten asennettu muotti.	34
Kuvio 13. Mikaniitti asennettuna uuniin.....	35
Kuvio 14. Uunin pohjalle tampattu vuorausmassa	36
Kuvio 15. Vuoraussabloona asennettuna ja keskitettynä uuniin.	36
Kuvio 16. Uunin vuoraus täryttämisen jälkeen.....	37
Kuvio 17. Suupellit on asennettu sekä nokka on leikattu auki. Sabloonan sisällä on sintrauspanos (keltainen).	38
Kuvio 18. Sintrausohjelma	39
Kuvio 19. Silikamassalla ylös asti vuorattu uuni, jossa vauriota yläosassa.....	40
Kuvio 20. Vuorauksen yläosa purettuna ja mikaniitti levyt asennettuna.....	41
Kuvio 21. Valmis valu	42
Kuvio 22. Ylärenkaan ja vuorauksen sauma korjattuna.....	43

Kuvio 23. Sintrausvyöhykkeet (Vasemmalla on toimeksiantajan uunin vuoraus ylärenkaan valun yhteydessä ja oikealla puretusta uunista otettu vuorauksen sintraantunut ja osittain sintraantunut vyöhyke.)	44
Kuvio 24. Vanha sintrauskäyrä	49

Taulukot

Taulukko 1. Tulenkestävien aineiden jaoittelu happamiin, netraaleihin ja emäksisiin (Keskinen & Niemi 2011, muokattu)	16
---	----

Sanasto

Andalusiitti on mineraali, joka on yksi alumiinisilikaatin muodoista.

Bauksiitti alumiinia sisältävä malmi

Harts monen kemiallisen yhdisteen nestemäinen tai jähmeä lios, jota käytetään sideaineena.

Indusoida eli aiheuttaa induktio, jolloin sähkövirta ja -jännite muodostuu magneettikenttien liikkeen avulla.

Inertti aine, joka ei reagoi kemiallisesti muiden aineiden kanssa.

Koksi on kiinteä palava aine, jota polttamalla saadaan erilaisia orgaanisia aineita.

Kuona sulassa olevat epäpuhtaudet.

Panos eli uuniin laitettava sulatusmateriaali

Samotti kuumennettua savea, joka sisältää alumiinia.

Sintraus jauhe kovetetaan kuumentamalla sitä.

Sumpi on edellisestä sulatuksesta uuniin pohjalle jäänyt pieni määrä sulaa.

Suupeltti suojapeltti, joka hitsataan sulatusuunin reunoille.

Vesilasi eli natriumsilikaatti

1 Johdanto

1.1 Valmet Technologies Oy

Valmet Technologies Oy on suomalainen suuryritys. Valmetilla on neljä liiketoimintalinjaa, jotka ovat palvelut, automaatio, sellu ja energia sekä paperit. Toimintalinjoista paperit muodostavat suurimman liikevaihdon, joka on 35 % Valmetin liikevaihdosta. Valmet työllistää ympäri maailmaa noin 14 000 henkilöä. Toimipisteitä Valmetilla on 182, jotka sijaitsevat 37 maassa. Vuonna 2020 yrityksen liikevaihto oli noin 3,7 miljardia euroa ja liikevoitto oli 319 miljoonaa euroa. Valmetin strategiana on kehittää ja toimittaa kilpailukykyistä prosessiteknologiaa, palveluita ja automaatiota sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Yrityksen visiona on tulla maailman parhaaksi asiakkaidensa palvelussa. Osana heidän strategiaansa on sitoutuminen asiakkaan suorituskyvyn parantamiseen tarjoamallaan tuotteillaan ja palveluillaan. Yrityksen painopisteitä on seuraavat: erinomainen asiakasosaaminen, johtajuus teknologioissa ja innovaatioissa sekä erinomaiset prosessit.

(Vuosikatsaus 2020.)

Tämän opinnäytetyön tehtiin Valmet Technologies Oy:n Rautpohjan rautavalimolle. Rautpohjan tehdas perustettiin vuonna 1938, jolloin se toimi Valtion Tykkitehtaana. Rautpohjan valimo aloitti toimintansa vuonna 1948. Sen perustamiseen liittyi vahvasti sotakorvaustuotantoon, johon koko Rautpohjan entinen Valtion Tykkitehdas keskittyi. Sotakorvauksien jälkeen Valimo sekä Rautpohjan tehdas keskittyi siviilituotteiden valmistamiseen, kuten paperikoneisiin. Ensimmäiset paperikoneet Rautpohjan tehdas toimitti Puolaan vuonna 1953. Nykyään valimolla valetaan esimerkiksi paperikoneen teloja, akseleita ja kuivatussyylintereitä. Valimon tuotanto keskittyy pääsääntöisesti Valmetin omiin tarpeisiin, mutta valimolla on myös ulkoisia asiakkaita.

(Rautpohjan teollisuus perintökohteet N.d.)

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön aiheena on toimeksiantajan sulatusuunien vuorausprosessin kehittäminen. Tällä hetkellä toimeksiantajalla on ollut haasteita uunien vuorauksien eliniän kanssa. Vuorauksen elinikä on jäänyt reilusti materiaalin valmistajan lupauksen alapuolelle. Toimeksiantajalla sulatusuuneina ovat induktioupokasuunit, joiden koko on 10 t, 12 t ja 35 t. Työn aihe sisältää näiden sulatusuunien vuorausprosessin kehittämisen kokonaisuudessaan sekä vuorausten kunnossapidon. Vuorauksen keston kannalta on tärkeää luoda oikeanlaiset työohjeet, joilla standardisoidaan vuoraustyön

laatu. Työn tarkoituksena on kehittää nykyistä uunin vuorausprosessia nykyaikaisten suositusten ja tutkimuksien mukaiseksi. Tässä työssä keskitytään löytämään kehitettävät kohteet, joilla tulevaisuudessa on mahdollista lisätä vuorauksen elinikää. Tarkemmin numeraalisia tavoitteita ei ole, koska uunien vuorausväli on ajallisesti liian pitkä työn toteuttamisen suhteen. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on ennen kaikkea tuoda toimeksiantajalle kustannussäästöjä, jotka syntyvät uunin vuorauksessa käytettävistä massoista sekä työhön kuluvasta ajasta, varmistaa uunin turvallinen käyttö ja uunin kelan kunto. Uunin vuorausprosessi kestää useamman päivän, jolloin kyseinen uuni on poissa tuotannon käytöstä.

Opinnäytetyön päätavoitteena on pidentää sulatusuunien vuorausten elinikää, jolloin uunin vuorauksen tekoväli kasvaa. Tällä saavutetaan kustannussäästöjä toimeksiantajalle, koska vuorausmassojen sekä vuoraustyön kustannukset pienenevät vuositasolla. Työn tavoitteena on standardisoida vuorausprosessi tekemällä vuoraukokokonaisuuteen työohjeet. Tässä opinnäytetyössä on lisäksi tavoitteena kattavan tietoperustan luominen tulenkestävistä aineista, millä lisätään työntekijöiden asiantuntijuutta ja ymmärrystä uunin vuorausprosessista. Työntekijöiden tiedon kasvattamisella sekä vuorausprosessi standardoimalla on mahdollista saavuttaa pidempi vuorauksen elinikä.

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on päivittää uunin vuorausprosessista työohjeistus tutkimuksen tulosten pohjalta. Työohjeiden avulla standardoitu työn laatu tuo lisää varmuutta vuorauksen eliniästä, jolloin uunien huollot ovat paremmin ennakoitavissa, mikä helpottaa tuotannon suunnittelua. Standardoimalla työvaiheet tiedetään mitä on tehty, mikä on olennaista mahdollisten ongelmien kartoituksessa. Työohjeet ovat työnantajalle etu, koska uusia työntekijöitä perehdyttäessä selkeä työohjeistus nopeuttaa oppimista. Valimoissa on paljon niin sanottua hiljaista tietoa, jota ei välttämättä ole työohjeistuksissa. Etenkin sen takia työohjeistuksien kirjaaminen on olennaista valimoteollisuudessa, koska silloin tieto ja taito saadaan siirrettyä seuraaville sukupolville.

Sulatusuunin vuorauksen kunto on oleellinen osa uunin turvallista käyttöä, koska viallinen vuoraus voi aiheuttaa sulan tunkeutumisen vesijähdytteiseen kelaan, joten tämä työ osaltaan parantaa työturvallisuutta. Oikeanlaiset työvaiheet, materiaalien säilytys ja huolellisuus vuorausta tehdessä estävät kosteuden pääsyn vuoraukseen. Jos vesi, kosteus tai joku muu neste joutuu kosketuksiin

sulan metallin kanssa, muuttuu se heti höyryksi, joka aiheuttaa tilavuuden muutoksen. Tilavuuden muutoksessa neste muuttuu 1600 kertaiseksi ja aiheuttaa räjähdysriskin. (Tabatabaei & Turner 2009.)

Tämä työ keskittyy toimeksiantajan induktiouupokasuuneihin, joten tutkimuksen tulokset ovat sidonnaisia samanlaisiin uuneihin sekä samanlaiseen käyttöasteeseen. Uunin vuorauksen keston vaikuttaa moni eri asia. Tästä työstä on rajattu pois tuotannosuunnittelu uunien kapasiteetin hyödyntämisen näkökulmasta. Työssä keskitytään valimon nykytilanteen parantamiseen samoilla materiaaleilla, jotka ovat nykytilanteen mukaan käytössä. Työn tarkoituksena on kehittää toimeksiantajan nykyistä toimintaa muuttamalla työskentely tapoja suositusten ja tutkimusten mukaisiksi, millä saavutetaan vuorauksen parempi kestävyys.

2 Tutkimusote

Tämä opinnäytetyö toteutettiin kvalitatiivisin eli laadullisin menetelmin tapaustutkimuksena. Tapaustutkimuksen elementtejä löytyy monesta laadullisesta tutkimuksesta. Laadullisin menetelmin tutkittava asia/ilmiö on yleensä esimerkki tai näyte jostakin suuremmasta. Tapaustutkimuksessa tutkimusasetelma rakennetaan tutkittavan ilmiön tapauksen varaan. Tutkittava tapaus voi olla jokin prosessi. Tutkimuksessa tutkija perehtyy tutkittavan asian/ilmiön kirjallisuuteen, josta etsii tutkimukseen sopivaa aineistoa, johon tutkija lopulta keskittyy tutkimuksessaan. Tapaustutkimuksen vaatimuksia on, että tutkimus toteutetaan luonnollisessa ympäristössä ja ilmiö on tässä hetkessä. (Kananen 2013, 54–55; Vuori n.d.) Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Valmet Technologies Oy:n induktiosulatusuunien vuorausprosessin kehittämistä hyödyntäen erilaisia tiedonkeruu menetelmiä, kuten havainnointia, kirjallisuutta sekä asiantuntijoita. Tämän tutkimuksen tulokset ovat hyvin paljon sidoksissa uunin käyttöasteeseen ja -tapaan sekä uunin kokoluokkaan.

Tapaustutkimuksessa pyritään saamaan mahdollisimman monipuolinen kuva tapauksesta tutustumalla siihen kokonaisvaltaisesti. Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on ymmärtää mitkä eri asiat vaikuttavat vuorauksen elinikään sekä kuinka sitä voitaisiin parantaa. Jotta tapausta voidaan ymmärtää, tutkimuksessa yhdistellään useita aineistoja, kuten haastatteluja, havainnointia, tilastoja, tapauksesta kertovia asiakirjoja ja mediasisältöä. Laajasti eri tietolähteitä käyttäen lisätään tutkimuksen luotettavuutta sekä saadaan laaja käsitys tutkittavasta ilmiöstä.

Tapaustutkimuksessa käytetään paljon erilaisia tiedonkeruumenetelmiä, joten analyysimenetelmä määräytyy aineiston mukaan. (Aaltola & Valli 2015.)

2.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimusongelma voidaan jakaa tutkimuskysymyksiksi, joihin halutaan saada vastaus.

Tutkimuskysymyksiin vastaamalla varmistetaan, että tutkimuksessa vastataan itse tutkimusongelmaan. Tutkimuskysymyksiä avulla luodaan tutkimuksen runko. (Kananen 2008, 51.)

Tämä tutkimus on toteutettu tapaus- eli case-tutkimuksena. Tapaustutkimuksessa tutkimuskysymykset ovat muodossa, kuinka ja miten. (Kananen 2013.) Tässä opinnäytetyössä tutkimusongelma on jaettu seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Kuinka uunin vuorauksen elinikä saadaan kestävämmäksi kauemmin?
- Kuinka uunin vuoraus tulisi toteuttaa?
- Kuinka vuorausta tulisi kunnossapitää?

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää vuorausprosessia kokonaisuutena ja lisätä vuorauksen elinikää. Tutkimuskysymysten avulla saadaan vastaus työn tavoitteeseen, koska tutkimuskysymykset ovat oleellinen osa, kuinka vuorauksen elinikää parannetaan. Tiedonkeruu ja analyysivaiheessa tulee kiinnittää huomiota tutkimuskysymyksiin, jotta aineistolla vastataan niihin. Täten varmistetaan, että tutkitaan tutkimuksen kannalta olennaista tietoa.

2.2 Aineiston luotettavuus

Tutkimusten luotettavuutta arvioidaan validiteetin ja reliabiliteetin avulla. On tutkijan tehtävä näyttää, että tutkimuksen tulokset ovat luotettavia. Validiteetilla tarkastellaan, että tutkitaan sitä mitä pitääkin tutkia. Kananen (2008, 123) mukaan Maxwell (1996) kertoo validiteetin tarkoittavan myös kuvausten, johtopäätösten, selitysten sekä tulkintojen luotettavuutta ja paikkansapitävyyttä. Validiteetin kohdalla voidaan puhua ulkoisesta ja sisäisestä validiteetista. Ulkoinen validiteetti on tulosten siirrettävyyttä ja yleistettävyyttä toisiin vastaavanlaisiin tapauksiin. Sisäisellä validiteetilla tarkoitetaan virheettömyyttä tulkinnoissa ja käsitteissä. Laadullisessa tutkimuksessa validiteetti- ja reliabiliteetti kysymykset ovat haastavampia käsitellä kuin määrällisessä tutkimuksessa, koska määrällisen tutkimuksen luotettavuusuhat ovat enemmän ennakoitavissa. Laadullisessa

tutkimuksessa on mahdollista hieman ennakoida, mutta laadullisen tutkimuksen ei-lineaarinen ennakoimattomuus tekee sen haastavaksi. (Kananen 2014, 145–154; Kananen 2008, 123–127.)

Laadullisen tutkimuksen laadun varmistamiseksi tulee tutkimuksessa keskittyä tutkimusprosessin aikana tekemään oikeanlaisia valintoja. Tutkimuksen laatu ja luotettavuuskysymykset on tärkeää ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jotta luotettavuus ja laatu saadaan varmistettua.

Laadullisen tutkimuksen luotettavuuden arviointikriteereinä voidaan pitää seuraavia:

- vahvistettavuus
- arvioitavuus/dokumentaatio
- tulkinnan ristiriidattomuus
- luotettavuus (tutkitun kannalta)
- saturaatio (kylläntyminen)

(Kananen 2014, 145–154.)

2.3 Eettisyys

Opinnäytetyössä noudatetaan opinnäytetyön eettisiä ja hyvän tutkimuksen periaatteita.

Tutkimuksessa käsiteltävät materiaalit kerrotaan kemiallisen koostumuksella, jolloin materiaalien valmistaja on anonyymi. Tämä on toimeksiantajan kilpailukyvyn säilyttämisen takia, mutta erityisesti materiaalin valmistajan näkökulmasta, koska heiltä ei ole kysytty lupaa tietojen julkaisuun. Tutkimuksessa toteutetut asiantuntijanhaastattelujen tulokset käsitellään anonyymisti. Haastateltavalle on informoitu haastattelun tarkoituksesta ja tavoitteista.

3 Valimotekniikka

Valaminen on yksi vanhimmista valmistusmenetelmistä. Vanhin tunnettu valukappale on

Mesopotamiasta löydetty sammakkoa esittävä lampunjalka, joka on noin vuodelta 3200eKr.

(Meskanen N.d.) Valamisessa sulaa kaadetaan, puristetaan tai puhalletaan muottiin, johon sula jäähtyy tai kovettuu haluttuun muotoon. Valumuotteja voidaan valmistaa esimerkiksi hiekasta ja metallista. Hiekasta tehty muotti on kertakäyttöinen muotti, ja se rikotaan valun jälkeen.

Metallista valmistetut muotit ovat kestumotteja, jotka ovat suunniteltu niin, että kappale voidaan poistaa rikkomatta muottia. Valumenetelmä sopii eri materiaaleille, joita ovat esimerkiksi metallit, muovit ja keraamit. Valumenetelmiä on useita erilaisia esimerkiksi kokillivalu, hienovalu

ja hiekkavalu. Tyypillisiä valettavia tuotteita on auton moottorit ja muut koneiden osat valurautojen hyvän vaimennusominaisuuden ansiosta. (Ihalainen 2011, 66–67; Valut ja valaminen N.d.)

Valamisen etuja ovat, että valamalla saadaan kerralla valmistettua tuote valmiiksi tai lähes valmiiksi, jolloin ei tarvitse tehdä erilaisia kokoamisia tai liittämisiä. Valamalla ei ole rajoitteita kappaleen koolle tai muodolle. Valumenetelmiä on kehitetty sarja- sekä yksittäistuotantoon. Tarkkuusvalulla on mahdollista päästä hyvin myös mittatarkkoihin vaatimuksiin, jolloin myös kustannukset nousevat. Valaminen ei ole aina järkevin ratkaisu, koska jotkut tuotteet valmistuvat edullisemmin esimerkiksi hitsaamalla. (Ihalainen 2011, 66–67; Meskanen N.d.; Valut ja valaminen N.d.)

4 Rautametallien sulatus

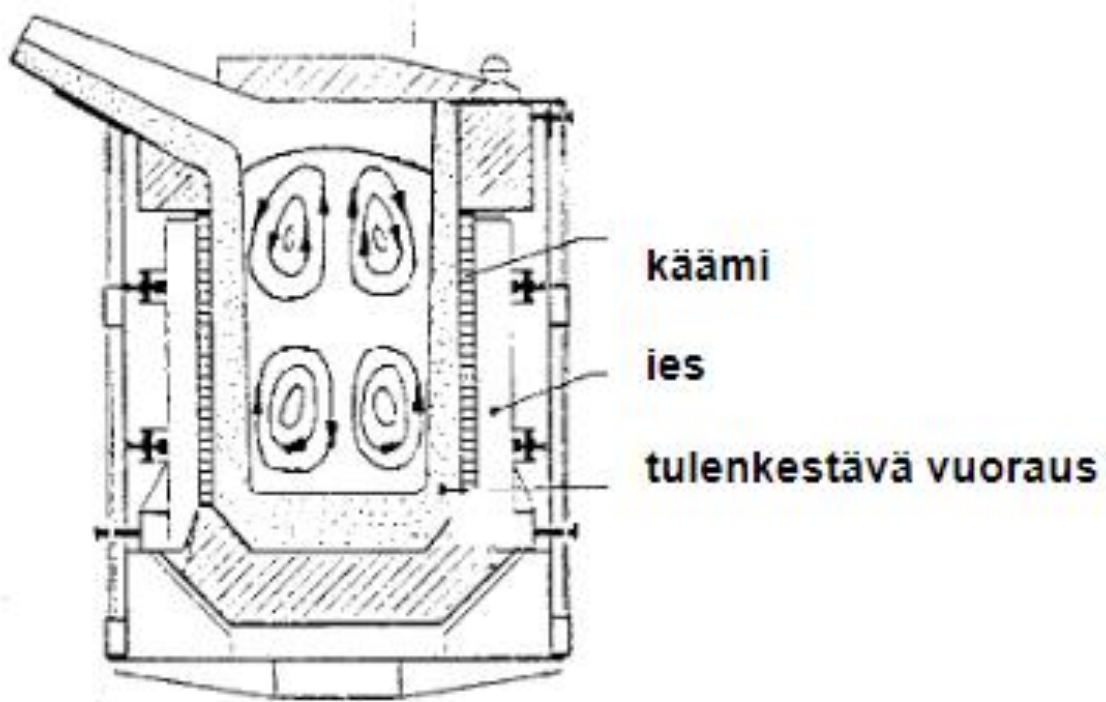
Valaminen tapahtuu sulalla metallilla. Tarvittava sula metalli saadaan sulattamalla sopivaa metalliromua tai metalliharkkoa. Metallin sulatus tapahtuu sulatusuuneilla, joiden lämpöenergia tulee polttoaineista tai sähköstä, joka on nykyisin yleisin tapa. Metalliharkkojen lisäksi sulaan lisätään lisäaineita, jotka tuovat sulaan haluttuja ominaisuuksia. Sulatusuuni panostetaan raaka-aineilla ja seosaineilla, jotka sulavat sulatusprosessin aikana. Käytettävät lisä- ja seosaineet määräytyvät sen mukaan onko kyseessä rauta- vai teräsvalimo. Rautavalimoissa hiiletysaineina käytetään grafiittia ja petrolikoksia. Seosaineina rautavalimoissa käytetään muun muassa MgFeSi, FeSi ja FeCr. (Keskinen & Niemi 2011.) Lisäksi rautavalimossa käytetään ympäysaineita, jotka ovat tehoaineita, joilla saadaan parempi kiderakenne ja ominaisuudet (Autere, Ingman & Tennilä 1982, 133).

4.1 Sulatusuunit

Valimoissa käytetään erilaisia sulatusuuneja, joiden toiminta periaate eroaa toisistaan. Induktiouuneja käytetään valurautojen, valuterästen ja ei-rautametallien sulatuksessa. Valuterästen sulatuksessa käytetään induktiouunien lisäksi valokaariuuneja. Ei-rautametallien sulatuksessa voidaan käyttää vastusuuneja sekä kaasua- ja öljylämmitteisiä upokasuuneja induktiouunien lisäksi. (Ihalainen 2011, 73.)

4.1.1 Induktiouunit

Induktiouuneja käytetään laajasti valimoissa. Induktiouunit soveltuvat suuriin ja pieniin sulatuksiin. Induktiouuneilla pystyy sulattamaan 1 kilogrammasta jopa 100 tonniin. Induktiouuneja ovat kouru- sekä upokasuuneja. Kouru-uunissa ensiökäämi ympäröi magneettisydäntä. Kouru-uunissa metalli kuumenee, kun suuren muuntosuhteen ansiosta metalliin indusoituu voimakas sähkövirta. Induktiupokasuunien toiminta perustuu sulan metallin pyörrevirtoihin (Ks. kuvio 1.). Upokkaan ympäröivään käämiin johdettu vaihtovirta saa aikaan upokasuunin pyörrevirtaukset. Induktiouunissa on kela rautasydämen ympärillä. Kela on kupariputkista valmistettu vesijäähdytteinen kierukka, johon johdetaan sähkövirta muuntajan kautta. Rautasydämenä toimii uunissa käytettävä panos. (Erbacher 2019; Keskinen & Niemi 2011.)



Kuvio 1. Induktiupokasuunin poikkileikkaus ja pyörrevirrat (Keskinen & Niemi 2011)

Induktiouunin etuina on laadukkuus, helppokäyttöisyys, energiatehokkuus (Erbacher 2019). Induktiouunit soveltuvat monelle eri metallille. Induktiouuneilla on suuremmat investointikulut kuin esimerkiksi valokaariuuneilla. Induktiouuneilla on pienempi melu- ja pölysaaste, kuin muilla sulatusuuneilla. Verrattuna muihin sulatusuuni tyypeihin, induktio uuneilla voi sulattaa vain

pienikokoista ja puhdasta romua. Yksi induktiuunin haitta on sen suuri kaasupitoisuus verrattuna valokaariuuneihin. (Keskinen & Niemi 2011.)

4.1.2 Kupoliuunit

Kupoliuuni on vanhin sulatusuuni, mutta niitä on edelleen valimoissa käytössä.

Energiatehokkaammat induktiuunit ovat syrjäyttäneet kupoliuunien käyttöä. Kupoliuuneilla sulattaessa panostusaukon kautta uuniin panostetaan vuorotellen rauta- ja koksikerroksia. Koksi voidaan korvata osittain tai kokonaan öljyllä tai maakaasulla. Uunin alaosassa sijaitsee hormeja, joiden kautta uuniin puhalletaan ilmaa, jolloin koksi palaa sulattaen raudan. (Erbacher 2019.)

4.1.3 Valokaariuunit

Valokaariuunit ovat käytössä lähinnä terästen ja ei-rautametallien sulattamisessa. Valokaari uuni on sähköllä toimiva uuni, jossa valokaari tuottaa metallin sulattamiseen lämmön.

Valokaariuuneissa valokaari palaa elektrodin ja panoksen välissä sulattaen panosta.

Valokaariuunien teho on tyypillisesti 10–100 MW. Elektrodeina on kolme paksua grafiittisauvaa. Valokaari uuneissa elektrodien ja panoksen välistä etäisyyttä pidetään sopivana automaattisten elektrodisäätimien avulla. (Ajersch, Boulet & Lalli 2003; Erbacher 2019.)

4.2 Valuraudat

Valuraudoiksi kutsutaan rauta-hiiliseoksia, joissa on vähintään 50 % rautapitoisuus sekä hiilipitoisuus yli 2 %. Hiilipitoisuus yleisesti määrää onko kyseessä teräs vai valurauta. Jos hiiltä on alle 2 %, on yleensä kyseessä teräs. Valuraudan hiilipitoisuus voidaan kuitenkin saada alle 2 % seosaineilla. Hiilen osuuden lisäksi olennaista on sen esiintymismuoto. Valuraudoissa hiili esiintyy grafiittierkaumina, joiden muoto ja jakautuma vaikuttaa valuraudan ominaisuuksiin. (Ihalainen 2011, 67.)

4.2.1 Suomugrafiittirauta GJL

Suomugrafiittirauta eli niin sanottu harmaarauta on maailman eniten valmistettu valumetalli. Suomugrafiittien hiilipitoisuus on 2,9–3,6 %. Suomugrafiittiraudassa hiili esiintyy sen nimensä mukaisesti suomumaisina grafiittierkaumina. Suomumaiset grafiittierkaumat vaikuttavat

negatiivisesti sen lujuusominaisuuksiin. Erityisesti se vaikuttaa venymäarvoihin.

Suomugrafiittiraudalla on paljon ominaisuuksia, joiden ansiosta se on käytetyin valumetalli. Näitä ominaisuuksia ovat seuraavat:

- hyvä valettavuus
- hyvä lämmönjohtavuus
- normaaleissa käyttöolosuhteissa hyvä korroosiokestävyys
- vaimennuskyky
- kestää adhesiivista kulutusta
- hyvä lastuttavuus

(Ihalainen 2011, 67-68.)

Tavallisen suomugrafiittiraudan metallisen raerakenteen pääainekset ovat ferriitti ja perliitti.

Ferriitin ja perliitin keskinäinen määräsuhde sekä grafiitinrakenne vaikuttavat

lujuusominaisuuksiin. Runsasferriittisille raudoille on ominaista hyvä työstettävyys, mutta pienet lujuusarvot. Valuraudoilla perliittiseen rakenteeseen pyritään, kun halutaan lujuutta, kovuutta tai kulumiskestävyyttä. Ferriittiä ja perliitti muodostetaan esimerkiksi jäähtymisnopeuksilla ja halutulle raerakenteelle oikeanlaisella seosaineella. Hidas jäähtymisnopeus suosii ferriitin muodostumista, kun suuri jäähtymisnopeus suosii perliitin muodostumista. (Autere, Ingman & Tennilä 1982, 166; Silvennoinen 2001, 64.)

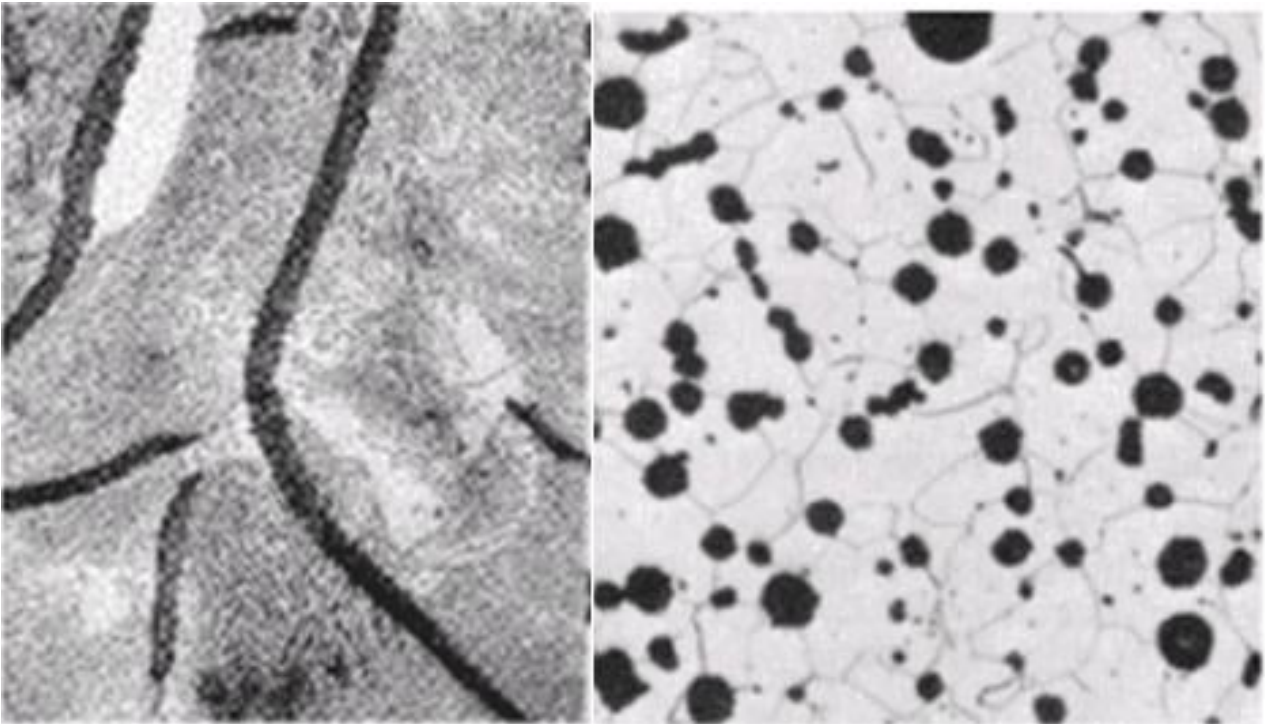
4.2.2 Pallografiitti GJS

Pallografiitti on valumetalleiden näkökulmasta suhteellisen uusi. Vuonna 1938 myönnettiin

ensimmäinen patentti liittyen valuraudan grafiitin palloutumiseen. Pallografiitin valmistuksessa tulee huolehtia valuraudan riittävästä puhtaudesta. Ennen valua sula käsitellään magnesiumilla.

Näin saadaan grafiitti kiteytymään pallomaisena (Ks. kuvio 2.), jolloin valurauta saa "teräsmäisiä" ominaisuuksia. Teräksestä poiketen pallografiitilla on huomattavasti parempi valettavuus.

Verrattuna teräkseen pallomaisesti erkautuneella grafiitilla on parempi vaimennuskyky, liukuominaisuus ja työstettävyys, mutta kuitenkin huonompi kuin suomugrafiitilla. Pallografiitin standardilaatujen minimi vetolujuus vaihtelee 340-800 MPa välillä. (Ihalainen 2011, 68.)



Kuvio 2. Suomugrafiittivaluraudan (vasemmalla) ja pallografiittivalurauda (oikealla) (Meiskanen & Niini N.d)

Pallografiittien hiilipitoisuus on tavallisesti 3,4–3,8 %. Pallografiittien hiilipitoisuudet ovat jonkin verran suurempia kuin suomugrafiittirautojen. Sen raerakenne koostuu tavallisesti ferriitistä ja perliitistä. Sementiittiä voi esiintyä ohuissa seinämissä. Samoin kuin suomugrafiitilla, hidas jäähtyminen suosii ferriittiä. Pallografiittien lujuusominaisuudet määräytyvät myös pitkälti niiden metallisen matriisin rakenteen mukaan, jolloin suuri sitkeys saavutetaan ferriitillä ja austeniitilla. (Autere, Ingman & Tennilä 1982, 200; Meskanen & Niini N.d.; Silvennoinen 2001, 100-101.)

5 Tulenkestävät aineet

Raudan ja teräksen sulatuksessa ja sulan käsittelyssä on korkeat lämpötilat. Tämän takia sulatusuunien sekä sulan käsittelyyn tarkoitettujen välineiden materiaalit tulee olla tulenkestäviä. Kun valitaan sulatusuuneille sopivaa tulenkestävää materiaalia, tulee huomioida materiaalin lämpölaajeneminen ja sen hallittavuus käytössä olevilla lämpötiloilla. Olennainen ominaisuus tulenkestävillä materiaaleilla on, että ne kestävät korkeita lämpötiloja ilman pehmenemistä. Tulenkestäviin aineisiin lisätään keraamisia oksideja, joilla on korkea sulamislämpötila. (Keskinen & Niemi 2011.)

Tulenkestävien materiaalien rakenne vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Tulenkestävät materiaalit ovat heterogeenisiä seoksia. Ne koostuvat pää- ja toissijaisista komponenteista. Tulenkestävien materiaalien ominaisuuksista on huomioitava runkoaine, sideaineet, lisäaineet sekä huokokset. Runkoaineena on tulenkestävä osa, joka on lujaa ja tilavuuspysyvää ainetta. Sen tärkeimmät ominaisuudet: kemiallinen ja mineraloginen koostumus sekä raekokojakauma. Raekokojakaumalla voidaan vaikuttaa massojen ominaisuuksiin. Sideaineet ovat yleensä kriittisiä tulenkestävän materiaalin keston kannalta. Sideaineet muodostavat sidefaasin, joka sitoo runkoaineen rakeet toisiinsa. Sideaineet ovat usein tulenkestävän materiaalin heikon osa. Aineita, joita käytetään sideaineena ovat muun muassa fosforihappo, vesilasi, hartsit, silikaatit sekä kromaatit. Sideaineiden sidostyyppinä on lämpö-, tuore- sekä keraaminen sidos. Tulenkestävän materiaalin lisäaineilla parannetaan asennettavuutta sekä hienosäädetään materiaalin ominaisuuksia. Lisäaineilla saadaan esimerkiksi tilavuuspysyvyyttä sekä parantavat kuonankestoa. Lisäaineista on usein hankala saada lisätietoja, koska se on monesti tuotesalaisuus. Tulenkestävän materiaalin rakenteessa on huokosia, jotka vaikuttavat, kuinka sula pääsee tunkeutumaan vuorauksen sisään, mikä ei ole tavoiteltavaa. Tämän takia huokoisuus on olennaisessa osassa tulenkestävän materiaalin rakennetta. (Heikkinen 2022; Heikkinen 2015.)

Kemiallisen käyttäytymisen perusteella alkuaineiden oksidit voidaan jakaa happamiin, emäksisiin ja neutraaleihin oksideihin. Piioksidi eli SiO_2 on luonteenomaisin hapan oksidi. Tämä esiintyy luonnossa kvartsina. Useimmat metallioksidit ovat emäksisiä oksideja. Happaman ja emäksisen välissä on neutraalit oksidit, jotka eivät ole kuitenkaan täysin neutraaleja. Neutraaleilla oksideilla on kaksoisluonne, eli ne voivat vahvasti happamien suhteen käyttäytyä emäksisesti, mutta myös vahvasti emäksisten suhteen käyttäytyä happamasti. Happamiin, neutraaleihin ja emäksisiin oksideihin jakaminen on olennaista, koska sulattaessa metallia syntyy kuonaa, joka voi olla hapanta tai emäksistä. Emäksinen kuona aiheuttaa happaman vuorauksen kanssa kemiallisen reaktion. Sama reaktio tapahtuu happaman kuonan ja emäksisen vuorauksen kanssa. Tämä kemiallinen reaktio syövyttää vuorausta, joka lyhentää vuorauksen kestoikää. Tämän takia käytettävä tulenkestävä aineen valintaan täytyy kiinnittää huomiota, jotta happamien ja emäksisten oksidien yhdistettä vältettäisiin. Joskus olosuhteet pakottavat poikkeamaan tästä, jolloin se vaikuttaa vuorauksen keston. Haastavissa tapauksissa voidaan käyttää neutraaleja vuorausaineita. Uunin vuorauksessa on laaja valikoima erilaisia tulenkestäviä aineita, jotka jakautuvat jo mainittuihin happamiin, neutraaleihin ja emäksisiin oksideihin (Ks. taulukko 1.). (Keskinen & Niemi 2011.)

Taulukko 1. Tulenkestävien aineiden jaoittelu happamiin, neutraaleihin ja emäksisiin (Keskinen & Niemi 2011, muokattu)

Happamat	Neutraalit	Emäksinen
Kvartsi Kaoliini ja muut tulenkestävät savet, shamotti Sillimaniitti, kyaniitti Mulliitti Zirkoni Alumiinioksidi (korundi) Piikarbidi (karborundum)	Sulatettu alumiinioksidi Kromiitti Hiili (grafiitti)	Magnesiitti Sulatettu magnesiumoksidi Dolomiitti Forsteriitti Kromimagnesiitti Magnesiumalumiinispinelli

Oikeanlaisen tulenkestävän aineen valinnassa tulee huomioida monia asioita, kuten korkea tulenkestävyys, mekaaninen lujuus, muodon pysyvyys, huokoisuus, sähkön johtavuus ja mittamuutokset lämpötilan vaihdellessa (Autere, Ingman, Tennilä 1982, 91). Sulatusuunien tyyppi vaikuttaa oikean tulenkestävän aineen valintaa. Valokaariuuneilla terästä sulattaessa käytetään massaa, joka on emäksinen. Kun sulatetaan induktiuuneilla, joissa ei käytetä kuonankäsittelyä, valitaan vuorausmassaksi korkean tulenkestävyyden omaava hapan kvartsimassa. (Keskinen & Niemi 2011.)

Tulenkestävät aineet ovat joko tiiltä, sementtiä/laastia tai massoja. Tiilet ovat yleisimpiä tulenkestäviä aineita. Tulenkestävää tiiliä on standardin kokoista, mutta myös muotoiltua. Muotoiltua tiiltä käytetään yleensä sulatusuunin vuorauksessa. Tulenkestävää sementtiä ja laastia käytetään tiilien muuraukseen. Tulenkestävät massat jaetaan asennustavan mukaan valu-, ruiskutus-, sively-, slammaus- sekä kuivamassoihin. Tulenkestävien massojen massaus tapahtuu valamalla, sullomalla tai linkoamalla. Tulenkestävien massojen käyttö on yleistynyt. Niiden asentaminen on nopeampaan, mutta se voi olla myös haastavampaa. Rikkoutuneen muurauksen voi korjata massaa ruiskuttamalla. Ruiskuttamalla korjaaminen pystytään tekemään lämpimään ja kylmään uuniin. (Heikkinen 2022; Keskinen & Niemi 2011.)

6 Induktioupokasuunin vuoraus

Induktioupokasuunin pääkomponentti on tulenkestävä vuoraus. Vuoraus vaikuttaa uunin ominaisuuksiin ja toimivuuteen. Vuorauksella katsotaan olevan vaikutusta uunin käyttövarmuuteen, toimintaan, turvallisuuteen ja metallurgiaan. (Dötsch 2019, 23.) Oikeanlainen uunin vuoraus on oleellinen osa työturvallisuutta. Sulan metallin vuoto on vakava työturvallisuusriski. Sulan metallin vuoto tapahtuu, kun sula metalli tunkeutuu uuninvuorauksen läpi. Vuodon tapahtuessa sula voi tunkeutuminen voi aiheuttaa tulipalon tai räjähdyksen. Turvallisuusriskin vuoksi on tärkeää, että vuoraus on eheä. (Tabatabei & Turner 2009.)

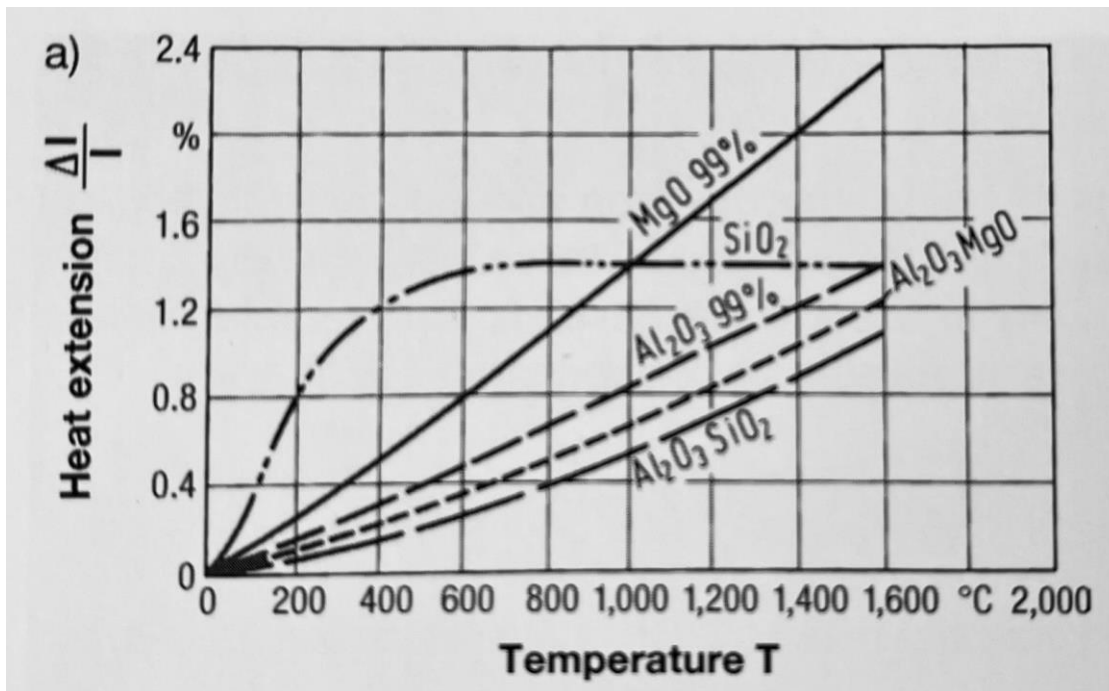
6.1 Uunin vuorausmassat

Rautavalimoissa induktioupokasuunin vuorauksessa käytetään päämateriaalina hapanta kvartsi kuivamassaa. Kvartsi tunnetaan myös nimillä piioksidi sekä silika. Piioksidi on luonnollinen piin ja hapen yhdiste, jota esiintyy luonnossa yleensä hiekassa. Piioksidia esiintyy kolmessa eri kidemuodossa: kvartsina, tridymiittina sekä kristobaliittina. Uunien vuorauksessa käytettävän kvartsi kuivamassan koostumus on seuraava:

- SiO_2 (piioksidi eli silika) > 98 %
- kosteus < 0,2 %
- raekoko: 0-7 mm
- sintrausaineena 0,3–2 % boorihappoa (H_3BO_3) tai boorioksidia (B_2O_3)
- huokoisuus sintrauksen jälkeen 12-18 %

(Dötsch 2019, 25; Silicon dioxide N.d.)

Kvartsi kuivamassat ovat suhteellisen halpa tapa vuorata uuni. Tästä huolimatta sen ominaisuudet sopivat hyvin uunin vuoraukseen. Kvartsimassojen käytön syynä on sen poikkeava lämpölaajeneminen. Kvartsimassa lämpölaajenee voimakkaasti lämpötilan noustessa 700 asteeseen. Silloin lämpölaajeneminen on 1,4 %. Lämpötilan ylittäessä 700 astetta massan lämpölaajeneminen pysyy samana (Ks. kuvio 3.). (Dötsch 2019, 25.)



Kuvio 3. Uunivuorausmassojen lämpölaajeneminen (Dötsch 2019, 25)

Kvartsimassojen käyttöön toisena tekijänä on sen luonnolliset kiderakenteenmuutokset. Kvartsilla, joka on piioksidia, on erilaisia kiderakenteita. Lämpötilan vaihtuessa ne voivat muuttua toisikseen. Kvartsimassa sintrataan vuorauksen jälkeen, eli sille tehdään vuorauksen käyttöönotto. (Dötsch 2019, 25.)

6.2 Kelan muuraus

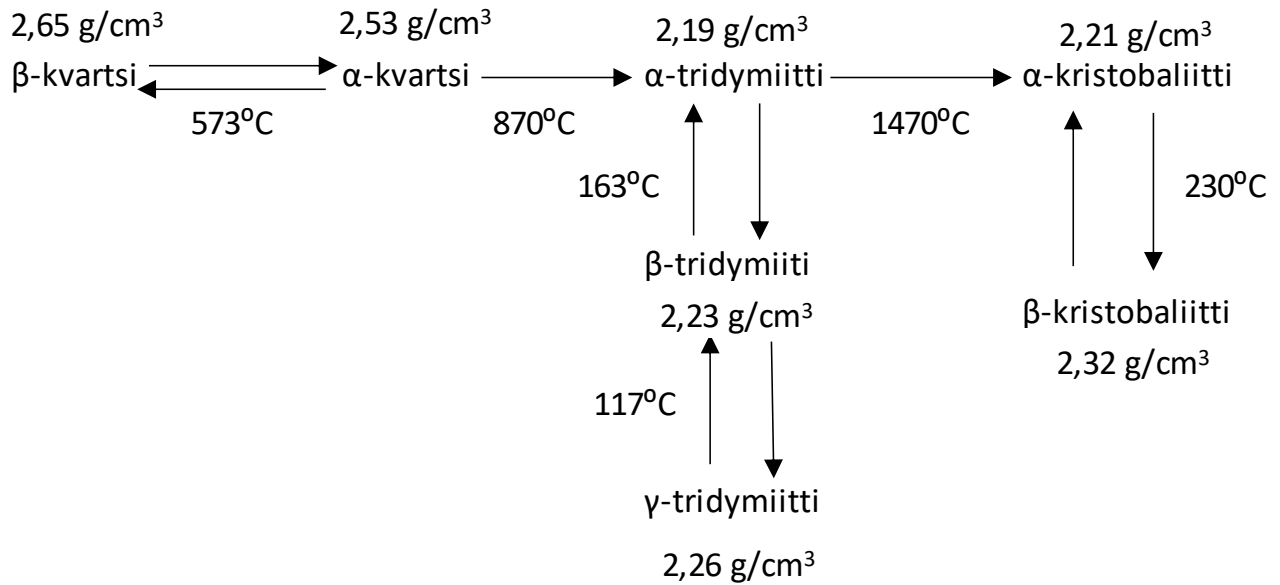
Induktiouuneissa on kupariputkista tehty kierukka, johon johdetaan sähkövirta muuntajasta (Keskinen & Niemi 2011). Ennen vuorausmassan asennusta muurataan kela kelamassalla. Kelamassan tehtävänä on suojata kela, jos vuoraus puhkeaa. Kelamassan toisena tehtävänä ja ominaisuutena on sen suhteellisen hyvä lämmönjohtavuus, joka kuljettaa pois lämpöä uunivuorauksesta, jolloin uunivuoraus jäähtyy. Kelamassa muodostaa hieman kartiokkaan sileän pinnan, jolloin se mahdollistaa uunivuorauksen lämpölaajenemisesta johtuvan ylös-alas liikkeen. Ylös-alas liikkeen mahdollistaminen on olennainen osa vuorauksen kestoa, koska muuten vuoraukseen syntyy halkeamia. (Levander 2019.)

6.3 Vuoraus kvartsimassalla

Uunin vuoraus alkaa mikaniitin asennuksella. Mikaniitti on liukuva pintainen kalvo, joka on 0,4–1 millimetriä paksu. Mikaniitilla on monta erilaista tehtävää, joista yksi on olla liukupintana lämpölaajenemisesta johtuvalle ylös-alas liikkeelle sekä vuorauksen ulostyönnölle. Uunin vuorauksen tulisi olla riittävän ohut, koska ohuemmalla uunin vuorauksella saavutetaan parempi hyötysuhde. Kuitenkin liian ohut vuoraus lisää sen puhkeamisen riskiä. Ohut vuoraus saadaan, kun käytetään sullomassaa vuorauksessa. Uunin vuorauksessa pohjalle tampataan massasta pohja. Pohjan tampauksen jälkeen asennetaan vuoraussabloona, joka keskitetään uuniin. Vuoraussabloona voi olla joko kertakäyttöinen tai kestonallinen, joka vedetään pois ennen ensimmäistä sulattamista. Kelan ja sabloonan väli täytetään kuivalla kvartsimassalla eli niin sanotusti sullotaan massa. Lopuksi massa tiivistetään käyttämällä vibraattoria. (Dötsch 2011, 3; Levander 2019.)

6.4 Vuorauksen käyttöönotto

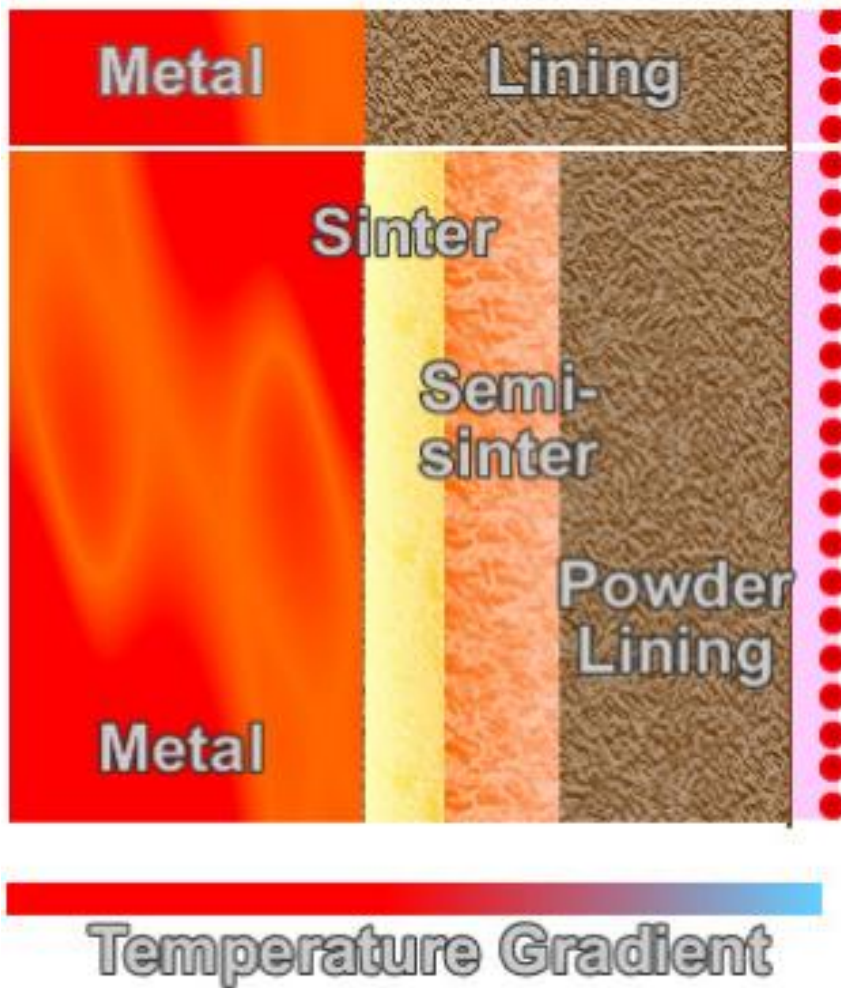
Vuoraukselle tehdään käyttöönotto eli sintraus. Kuten aikaisemmin on tullut ilmi, kvartsilla on monta eri kiderakennetta. Kvartsin kiderakenteet ovat pysyviä tietyillä lämpötila-alueilla, mutta lämpötilan vaihtuessa ne voivat muuttua toisikseen. Kiderakenteiden muutokset ovat hitaita tai nopeita, ja niihin liittyy yleensä tilavuuden muutokset. Kvartsi esiintyy normaaliolosuhteissa yleensä β -kvartsina eli matalakvartsina. Kun lämpötila nousee noin 573°C asteeseen, muuttuu se α -kvartsiksi eli korkeakvartsiksi. Kun lämpötila laskee, palautuu kvartsi takaisin matalakvartsiksi, jolloin tilavuuden muutokset saa aikaan jännityksiä. Nämä jännitykset voivat aiheuttaa vaurioita vuorauksessa. Lämpötilan noustessa 870°C asteeseen kvartsikide muuttuu α -tridymiitiksi. Lämpötilan noustessa noin 1470°C asteeseen kvartsikide muuttuu α -kristobaliitiksi. Kun kvartsi muuttuu tridymiitiksi ja kristobaliitiksi, tapahtuu tilavuuden kasvu, joka on noin 16 %. Tridymiitti ja kristobaliitti on pysyviä muutoksia, eli lämpötilan laskiessa kiderakenne ei muutu enää kvartsiksi. Kuitenkin lämpötilan laskiessa α -tridymiitti muuttuu 163°C asteessa β -tridymiitiksi ja 117°C asteessa γ -tridymiitiksi. α -kristobaliitti muuttuu β -kristobaliitiksi lämpötilan laskiessa alle 230°C asteeseen. Kristobaliitin ja tridymiitin muodot ovat palautuvia, joten lämpötilan noustessa ja laskiessa ne muuttuvat (Ks. kuvio 4.). (Autere, Ingman & Tennilä 1982, 91; Dötsch 2019, 25–28.)



Kuvio 4. Kvartsin kidemuutokset eri lämpötiloissa (Autere, Ingman & Tennilä, 91, muokattu)

Vuorauksen käyttöönotto eli sintraus tapahtuu nostamalla uunin lämpötila 1200°C asteeseen asti 100–200 K/h. Koska uunin vuorauksen halutaan olevan α -kristobaliittia, lämpötila nostetaan yli 1470°C asteen sintrauksessa. Uunin vuorauksen lämpötila ei saisi laskea alle 300°C, jolloin α -kristobaliitti muuttuu β -kristobaliitiksi, koska tässä muutoksessa tilavuus muuttuu. Tilavuuden muutos aiheuttaa rasiutusta vuoraukseen. (Autere, Ingman & Tennilä 1982, 91; Dötsch 2011, 2–3; Dötsch 2019, 25–28.)

Sintrauksen aikana vuoraukseen muodostuu kolme eri vyöhykettä (Ks. kuvio 5.), jotka johtuvat lämpötila eroista. Sulan kanssa kosketussa oleva vyöhyke on sintraantunut vyöhyke, jonka lämpötila on >1300°C astetta. Seuraavana vyöhykkeenä sulasta päin katsottuna on osittain sintraantunut vyöhyke. Vyöhykkeen lämpötila on 900–1300°C astetta, missä lujuus on alhaisempi kuin sintraantuneella vyöhykkeellä. Viimeinen vyöhyke sulasta katsottuna on sintraantumaton vyöhyke, jossa vuorausmassa on jauhemaista. Tällä vyöhykkeellä lämpötila on alle 900°C astetta. (Dötsch 2011, 2–3; Keskinen & Niemi 2011.)

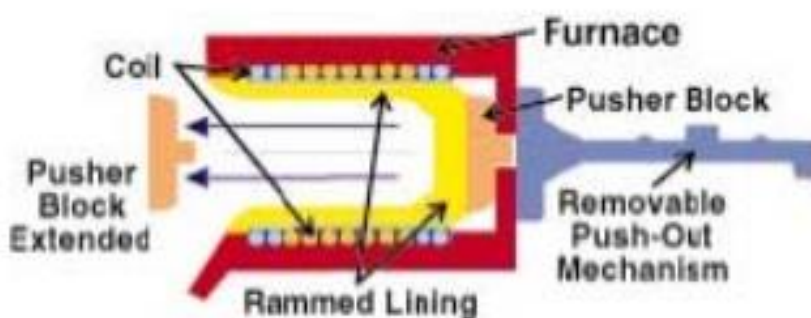


Kuvio 5. Vuorausmassan sintraantumiskerrokset (Levander 2019)

Sintraantumaton vyöhyke on tärkeä osa vuorausta. Tämä vyöhyke estää isojen halkeamien muodostumisen pintakerrokselta kelalle asti. Sintraantunut vuoraus on kylmänä haurasta, joka halkeaa helposti. Sintraantumaton vyöhykkeen tehtävänä on olla joustovarana lämpötilasta johtuville muutoksille sekä korjata vuorausta. Sintraantumaton vyöhyke sintraantuu vähitellen, kun sintraantunut vyöhyke kuluu, koska vyöhykkeen lämpötila nousee. Vuorauksen vyöhykkeitä tulee seurata, koska vuoraus ei saa läpi sintraantua yllä mainittujen syiden vuoksi. (Keskinen & Niemi 2011; Levander 2019.)

6.5 Vuorauksen purku

Uunin vuoraus kuuluu ajan kanssa, kun uunilla sulatetaan. Uunin kuluminen voidaan havaita antureilla tai kokemusperäisellä arviolla. Uunin vuorauksen havainnointianturit tunnistavat sulan läheisyyden, kun massa on tarpeeksi kulunut. Uunin kulunut vuoraus voidaan poistaa mekaanisesti tai työntämällä vanha vuoraus pois ulostyöntölaitteen avulla (Ks. kuvio 6.) Mekaanisessa vuorauksen poistossa käytetään eri apuvälineitä, kuten talttoja. (Fink 2018; Keskinen & Niemi 2011.)



Kuvio 6. Vuorauksen työntölaite (Keskinen & Niemi 2011)

Vuorauksen työntöjärjestelmä toimii hydraulikalla. Ennen vuorauksen poistoa uuni tyhjenetään ja annetaan jäähtyä. Purkaminen tapahtuu aluksi mekaanisesti, kun uunin nokka ja vuorauksen yläosa murretaan, jotta vuoraus pääsee vapaammin liikkumaan. Mekaanisen poiston jälkeen uuni asetetaan vaaka-asentoon ja työnnetään hydraulisesti ulos. Ulos työntöä varten uunin pohjalla on niin sanottu pohjalimppu, jota vasten vuoraus työnnetään ulos. Vuorauksen poistojärjestelmällä on monia etuja verrattuna mekaaniseen poistamiseen. Vuorauksen poistojärjestelmän avulla vuorauksen poisto on nopeampi sekä se vaatii vähemmän työvoimaa. Foundry Management & Technologyn artikkelissa McGowan (2005) kertoi vuorauksen työntöjärjestelmän vähentävän työntekijöiden fyysistä työtä sekä pölyaltistumista. McGowan (2005) mukaan hydraulisen vuorauksen työntöjärjestelmän yhtenä etuna on vuorausprosessin keston lyhentäminen sekä hellävaraisuus. Mekaanisella uunin poistolla voidaan herkemmin vaurioittaa uunin kela. (Fink 2005; Push-Out Lining System n.d.)

7 Vuorauksen keston vaikuttavat tekijät

Vuorauksen keston vaikuttaa usea eri tekijä. Olennaista on, että valitaan oikeanlainen tulenkestävä materiaali. Tulenkestävän materiaalin valinnassa tulee huomioida sulatettava materiaali ja sulatuslämpötila. Vääränlainen vuorausmassa kärsii eroosiosta, joka huonontaa olennaisesti vuorauksen kestoja. Uunin vuorauksista tulee noudattaa valmistajan ohjeistusta vuorauksessa sekä sen sintraamisessa. Materiaalin valmistajilla on tarkat ohjeistukset, kuinka kyseinen materiaali vuorataan ja sintrataan. Nämä ovat materiaali kohtaisia, joten nämä voivat poiketa toisten materiaalien toimittajien ohjeistuksista. Vuorauksen keston kannalta on tärkeää massan riittävä täryttäminen ja sintraantuminen. Vuorausmassan riittävällä täryttämisellä varmistetaan massan tiheys. Liian alhainen massan tiheys johtaa sulan tunkeutumiseen, joka aiheuttaa vuorauksen eroosiota ja mahdollisen vaaran. (Fink 2018.)

Vuorauksen kulumiseen vaikuttaa siihen kohdistuvat erilaiset rasitukset, kuten terminen, mekaaninen ja kemiallinen rasitus. Terminen rasitus on esimerkiksi lämpötilojen vaihtelut, liian korkea lämpötila ja sulan tunkeutuminen. Uunia panostaessa on otettava huomioon panoksen koko, jotta uunin lämpötila ei nouse liikaa. Vaikka vuorausmassat ovat tulenkestäviä aineita, ne kulumat liian korkeissa lämpötiloissa. Tulenkestävän aineen ominaisuuksista, jotka vaikuttavat termisen rasituksen keston:

- Tulenkestävyys (myös kuormitettuna)
- Painepohjautuminen ja -juoksevuus
- Kuumataivutuslujuus
- Lämpölaajeneminen
- Pysyvä jälkilaajenema
- Lämpöshokkien kesto
- Lämmönjohtavuus
- Lämpökapasiteetti

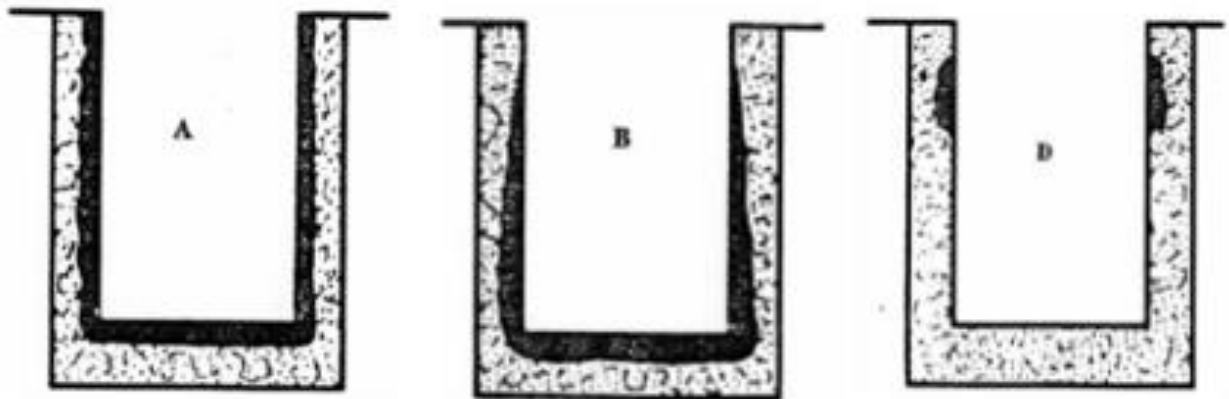
Mekaanista rasitusta, joka kohdistuu tulenkestävään materiaaliin, on staattinen kuormitus, dynaaminen kuormitus, panostus sekä lämpötilamuutoksista johtuvat jännitykset. Panostaessa liian suurien kappaleiden pudottaminen uuniin voi aiheuttaa uunin vuorauksen halkeamisen. Tulenkestävän massan ominaisuuksista, jotka vaikuttavat mekaaniseen keston on puristuslujuus, hankauslujuus, taivutuslujuus sekä tiheys. Kemiallisia rasituksia ovat tulenkestävän aineen

reagointi kuonan, sulan ja atmosfääriin kanssa. Tulenkestävän materiaalin ominaisuuksista, mitkä vaikuttavat kemiallisen rasituksen keston ovat termodynaaminen stabiilius sekä kaasun läpäisevyys. Kemiallisen rasituksen kannalta on tärkeä valita prosessiin oikeanlainen tulenkestävä materiaali. (Fink 2018; Heikkinen 2022.)

Ennakoiva kunnossapito on olennainen osa vuorauksen keston lisäämisessä. Säännöllisellä vuorauksen kunnon seurannalla voidaan ennakoida uunin vuorauksen tarvetta. Kun vuorauksen kuntoa seurataan säännöllisesti, voidaan korjata paikallisesti vuorauksen pieniä halkeamia, jolloin vältetään koko uunin vuoraukselta. (Fink 2018.)

8 Vuorauksen kuluminen

Sulatusuunin vuorauksen kuluminen voi tapahtua eri tavoin. Vuorauksen kulumisessa ihanne on tasainen kuluminen (Ks. kuvio 7.), koska silloin uunin kulumista on helpompi seurata mittaamalla. Vuorauksen kulumista on hyvä seurata, koska sen avulla voidaan päätellä kulumiseen johtaneita syitä. Vuorauksen ongelmakohdan löydettyä, on helpompi kehittää vuorausprosessia. (Keskinen & Niemi 2011.)



Kuvio 7. Uunin vuorauksen kulumistyyppit. A: tasainen kuluminen B: uunin alaosan kuluminen D: kuonasta johtuva kuluminen (Keskinen & Niemi 2011, muokattu)

Kuviossa 7 on esitetty uunin alaosan kuluminen, joka johtuu sumpin liiallisesta kuumanapidosta, jolloin sumpia on pidetty liian pitkään kuumana. Vahvasti happamasta kuonasta johtuvassa kulumisessa (Ks. kuvio 7.) vuorauksen kuluminen tapahtuu uunin yläosassa. Kuvion 8. D kuluminen voi johtua myös liian matalasta sulatuslämpötilasta, joka aiheuttaa hapettumista. (Keskinen & Niemi 2011.)

9 Työohjeen laadinta

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä työohje uunin vuorausprosessiin. Työohjeen on oltava selkeä ja helppo ymmärtää. Työohjeen laadinnassa täytyy hahmottaa olennaiset tiedot sekä vaiheet. Työohjetta kirjoittaessa on ajateltava lukijan näkökulmasta, jotta työohjeen sisältö olisi lukijalle mahdollisimman selvä. Työohje ei kuitenkaan saa olla liian pitkä, koska silloin ohjeistusta ei välttämättä jaksaa lukea. Työohjeen kannalta siihen täytyy valita vain olennaiset tiedot. Kuvia käyttämällä työohjeisiin saadaan paljon lisätietoa sekä selkeyttä. Selkeät ohjeet saadaan kiinnittämällä huomiota sanamuotoihin ja ohjeen rakenteeseen. Työohjeissa tulisi käyttää käskymuotoa, joka kertoo selkeästi mitä ohjeen lukijan tulee tehdä ja milloin. Ohjeen rakenne tulee muodostaa mahdollisimman selkeäksi. Työohjeissa se on yleensä aikajärjestys, joka kertoo missä järjestyksessä tehtävät tulee suorittaa. Aikajärjestyksessä oleva työohje helpottaa työvaiheiden seurantaa. Selkeä työohjeistus on työnantajalle etu, koska se auttaa esimerkiksi uusien työntekijöiden perehdyttämisessä sekä tehostaa yritysten prosessien toimintaa. Työohjeistuksella standardisoidaan työ ja sen laatu, kun kaikki noudattavat yhteisiä ohjeistuksia. Työohjeistus palvelee kaikkia tahoja yrityksen sisällä. (Makkonen & Lavikainen 2020; Ohjeita ohjeiden tekijöille n.d.)

10 Toteutus

10.1 Tutkimusaineiston hankinta

Tässä opinnäytetyössä aineisto koostuu erilaisista lähteistä, mikä on tapaustutkimukselle tyypillistä. Eri lähteiden tietoa yhdistelemällä muodostetaan syvälinen kuva tapauksesta ja lisätään tutkimuksen luotettavuutta (Kananen 2013, 77–78). Tiedon kerääminen aloitettiin tutustumalla aihealueen kirjallisuuteen, artikkeleihin sekä valimoalan tietopankkiin - valuatlakseen. Opinnäytetyö suoritettiin tiiviissä yhteistyössä uunin vuoraukseen käytettävien

materiaalien toimittajien sekä valmistajien kanssa, joilta saatiin tiedot vuorausprosessin materiaaleista ja niiden käytöstä. Materiaalien toimittajien kanssa tiedonkeruu tapahtui asiantuntijahaastatteluna. Haastattelutyypinä käytettiin avointa haastattelua. Avoimessa haastattelussa olennaista on, että haastattelu ei ole sidottu tiukkaan formaattiin, vaan haastateltava ja haastattelija ovat kielellisessä vuorovaikutelmassa keskenään. Avoimessa haastattelussa keskustelun etenemistä ei ole lyöty lukkoon, vaan se etenee tietyn aihepiirin sisällä vapaasti, mutta kuitenkin seuraten etukäteen mietittyä teemaa eli tässä tapauksessa uunin vuorausprosessia. Tarkkojen kysymysten sijaan avoimessa haastattelussa edetään keskustelun omaisesti ja annetaan tilaa haastateltavien omille näkemyksille, kokemuksille sekä perusteluille. Tässä tutkimuksessa materiaalien toimittajat olivat asiantuntijoita. Heidän kanssaan haastattelut tapahtuivat Teamsin välityksellä avoimesti keskustellen vuoraukseen liittyvistä tekijöistä ja käytettävistä materiaaleista. Materiaalien toimittajien tieto perustuu valmistajien suosituksiin ja tutkimuksiin. Heidän kautta saatiin valmistajien omat ohjeistukset esimerkiksi, kuinka materiaalejaan tulisi käsitellä. Nämä tiedot perustuvat materiaalien valmistajien omiin tutkimuksiin, jolloin materiaalien toimittajien tieto on toisen käden tietoa, mikä on luotettavuus uhka. Tutkimuksen luotettavuutta voi vähentää myös asiantuntijoiden haastattelut, jos asiantuntijalla ei ole omia kokemuksia aiheesta, jolloin hänen tietonsa perustuu toisen käden tietoihin. (Kananen 2008; 78; Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kehittää nykyistä toimintaa tutkimusten ja suositusten mukaiseksi. Jotta nykyistä toimintaa voidaan kehittää, täytyy se kartoittaa. Nykyisen toiminnan kartoituksessa tiedonkeruu menetelmänä käytetään havainnointia. Havainnointi tapahtui passiivisena osallistuvana havainnointina, missä seurattiin uunin vuorausprosessia vierestä välillä tarkentavia kysymyksiä kysyen, mutta ei osallistuttu itse prosessiin. Passiivisesti osallistuvassa havainnoinnissa tutkija osallistuu tutkittavaan tilanteeseen, mutta ei vaikuta siihen. Osallistuvaa havainnointia käytettäessä, tutkijan on pystyttävä hahmottamaan oman osallistumisensa vaikutus tuloksiin. Havainnointi on subjektiivista ja valikoivaa toimintaa. Havainnoissa ihmiset kiinnittävät eri asioihin huomiota, jolloin jotakin voi jäädä huomaamatta. Tämän takia tässä tutkimuksessa on havainnointi muutaman kerran eri uunin vuorausprosessia. Näiden havainnointien perusteella kartoitettiin vuorausprosessin nykytila. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

10.2 Aineiston analyysi

Tapaustutkimus pohjautuu pitkälle laadulliseen tutkimukseen, joten sillä ei ole omia analyysimenetelmiä, vaan analyysimenetelmän valinta perustuu käytettyihin tiedonkeruu menetelmiin. (Kananen 2013, 103–104.) Tässä opinnäytetyössä käytettyjä tiedonkeruu menetelmiä ovat haastattelut, artikkelit ja kirjallisuus.

Aineiston luokittelussa käytetään koodausta, jossa selkeytetään ja tiivistetään aineisto ennen analyysia. Koodauksessa yhdistellään havainnoinnin, haastattelun ja kirjallisuudesta saatua aineistoa. Koodauksella jäsenellään ja luokitellaan toimeksiantajan uunien vuorauksen elinikään vaikuttavat tekijät. Koodaamalla pyritään jäsentelemään tutkimustehtävän ja -kysymysten kannalta tärkeitä asioita, jolloin aineistosta saadaan kerättyä tutkimuksen kannalta olennaiset asiat. Luokitteluna voidaan käyttää tutkimuskysymyksiä, eli vuorauksen kestoon vaikuttavat tekijät, vuorausprosessin kulku sekä vuorauksen kunnossapito. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

11 Nykytilanteen kuvaus

Toimeksiantajalla on pitkään kehitetty uunivuorausprosessia, jotta vuorauksen elinikää saataisiin nostettua. Uunin vuorausprosessiin on olemassa työohjeistukset, joita päivitetään tutkimustulosten perusteella. Tällä hetkellä toimeksiantajan suurimpina haasteina on vuorauksen läpikovettuminen sekä ylärenkaan ja vuorauksen välisen sauman halkeaminen, joka johtaa uunin vuorauksen uusimiseen. Uunien vuorauksien elinikä on ollut haasteena toimeksiantajalla siitä asti, kun uuneilla ei ole sulatettu kolmessa vuorossa. Aikaisemmin uunit eivät jäähtyneet, jolloin uunin vuoraus ei päässyt kylmenemään. Silloin uunien vuorauksilla oli pidempi elinikä. Tällä hetkellä toimeksiantajalla ei riitä tuotanto kolmeen vuoroon, joten uunin vuorauksen elinikää täytyy kehittää muilla tavoin.

11.1 Käytettävät materiaalit

Uuninvuorausmassa

Valmet Technologies valimolla käytetään vuoraukseen hapanta kvartsimassaa. Käytössä olevan kvartsimassan eli silikamassa koostuu noin 98,2 % piioksidia ja 0,6 % boorioksidia. Sen suositeltu maksimilämpötila on 1620°C astetta. Käytössä oleva silikamassa on suoraan käyttövalmista kuivamassaa, joka ei saa sisältää kosteutta. Se voidaan varastoida pitkäksikin aikaa, mutta sen varastoinnissa on oleellista, että säilytetään omassa pakkauksessaan ja kuivassa. Käytössä olevan vuorausmassan lämpölaajeneminen on 7–9 %.

Mikaniitti

Käytössä oleva mikaniitti on 2,4 mm paksua, joka koostuu flogopiittikerroksesta ja kalsiumsilikaattipohjaisesta kuitukerroksesta. Se asennetaan hyvin tasoitetun kelamassan päälle. Mikaniitti levyjen saumat tulee olla noin 50–100 mm päällekkäin. Levyt kiinnitetään toisiinsa teipillä.

Ylärengas massa

Ylärenkaan valamisessa käytetään andalusiittimassaa, jonka kemiallinen koostumus on:

- Al₂O₃ 61 %
- SiO₂ 34,5 %
- CaO 1,4 %
- Fe₂O₃ 0,7 %

Massan sideainetyyppi on hydraulinen eli massan sekaan sekoitetaan vettä ennen käyttöä. Vettä sekoitetaan 5,2–6,0 litraa 100 kilogrammaa massaa kohden. Ideaali veden lämpötila on 15–25°C sekä sekoitusveden tulisi olla juomakelpoista eurooppalaisten määräysten mukaisesti. Massan sekoituksessa tulee välttää ylimääräistä vettä, koska se vaikuttaa negatiivisesti massan lujuusominaisuuksiin sekä kuivumisaikoihin. Ennen sekoitusta lisäystä tulee varmistaa, että kaikki työlaitteet ovat puhtaita sekä toimivia. Sekoitus aloitetaan massan kuiva sekoittamisella. Massaa tulee sekoittaa 30 sekuntia ennen veden lisäystä. Veden sekoitus aloitetaan veden minimi

vesimäärällä. Vettä voi lisätä rajojen sisällä tarpeen tullen. Veden lisäämisen jälkeen seosta pitää sekoittaa 5 minuuttia. Sekoituksen jälkeen massa tulee valaa viimeistään 15 minuutin kuluttua. Valun aikana tulee käyttää vibraattoria, jotta massa tiivistyy. Liiallista täryyttämistä tulee kuitenkin välttää. Massa on tarpeeksi tiivistä, kun sillä on tasainen ja kiiltävä pinta.

Uunin vuorauksen korjausmassa

Uunin vuorauksen halkeamiin käytetään bauksiittimassaa, jonka kemiallinen koostumus on:

- Al₂O₃ 81 %
- SiO₂ 11,3 %
- P₂O₅ 4,4 %
- TiO₂ 1,3 %
- Fe₂O₃ 1,2 %

Bauksiittimassa on säilytettävä viileässä, poissa lämpösäteilystä. Sen korkein suositeltu lämpötila on 1700°C astetta. Massa on käytännössä käyttövalmista, mutta siihen voidaan lisätä hieman vettä.

Valumassa (Uunin nokka)

Valumassaa käytetään uunin nokkaa valussa. Sen kemiallinen koostumus on:

- Al₂O₃ 65 %
- CaO 1,4 %
- SiO₂ 29 %
- TiO₂ 1,7 %
- Fe₂O₃ 1 %

Valumassaa sekoitetaan kuivana noin 30 sekuntia, jonka jälkeen lisätään vesi. Vettä lisätään 1,6–1,7 litraa/25 kilogrammaa. Massan kokonaisekoitus aika on 6 minuuttia.

Korjausmassa (Uunin nokka ja pohjalimpun välit)

Korjausmassana käytetään bauksiitti märkämassaa, jonka kemiallinen koostumus on:

- Al_2O_3 75 %
- CaO 4 %
- SiO_2 10 %
- Fe_2O_3 1,5 %

Korjausmassaan sekoitetaan 2,5–3 litraa vettä/25 kilogrammaa. Massan sekoituksen vaiheet vastaavat valumassan sekoitusohjeita.

Kelamassa

Kelamassana käytetään alumiinioksidipohjaista massaa. Sen tyypillinen koostumus on:

- Alumiinioksidi (Al_2O_3) 92,0 %
- Silika (SiO_2) 1.0 %
- Rautaoksidi (Fe_2O_3) 0.3 %
- Kalsiumoksidia (CaO) 4.6 %
- Titaanioksidia (TiO_2) 2.0 %

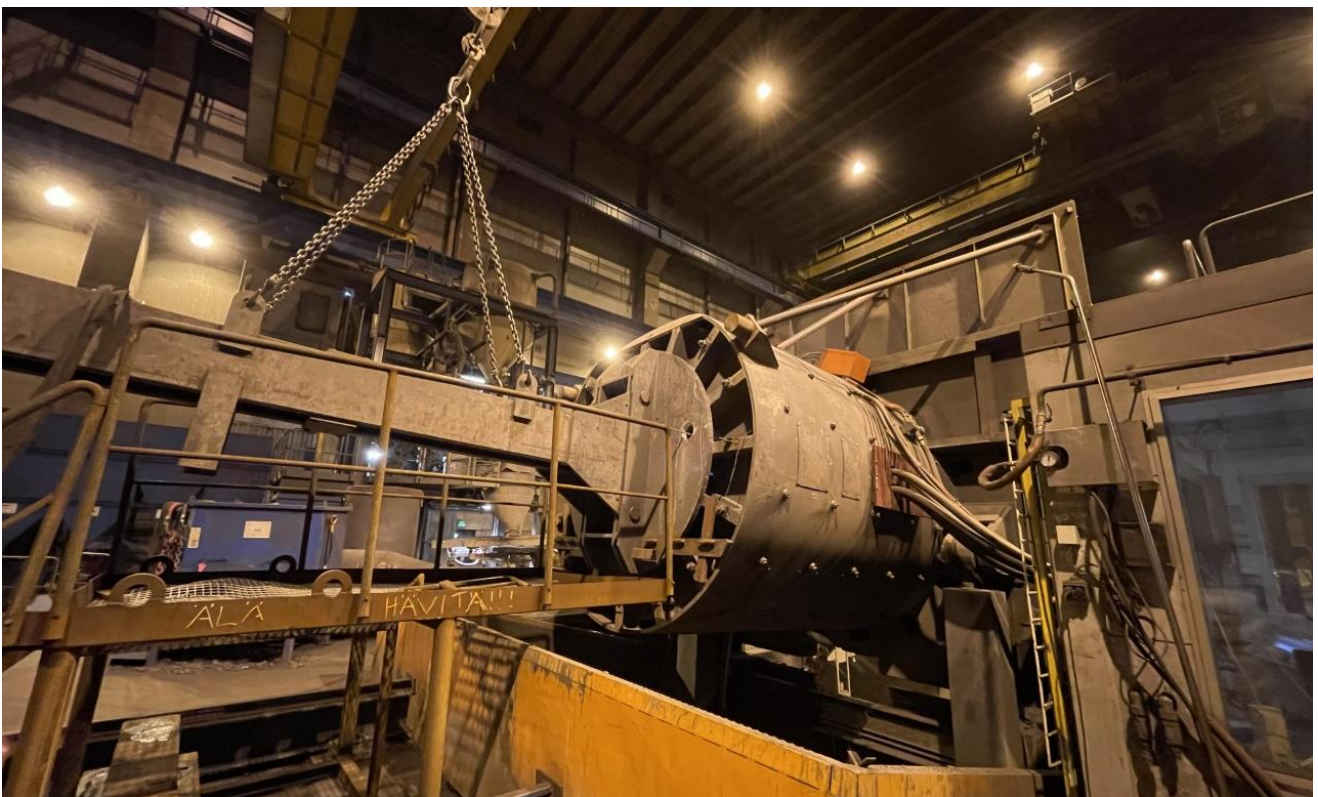
Kelamassa on sähköisesti inertti, jotta se ei häiriöitä kela. Massa sekoitetaan veteen.

Sekoitussuhde on 6–7 litraa vettä/50 kilogrammaa massaa. Sekoitusaika on 2–3 minuuttia. Massa on oikeanlaista, kun massa tuntuu märältä, mutta säilyttää muotonsa käteen otettaessa.

Kelamassa jähmettyy yhdessä tunnissa. Sen alkukovettuminen tapahtuu 5 tunnissa ja lopullinen kovettuminen 24 tunnissa.

11.2 Vuorausprosessi

Vuorausprosessi alkaa edellisen vuorauksen purkamisella. Ennen uunin purkua uuni on tehtävä virrattomaksi ja katkaisija lukittava. Tämän työvaiheen suorittaa sähkömies. Jotta uunin vuoraus voidaan purkaa, uunin täytyy jäähtyä, jonka jälkeen uunista poistettiin suupellit. Ennen uunin ulostyöntöä purettiin uunin nokka mekaanisesti piikkausvasaralla, jotta vuoraus saatiin työnnettyä vapaasti ulos. Ulostyöntö tapahtui hydraulisella tunkilla, joka asennettiin uunin pohjaa vasten, kun uuni on nostettu vaakasuoraan asentoon. Tunkki kiinnitettiin uunin pohjaan (Ks. kuvio 8.). Vuoraus työnnettiin alla oleviin laatikoihin, jotka oli asennettu vuorauksen purkua varten.



Kuvio 8. Ulostyöntölaite eli tunkki asennettuna uuniin pohjaan.



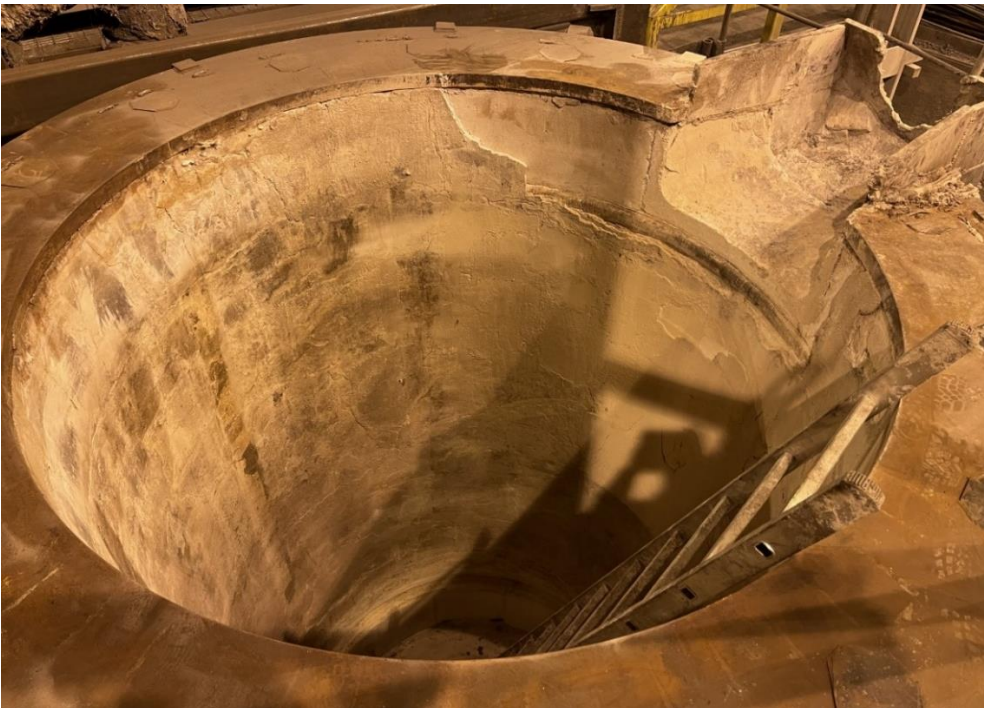
Kuvio 9. Ulos työnnetty vuoraus ja pohjalimppu

Kun edellinen vuoraus on työnnetty ulos, uuniin jää jäljelle kela suojaava kelamassa. Kelamassa tarkastettiin silmämääräisesti, ja tehdään tarvittavat korjaukset. Korjauksessa käytettiin kelamassaa, joka siveltiin uunin seinämiin. Kelamassalla siveltiin halkeamiin sekä kuvion 11. nokan alla olevaan alueeseen. Kelan sively tehtiin käsin ja lastalla. Kelamassan ja veden suhde mitattiin silmämääräisesti. Työntekijöillä ei ollut tiedossa kelamassalle tarkkaa kuivumisaikaa ja vesi määrää. Kelavuorauksen korjauksen jälkeen asennettiin pohjalimppu. Pohjalimppu asetettiin nosturilla pohjalle ja kohdistettiin anturin reiät kohdakkain. Pohjalimppuun asennettiin maavuotoanturit, jotka yhteydessä kelaan ja havaitsevat maavuodon sulan koskettaessa kela. Kun pohjalimppu oli asennettu, täytettiin pohjalimppun ja uunin väliin muodostunut väli korjausmassalla. Pohjalimpusta irrotettiin nostolenkki (Ks. kuvio 10.). Nostolenkin reikään laitettiin villaa, jonka päälle laitettiin korjausmassaa.



Kuvio 10. Uunin pohjalimppu, josta puuttuu iso pala.

Sulatusuunin kaatonokka valettiin valu- ja korjausmassan seoksesta. Korjausmassaa laitettiin uunin nokkaan 10 säkkiä eli 200 kg ja valumassaa 2,5 säkkiä eli 50 kg. Ennen kaatonokan valua, uuniin asennettiin valua varten metalli- ja vanerilevy muotiksi. Kaatonokan kourumainen muoto valmistettiin käsin muotoilemalla. Valun jälkeen nokaan annettiin kuivua yön yli.



Kuvio 11. Purettu uuni, ennen kelamassalla korjausta.



Kuvio 12. Kaatonokan valua varten asennettu muotti.

Ennen mikaniittilevyjen asennusta tehtiin uunin jännitetesti sekä sähkömies käy tarkastamassa kelamassan. Kaatonokan kuivuttua asennettiin uuniin seinämille mikaniitti eli niin sanottu tapetti (Ks. kuvio 13.), joka toimii vuorauksen liukupintana. Mikaniitti asennettiin yksi levy kerrallaan. Toinen työntekijöistä oli uunin pohjalla asentamassa mikaniittia kohdilleen alhaalta, kun toinen työntekijä ojensi ja asetteli sen kohdilleen ylhäältä. Mikaniitin yläosa halkaistiin kolmeen osaan, jotta se saatiin asennettua pyöreää reunaa vasten. Mikaniitti teipattiin kiinni toisiinsa lasikuituteipillä.



Kuvio 13. Mikaniitti asennettuna uuniin.

Seuraavaksi tampattiin uunin pohja. Uunin pohjalle laskettiin uunin vuorausmassaa, joka tiivistettiin vibraattorilla 6 minuuttia (Ks. kuvio 14.). Tärytyksen jälkeen tiivistettiin pohjan reunoja atraimella, jotta ei pääse syntymään saumaa pohjan ja reunojen kohdalle. Kun uunin pohja on saatu tampattua, asennettiin vuoraussabloona. Vuoraussabloona keskitettiin uunin keskelle ja laitettiin puristimet reunoille pitämään sabloonan paikallaan (Ks. kuvio 15.). Toleranssi oli ± 1 cm.



Kuvio 14. Uunin pohjalle tampattu vuorausmassa



Kuvio 15. Vuoraussabloona asennettuna ja keskitettynä uuniin.

Kun vuoraussabloona oli saatu paikoilleen, aloitettiin vuorausmassan valuttaminen suursäkistä sabloonan ja uunin reunan väliin. Vuorausmassan valutus aloitettiin siltä kohdalta, mihin viimeinen mikaniittilevy oli asennettu. Massan valuttamista jatkettiin vastakkaiseen suuntaan mikaniittilevyjen asennus suunnasta, jolloin ensimmäisenä asennettu mikaniittilevyn kohdalle sullottiin massa viimeisenä. Vuorausmassaa tiivistettiin atraimella välillä kesken sullonnan. Lopullinen tiivistys tapahtui vibraattorilla. Ennen tärytystä polttoleikattiin sabloonan nostoristikko, jotta vibraattori saatiin laskettua sabloonan sisään. Ohjeistuksena on täryttää 30 minuuttia vuoraussabloonan kartion kohdalta, jonka jälkeen tärytetään 5 minuuttia/10 cm. Tämän noudattaminen riippui työntekijästä. Vibraattorin nostomatka katsottiin silmämääräisesti, joka oli noin 10 cm. Tärytyksen aikana vuorausmassaa lisättiin lapiolla sitä mukaan, kun massa tiivistyy ja sen pinta laskee alle uunin reunan. Tärytyksen aikana leikattiin mikaniittilevyjen ylimääräiset osat pois (Ks. kuvio 15.).



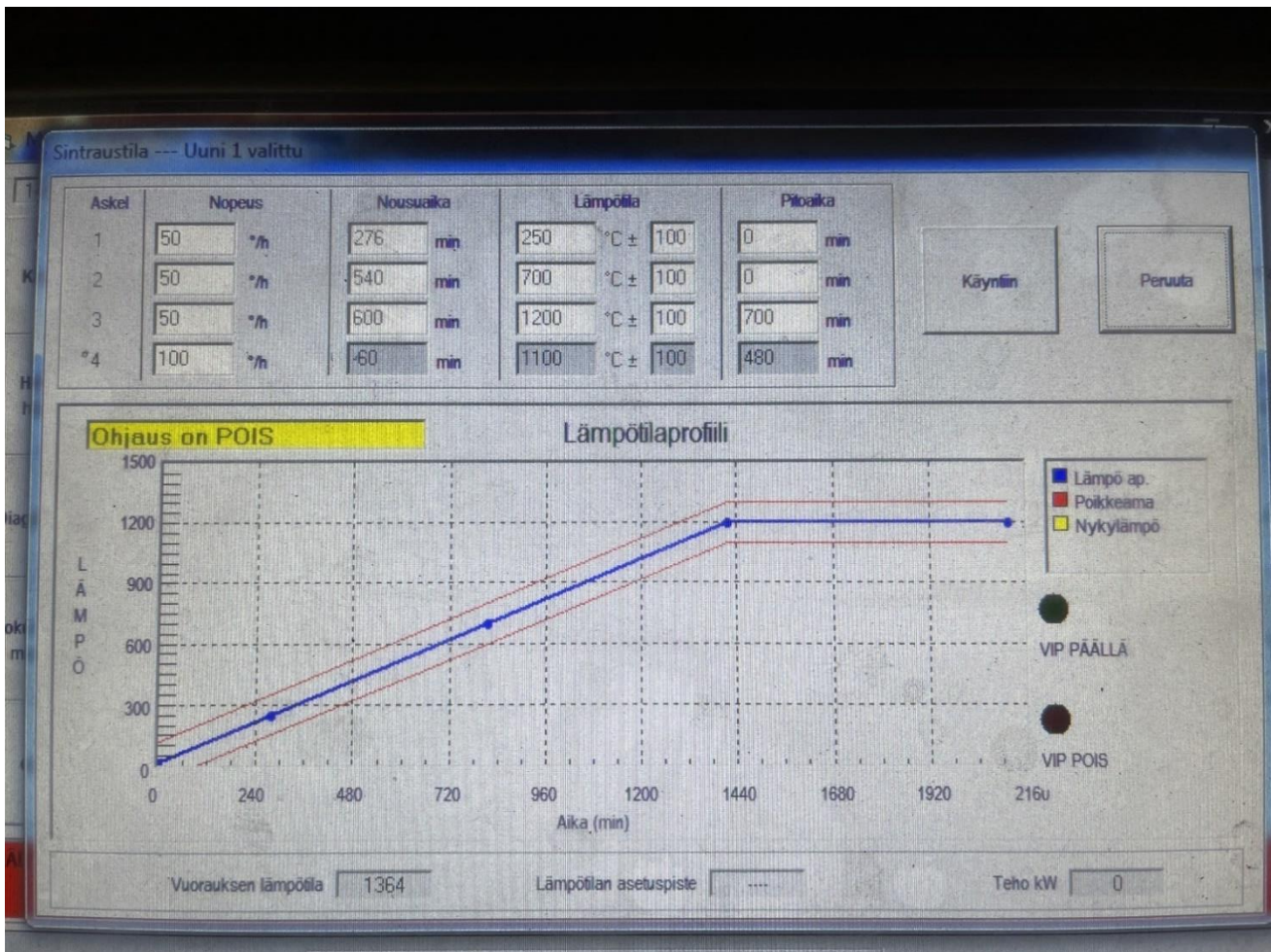
Kuvio 16. Uunin vuoraus täryttämisen jälkeen

Ennen sintrauspanoksen tekemistä, asennettiin suupellit, lämpötila-antureiden suojaputket ja poltettiin nokka auki (Ks. kuvio 17.). Suupellit ja lämpötila-antureiden suojaputket asennettiin hitsaamalla. Kaatonokan kohdalle polttoleikattiin reikä helpottamaan sulan kaatoa uunista.



Kuvio 17. Suupellit on asennettu sekä nokka on leikattu auki. Sabloonan sisällä on sintrauspanos (keltainen).

Vuorauksen käyttöönotto tapahtui sintraamalla. Uunin laitettiin sintrauspanos (Ks. kuvio 17.). Ennen sintrausta sähkömies asensi lämpötila-anturit ja data lockerin eli tiedonkeräyslaitteen, jonka jälkeen uuni kytkettiin päälle. Uunilla oli erillinen sintrausohjelma (Ks. kuvio 18.), jossa lämpötilaa nostettiin 50°C/tunnissa. Kun lämpötila saavutti 1200°C astetta, aloitettiin panoksen sulatus. Sulatuksessa tehoja nostettiin manuaalisesti ja lisättiin panosta, jotta sulan lämpötila saatiin 1500°C asteeseen, jossa lämpötilaa pidettiin 2 tunnin ajan. Sintrauksen aikana sulaa kuonattiin tarpeen mukaan.



Kuvio 18. Sintrausohjelma

Sintrauksen jälkeen uunilla sulatetaan heti vähintään kerran, jolloin uunin vuorauksen sintraantunut kerros saadaan paksummaksi. Uunilla sulatetaan joitakin kertoja ennen ylärenkaan valamista. Uunia vuoratta silikamassalla eli uunin vuorausmassalla vuoraus on tehty ylös asti. Silikamassa kuitenkin kuluu nopeasti vuorauksen yläosasta. Tämä johtuu siitä, että uuni yläosan kohdalla ei ole tehollista kelaa, jolloin uunin yläosa on kylmempi. Kylmä yläosan takia vuorauksessa ei tapahdu uutta sintraantumista, joka korjaisi itse itseään (Ks. kuvio 19.). Kun uunin yläosa on vaurioitunut, voidaan sen tilalle valaa erillinen ylärengas, jolla pidennetään koko vuorauksen elinikää.



Kuvio 19. Silikamassalla ylös asti vuorattu uuni, jossa vauriota yläosassa.

Vanhaa vuorausta purettiin piikkaamalla pois noin 20 cm (Ks. kuvio 20.). Piikkauksen ajaksi uuniin asennettiin astia, johon vanhasta vuorauksesta piikatut palat tippuivat. Kun vanha vuoraus oli purettu, asennettiin uunin seinämille mikaniittilevyt tapettiliisterillä. Mikaniittilevyjä asennettiin tällä havainnointikerralla kaksi kerrosta, koska tämän vaikutusta haluttiin kokeilla vuorauksen vapaampaan liikkumiseen.



Kuvio 20. Vuorauksen yläosa purettuna ja mikaniitti levyt asennettuna

Mikaniitin asennuksen jälkeen imuroitiin vuorauksen pinnalta, jotta sauman kohta olisi puhdas. Lisäksi asennettiin sabloona, joka oli käsitelty irroitusaineella. Sabloonan ja vuorauksen välissä oleva rako täytettiin korjausmassalla. Tarvittaessa väliin laitetaan villaa, jos väli on suuri.

Ylärenkaan massana käytettiin samottimassaa, johon sekoitettiin 7,5 litraa vettä 125 kilogrammaan massaa kohden, joka on massan valmistajan ylärajasuositus. Sekoitettavan veden lämpötila oli noin 17 astetta. Massaa sekoitettiin myllyllä ensin noin puoli minuuttia kuivana, jonka jälkeen lisättiin vesi. Sekoitus aika oli noin 5 minuuttia, jonka jälkeen massaa laskettiin ämpäreihin. Valun aikana käytettiin vibraattoria massan tiivistämiseen. Massaa lisättiin niin kauan, kun massan pinta oli noin 5 cm uunin reunasta. Valun jälkeen massan pintaa rikottiin lastalla, jotta massa kuivuu sisältäkin. Valun annettiin kuivua yön yli.



Kuvio 21. Valmis valu

Seuraavana päivänä otettiin sabloona pois ja lisättiin ylärenkaan ja vuorauksen saumaan vuorauksen korjausmassaa, joka on bauksiittia. Massaan lisättiin hiukan vettä, jotta se on helpompi käsitellä. Ylärenkaan ja vuorauksen saumaan levitettiin korjausmassa käsin ja lastalla.



Kuvio 22. Ylärenkaan ja vuorauksen sauma korjattuna

Sauman korjauksen jälkeen hitsattiin kiinni uunin suupellit, sähkömies kytki uuniin virrat sekä datalockerin. Ylärengas vaatii vielä kuivauksen, jossa uuni lämmitetään pienellä teholla noin 500°C asteeseen. Kuivausta varten uuniin laitettiin lämmitysputki, jotta uuniin saadaan induktiovirtaa. Kuivausohjelmassa uunin lämpötila nousee noin 50°C astetta tunnissa. Ohjelman jälkeen otettiin lämmitysputki pois ja panostettiin seuraava panos. Ensimmäinen sulatus tehtiin tarkoituksella hitaammin, jotta jäännöskosteus poistuu massasta hallitusti.

11.3 Vuorauksen kunnossapito

Uunien vuorauksen tarvittava kunnossapito tehdään sulatuksen jälkeen. Uunin vuorauksen kunnan tarkastus tehdään silmämääräisesti aina sulatuksen jälkeen vuorauksen ollessa punahekuinen, jolloin epäjatkuvuus kohdat näkyvät parhaiten. Sulattaja tarkastaa onko uunin

vuorauksessa havaittavia kulumia, minkä perusteella voidaan päätellä korjataanko vai uusitaanko koko vuoraus. Jos uunin vuorauksessa on pieniä halkeamia, voidaan se korjata. Uunin korjauksessa käytetään samottimassaa. Jokaisen sulatuksen jälkeen erityisen tärkeää on tarkastaa nokan pysty sauma ja tarvittaessa paikata se, koska sula pääsee helposti tunkeutumaan sen kohdalta.

11.4 Vuorauksen vyöhykkeet

Uunin vuorauksen vyöhykkeet voidaan havaita, kun uunia puretaan. Sintraantumisyöhykkeitä on sintraantunut-, osittain sintraantunut- ja sintraantumaton vyöhyke. Toimeksiantajan uunin vuorauksesta voidaan havaita sintraantumisyöhykkeet (Ks. kuvio 23.), missä vasemman puolimmaisesta kuvan ulommainen vyöhyke on liian kovettunut. Ulommaisesta eli sintraantumattoman vyöhykkeen tulisi olla pulverimainen.



Kuvio 23. Sintrausvyöhykkeet (Vasemmalla on toimeksiantajan uunin vuoraus ylärenkaan valun yhteydessä ja oikealla puretusta uunista otettu vuorauksen sintraantunut ja osittain sintraantunut vyöhyke.)

Toimeksiantajan yksi ongelma on ollut vuorauksen ylikovettuminen. Vuorauksen ulomman vyöhykkeen pitäisi olla pulverimaista, jotta vuoraus voi korjata itse itseään, ei halkeile ja estää sulan tunkeutumista läpi. Ylikovettuminen lyhentää vuorauksen elinikään. Kuviossa 23 näkyy oikealla puolella millaiset vuorauksen vyöhykkeet tulisi olla.

12 Tulokset ja johtopäätökset

Havainnoinnin ja aineiston perusteella uunin vuorausprosessista löytyi kehitettäviä kohteita. Tutkimuksessa keskitytään erityisesti toimeksiantajan ongelmakohtien kehittämiseen sekä tutkimuskysymyksiin vastaamiseen. Toimeksiantajan ongelmakohtia ovat ylärenkaan ja vuorauksen sauma sekä vuorauksen ylikovettuminen. Muita huomioitavia kehityskohtia on yleisesti ohjeiden noudattaminen, huolellisuus ja työn dokumentointi. Vuoraustyön dokumentointia varten on kuittauslista, jolla kerätään oleellista tietoa vuorauksen prosessiajoista ja työvaiheista.

Huomioitavaa on, että vuoraukseen liittyvät tutkimukset ja kehittämiset on tehtävä turvallisuus edellä, jotta voidaan varmistaa työturvallisuus. Tabatabein ja Turnerin (2009) mukaan vuorauksen tulee olla oikeanlainen ja eheä, jotta se estää sulaa tunkeutumasta kelaan. Tämä tulee huomioida, kun muutetaan vuorausprosessia. Tässä tutkimuksessa on huomioitu, että työturvallisuus ei heikkene, vaan tutkimuksen tuloksilla parannetaan sitä. Esimerkiksi riski kosteuden jäämisestä vuoraukseen vähenee vuorausprosessia kehittämällä. Kosteutta vuoraukseen voi jäädä muun muassa huonosti kuivaneista massoista.

Nykytilan kartoituksessa käy ilmi, että vuorausprosessissa on pieniä eroavaisuuksia tekijöiden kesken. Vuorausprosessin aikana olemassa olevia työohjeita noudatettiin suhteellisen hyvin, mutta se oli työntekijä kohtaista. Finkin (2018) mukaan vuorausmassojen toimittajien ohjeistuksien noudattaminen on tärkeää uunin vuorauksen eliniän kannalta. Osa työntekijöistä luottaa kokemukseensa, joten eivät mittaa esimerkiksi tärytysaikaa, vaan tarkkailevat uunin vuorausmassan pölyämistä tärytyksen aikana. Vuorauksen tiiveys on olennainen osa uunin kestoa, koska liian alhainen tiiveys johtaa sulan tunkeutumiseen vuorauksen läpi. Vuoraus voidaan myös yli tiivistää, joka voi aiheuttaa vuorauksen sintraantumattoman vyöhykkeen kovettumista. Ohjeiden noudattaminen on tärytyksessä sekä yleisesti uunin vuorauksessa tärkeää, jos halutaan vuoraukselle mahdollisimman pitkä elinikä. Ohjeita noudattamalla työn laatu on tasaista, jonka

ansiosta vuorauksen elinikä on paremmin ennustettavissa. Dokumentointia kehittämällä voidaan varmistaa ohjeiden noudattamista ja saadaan oleellista tietoa vuorausprosessin standardoimisesta.

Asiantuntijan mukaan nykyinen 5 min/10 cm täryytys voi johtaa liialliseen massan tiivistymiseen. Tästä voi johtua, että toimeksiantajalla ei ole uunin vuorauksessa pulverimaista sintraantumaton vyöhykettä. Uunin vuorauksen vyöhykkeiden tulisi edetä vähitellen vuorauksen kuluessa, jolloin vuoraus niin sanotusti korjaa itse itseään. Kun vuoraus on läpikovettunut, se ei pysty korjaamaan halkeamia, jolloin sula pääsee tunkeutumaan vuorauksen läpi. Vuorausprosessin aikana tärytykseen suositeltu aika on 2 minuuttia/10 cm, millä vältetään massan liiallinen tiivistäminen.

Toinen mahdollinen syy vuorauksen liialliseen kovettumiseen on vuorauksen sintrauslämpötila. Toimeksiantajan sintraus tehdään pitämällä lämpötila 1500°C asteessa kaksi tuntia, joka on liian korkea lämpötila käytössä olevalle massalle. Sopiva sintrauslämpötila on noin 50 astetta enemmän kuin käyttölämpötila. Toimeksiantajalle sintrauslämpötilaksi riittää 1470°C astetta, jolloin kvartsin kiderakenne muuttuu kristobaliitiksi. Liian korkea sintrauslämpötila sintraa vuorausta liikaa, joka aiheuttaa vuorauksen kovettumista.

Kun uunin vuoraus lämpölaajenee, se nousee uunissa ylöspäin mikaniittia pitkin.

Lämpölaajenemisen voi havaita silmämääräisesti, kun katsoo uunin vuorauksen pinnan korkeutta sintrauksen jälkeen. Uunin vuorauksen eliniän kannalta on olennaista, että uunin vuoraus pääsee liikkumaan vapaasti, kun se lämpölaajenee. Tällä hetkellä uunin vuoraus pääsee lämpölaajenemaan ylöspäin, mutta uunin kylmetessä uunin vuoraus laskee, mutta ylärengas ei. Lämmitessään silikavuoraus laajenee ylöspäin aiheuttaen paineen ylärenkaan alapintaan aiheuttaen eroosiota. Tämä aiheuttaa uunin ylärenkaan ja vuorausmassan väliin voimia, jolloin silikamassan ja ylärenkaan väliin muodostuu onkalo. Vuorausprosessin aikana on tärkeää, että kela tarkastetaan. Kelan pitää olla ylöspäin aukeava, jolloin se pääsee liikkumaan vapaasti. Tällä hetkellä toimeksiantajan uuneissa on ongelmana, että kelamassan pinta ei ole suora ja ylöspäin aukeava, jolloin vuoraus ei pääse liikkumaan vapaasti.

Vuorausprosessi on kaksi osainen, joka koostuu silikamassalla vuorauksesta sekä ylärenkaan valusta. Ylärengas valetaan vanhan vuorauksen yläosaan. Vanhasta vuorauksesta piikataan noin 20 cm tasaisesti pois. Asiantuntijan suositukseksi on, että vanhaan vuoraukseen tehtäisiin porrastus sintraantumattoman vyöhykkeen kohdalle, jolloin ylärenkaan ja vuorausmassan sauma olisi portaittainen. Silloin mahdollisesti saumaan tunkeutuva sula ei pääse suoraan kelalle ja porrastetusta saumasta saisi vahvemman sekä kestävämmän.

Ylärenkaan valuprosessia havainnoidessa kävi ilmi, että käytössä oleva mylly sekoittaa huonosti myllyn reunoilta, jolloin massa ei ole tasalaatuista. Tätä sekoittumatonta massaa ei havainnointikerralla otettu pois, vaan käytettiin valussa. Massa saataisiin paremmin sekoitettua, jos mylly pysäytettäisiin välissä ja lastalla kaavittaisiin reunoilta kuiva massa pois, jolloin valuun käytettävä massa olisi tasalaatuista. Parempi ratkaisu olisi tilavuudeltaan suurempi mylly, joka kykenee sekoittamaan massaerän paremmin. Tämä huomio onkin johtanut suuremman sekoittajan hankintaan.

Ylärenkaan ja vuorauksen sauman ongelma voitaisiin ratkaista myös valmiiksi valetulla ylärenkaalla. Tämä ylärengas tulisi suoraan massojen valmistajalta. Valmiin ylärenkaan etuja on sen nopea asentaminen sekä laatu. Valmiin ylärenkaan asentamisesta jää kokonaan pois sen kuivaaminen. Valmis ylärengas on tehty optimaalisissa tiloissa sekä lämpökäsitelty optimaalisesti, joten sen laatu on parempi kuin vuorauksen päälle valetun ylärenkaan. Tämän takia myös sen kesto on yleensä parempi. Valmis ylärengas asennetaan vuorauksen yhteydessä, jolloin säästytään ylimääräiseltä purulta ja sauma on samalla parempi. Tähän vaihtoehtoon on suunnittelu toimittajalla käynnissä 10 t uuniin.

Toimeksiantajalla uunien vuoraus on kestänyt aikaisemmin paremmin, kun töitä on tehty kolmessa vuorossa. Uunin vuoraukseen ei ole kohdistunut silloin kylmäkuuma vaihtelua niin paljon. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että uunin vuorauksen eliniän kannalta merkittävä tekijä on lämpötilamuutokset. Jatkuva kylmäkuuma lämpötilavaihtelu aiheuttaa paljon räsitusta vuoraukseen. Lämpötilavaihtelu aiheuttaa kvartsissa faasimuutoksia. Uunissa tulisi pitää vähintään 300 astetta, jotta α -kristobaliitti ei muuttuisi β -kristobaliitiksi. Tässä faasimuutoksessa vuorauksen tilavuus muuttuu, jota halutaan välttää, jotta vuoraukseen ei tulisi lisää räsitusta. Uunin valmistaja ei suosittele sulan lämpimänä pitoa uuneissa ilman valvontaa. Sulatuksen jälkeen uunin liiallinen

jäähtyminen voidaan kuitenkin estää, panostalla kuumaan uuniin seuraava panos ja lämmittämällä se punahehkuseksi. Tämän jälkeen uunin nokalle laitetaan villa ja kansi kiinni. Uuniin jätetään matala teho. Tällöin uunin vuorauksen lämpötila pysyy noin 600 asteessa yön aikana, jolloin vuorauksessa ei tapahdu faasimuutoksia. Lisäksi sulatettava panos on jo esilämmitetty sekä vuoraus on jo lämmin, joka nopeuttaa sulatusta.

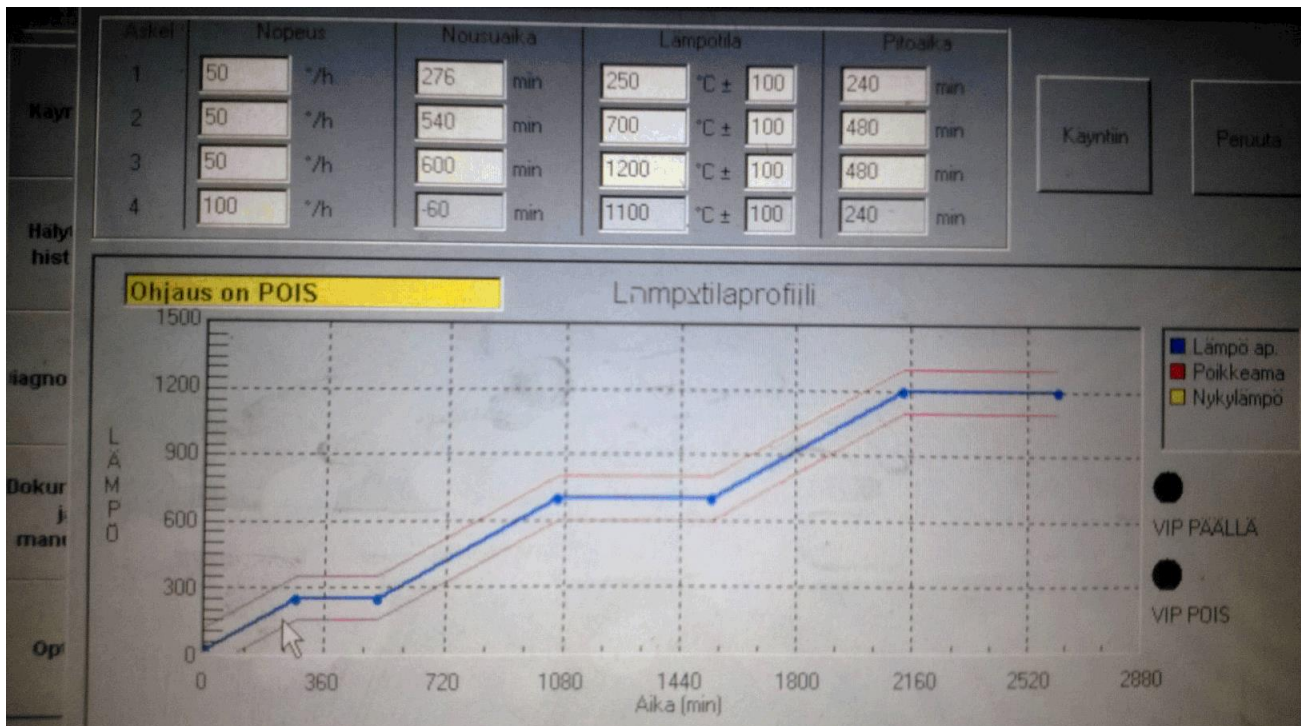
Vuorauksen elinikää parantaessa on olennaista, että vuoraukseen kohdistuvia rasituksia vähennetään. Toimeksiantajan vuoraukseen kohdistuu lämpölaajenemisen eli termisen rasituksen lisäksi mekaanista rasitusta, joka syntyy uunin panostuksesta. Uunin panostuksessa on tärkeää, että panostaa varovaisesti sekä panoksessa käytettävä romun koko ei ole liian suurta, jotta vuoraukseen kohdistuisi mahdollisimman vähän mekaanista kuormitusta.

Tutkimuksessa oli tavoitteena selvittää, kuinka uunin kunnossapito tulisi toteuttaa. Uunin vuorausmassojen valmistajalla ei ole omia suosituksia, kuinka usein uuni tulisi huoltaa. Uunin vuorauksen kunnonvalvonta on uunin huollossa kuitenkin olennaisessa osassa. Finkin (2018) mukaan uunin vuorauksen paikallinen korjaaminen pidentää vuorauksen elinikää, koska vuorauksessa alkanut halkeama kuluu nopeasti sulatuksen aikana. Ison halkeaman takia koko uunin vuoraus joudutaan uusimaan. Ison halkeaman kohdalta on myös sulan tunkeutumiswaara, josta voi aiheutua henkilö- tai materiaalivahinkoja. Uunin vuorauksen eliniän kasvattamisen näkökulmasta uunin vuoraus tulisi tarkastaa silmämääräisesti joka sulatuksen jälkeen. Silloin voidaan reagoida ajoissa halkeamiin ja korjata ne siihen tarkoitettulla korjausmassalla, joka pidentää vuorauksen elinikää.

Tutkimuksen tuloksien pohjalta päivitettiin vuorausprosessin työohjeistusta, johon ei kuulu ylärenkaan työohje. Ylärenkaan valamisesta tehty työohje on validi, joten se ei tarvitse päivitystä. Uudessa työohjeessa käydään läpi, kuinka vuorausprosessi tulisi toteuttaa tutkimuksen tuloksien perusteella. Päivitetty työohje on laadittu hyvän työohjeen mukaiseksi. Hyvässä ja selkeässä työohjeessa kiinnitetään huomiota esimerkiksi asioiden ilmaisumuotoon. Työohjeita selkeyttämään on lisätty kuvia työvaiheista ja työvaiheet on kirjattu käskymuotoon.

Työohjeistuksen sisältöön suurimmat muutokset tehtiin sintrauskäyrään ja tärytysaikaan.

Työohjeessa sintrauksen kohdalla oli vanha sintrauskäyrä, jossa oli kolme porrasta (Ks. Kuvio 24.). Vanhassa sintrausohjelmassa lämpötilaa pidettiin ensin 250 asteessa 240 minuuttia, jonka jälkeen lämpötila nostettiin 700 ja 1200 asteeseen, joissa lämpötilaa pidettiin 480 astetta. Päivitetystä työohjeesta on uusi sintrauskäyrä, joka on kuvion 18 mukainen. Sulatus voidaan aloittaa, kun panoksen lämpötila on 1200 astetta ja yläosan lämpötila on yli 900 astetta.



Kuvio 24. Vanha sintrauskäyrä

Vanhassa työohjeessa vuorauksen tärytys aika on 5 minuuttia/10 cm, jonka mukaan tärytys on tehty. Tämä tärytysaika voi johtaa vuorauksen ylitiivistymiseen, joka voi aiheuttaa ylikovettumista. Uusi tärytys ohje on 2 minuuttia/10 cm.

13 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka sulatusuunin vuorauksen elinikää voitaisiin pidentää sekä mitkä asiat siihen vaikuttavat. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös päivittää työohjeet uuninvuorausprosessista tutkimuksen tulosten mukaisiksi. Uunin vuorausprosessista voidaan havaita vuorauksen eliniän kannalta olennaisia kehityskohteita, joita kehittämällä

saavutetaan tutkimuksen tavoitteet. Tutkimuksen päätavoitteena oli kehittää vuorausprosessia, että vuorauksen elinikää saadaan kasvatettua.

Tutkimusta tehdessä on noudatettu tutkimuksen eettisiä periaatteita, joita ovat tutkittavien ihmisten ihmisarvon kunnioittaminen, yksityisyys ja itsemääräämisoikeus (Vuori N.d.).

Tutkimukseen osallistuneille henkilöille on etukäteen ilmoitettu mihin tutkimustuloksia käytetään ja kuka tutkimuksen toteuttaa. Tutkimuksen haastatteluun ja havainnointiin osallistuneet henkilöt käsitellään työssä anonyyminä, jotta henkilöiden yksityisyys säilyy. Kaikki tutkimuksessa olevat materiaalit on käsitelty kemiallisen koostumuksen perusteella toimeksiantajan kilpailukyvyn säilyttämiseksi ja materiaalien valmistajien suojan vuoksi.

Tutkimuksen tuloksista ilmeni kehityskohtia, joilla on vaikutusta uunin vuorauksen elinikään. Näitä tuloksia ei ole kuitenkaan testattu käytännössä, joten tutkimusten tuloksista toimivuudesta ei ole vielä varmuutta. Tuloksien käytäntöön vieminen tapahtuu tutkimuksen jälkeen ajallisten haasteiden vuoksi. Tutkimuksen tuloksien vaikutukset pitää varmistaa seuraamalla, kuinka monta sulatusta yhdellä vuorauksella saadaan tehtyä ja vertaamalla sitä aiempiin sulatusmääriin. Tätä voidaan pitää tutkimuksen jatkotoimenpiteenä.

Tutkimuksen luotettavuutta on pyritty parantamaan huomioimalla etukäteen luotettavuutta lisäävät ja heikentävät tekijät. Tutkimuksessa on käytetty paljon erilaisia lähteitä, joka yleisesti parantaa tutkimuksen luotettavuutta. Lähteiden valinnassa on käytetty lähdekriittisyyttä, mutta osa lähteistä on vanhoja, joka luo luotettavuusuhan. Tulosten luotettavuuden kannalta lähteiden luotettavia ja paikkansa pitäviä. Yhtenä lähteenä on käytetty asiantuntijoiden haastattelua, joka voi vähentää tutkimuksen luotettavuutta, jos asiantuntijalla ei itsellään ole asiasta riittävää kokemusta. Tässä työssä asiantuntijana toimi silikamassan valmistajan maahantuoja, jolla on henkilökohtaista kokemusta uunin vuorausmassoista. Kuitenkin materiaalin toimittaja perustaa omat tietonsa materiaalin valmistajien tietoihin, eli toisen käden tietoihin. Toisen käden tiedoissa on aina luotettavuusuhka.

Tutkimuksessa aineistoa kerättiin havainnoimalla nykyistä toimintaa. Nykytilan kartoitus tapahtui osallistuvalla havainnoinnilla. Osallistuvassa havainnoinnissa on tärkeää huomioida oma vaikutus tutkimukseen ja omat ennakkokäsitykset. Tutkimuksen nykytila on kartoitettu kahdella eri

havainnointi kerralla, jotta tutkimuksen luotettavuus parantuisi. Kuitenkin havainnointi kertoja olisi voinut olla enemmän, koska tutkimusaihe oli aluksi tuntematon, joten aiheen sisäistämiseen kului aikaa. Havainnointi on subjektiivista ja valikoivaa toimintaa, jotka vaikuttavat tutkimuksen tuloksiin. Tutkimuksen luotettavuuden näkökulmasta havainnointi voi heikentää sitä.

Havainnointia tehdessä on tärkeää, että toiminta pysyy normaalina. Kuitenkin on yleistä, että havainnointi tilanteessa tutkijan läsnäolo häiritsee tutkittavaa tilannetta tai muuttaa sitä (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Tämän takia havainnoimalla kerätty aineisto ei välttämättä täysin kuvaa nykytilaa.

Uunin vuorauksen keston kannalta tulevaisuudessa olennaista olisi tutkia esimerkiksi tuotannon kuormitusta. Kuinka uuneja kuormitetaan ja monessako vuorossa töitä tehdään. Tällä hetkellä töitä tehdään yhdessä vuorossa, jolloin uuni jäähtyy ja kuumenee jatkuvasti. Tämä vaikuttaa olennaisesti uunin vuoraukseen, koska se aiheuttaa jännityksiä vuoraukseen. Aikaisemmin toimeksiantaja on tehty kolmessa vuorossa töitä, jolloin uunien vuorauksen eliniässä ei ole ollut ongelmia. Kuitenkin tuotantomäärät eivät ole tällä hetkellä niin isoja, että täytyisi tehdä kolmessa vuorossa. Kustannuksellisesti ei ole tällä hetkellä järkevää tehdä kolmea vuoroa, mutta tulevaisuudessa se voi olla mahdollista.

Tutkimuksesta oli rajattu pois toisten vuorausmateriaalien tutkiminen. Kuitenkin vuorauksen eliniän kannalta tärkeää on, että vuorausmassa on oikea. Jatkotutkimuksia voisi tehdä erilaisesta uunin vuorausmassasta, joka sopisi uunien nykyiselle käyttöasteelle. Massojen valmistaja suosittelee nykyään poltettua silikamassaa, jolla on huomattavasti pienempi lämpölaajeneminen normaaliin silikamassaan verrattuna. Silloin lämpölaajenemisesta syntyvät rasitukset olisivat pienempiä. Kyseinen massa on kuitenkin huomattavasti hintavampaa. Tämän massan hinta-laatusuhdetta voitaisiin tutkia ja saataisiinko sillä kuinka paljon vuorauksen elinikää nostettua.

Lähteet

Aaltola, J. & Valli, R. 2015. Ikkunoita tutkimusmetodeihin: 1, Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. 4. uud. ja täyd. p. Jyväskylä: PS-kustannus.

Ajersch, M. Lalli, G. & Boulet, B. 2003. Modeling and Control of an Electric Arc Furnace. McGill University tutkimus. Viitattu 15.2.2022. http://www.cim.mcgill.ca/~ialab/ev/TM18-4_as_published.pdf

Autere, E., Ingman, Y. & Tennilä, P. 1982. Valimotekniikka. Insinööritieto.

Dötsch, E. 2019. Inductive melting and holding. 3. p. Essen: Vulkan Verlag

Dötsch, E. 2011. Refractory Demands on Inductive Melting of Cast Iron. Technology trends artikkeli. Viitattu 1.5.2022. https://www.refractories-worldforum.com/php/paper_download.php?article_id=100118&hash=68af161f8c

Erbacher, J. 2019. Technologies of Melting Furnaces in Foundries. Viitattu 23.2.2022. <https://www.spotlightmetal.com/technologies-of-melting-furnaces-in-foundries-a-873057/>

Fink, C. 2018. Maximizing Lining Life and Coil Life. Foundry Management & Technology artikkeli. Viitattu 23.3.2022. <https://www.foundrymag.com/melt-pour/article/21931780/maximizing-lining-life-and-coil-life>

Fink, C. 2005. Modern Induction Melting Improves Process and Productivity. Foundry Management & Technology artikkeli. Viitattu 24.3.2022. <https://www.foundrymag.com/issues-and-ideas/article/21927110/modern-induction-melting-improves-process-and-productivity>

Heikkinen, E. 2022. Tulenkestävät materiaalit. Koulutusmateriaali. Oulun yliopisto / Luulajan teknillinen yliopisto.

Heikkinen, E. 2015. Tulenkestävät materiaalit pyrometallurgisissa prosesseissa. Oulun yliopiston koulutusmateriaali. Viitattu 5.4.2022. <https://docplayer.fi/8511829-Tulenkestavat-materiaalit-pyrometallurgisissa-prosesseissa.html>

Ihalainen, E. 2011. Valmistustekniikka. 14. p. Helsinki: Otatieto.

Kananen, J. 2014. Laadullinen tutkimus opinnäytetyönä: Miten kirjoitan kvalitatiivisen opinnäytetyön vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, J. 2008. Kvali: Kvalitatiivisen tutkimuksen teoria ja käytänteet. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Keskinen, R. & Niemi, P. 2011. Valuatlas – Induktiouunit. Viitattu 3.2.2022. <https://www.valuatlas.fi/tietoaineistot/valumetallien-sulatus/induktiouunit/>.

- Keskinen, R. & Niemi, P. 2011. Valuatlas – sulattamisen periaate. Viitattu 3.2.2022. <https://www.valuatlas.fi/tietoaineistot/valumetallien-sulatus/sulattamisen-periaate/>.
- Keskinen, R. & Niemi, P. 2011. Valuatlas – tulen kestävät aineet. Viitattu 1.2.2022. <https://www.valuatlas.fi/tietoaineistot/valumetallien-sulatus/tulenkestavat-aineet/>.
- Levander, J. 2019. Uunin vuorauksen oikea valmistus ja käyttö lisäävät vuorauksen kestoa (jopa 50%). Luentomateriaali Suomen Valimoteknisen Yhdistyksen opintopäiviltä.
- Makkonen, S. & Lavikainen, P. 2020. Työohjeet apuna asiantuntijatyössä. LAB Pro. Viitattu 19.4.2022. <https://www.labopen.fi/lab-pro/tyoohjeet-apuna-asiantuntijatyossa/>
- Meskanen, S. N.d. Valuatlas - Mitä valaminen on. Viitattu 31.1.2022. https://www.valuatlas.fi/wp-content/uploads/2021/12/vtp_johd_johdanto.pdf.
- Meskanen, S. & Niini, E. N.d. Valuatlas - Valuraudat. Viitattu 7.2.2022. https://www.valuatlas.fi/wp-content/uploads/2021/10/vtp_mat_valuraudat.pdf
- MET, Metalliteollisuuden keskusliitto & Silvennoinen, S. 2001. Raaka-ainekäsikirja: 2, Valuraudat ja valuteräkset. 2. uud. p. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.
- Ohjeita ohjeiden tekijöille. N.d. Kotimaisten kielten keskus. Viitattu 19.4.2022. https://www.kotus.fi/ohjeet/hyvan_virkakielen_ohjeita/millaisia_ovat_toimivat_ohjeet_ja_kysymykset/ohjeita_ohjeiden_tekijoille
- Push-Out Lining System. N.d. EMSCOn kotisivut. Viitattu 24.3.2022. <https://www.emsco.com/products/push-out-lining-system/>
- Rautpohjan teollisuus perintökohteet. N.d. Valmetin Rautpohjan tehtaan historia. Viitattu 31.1.2022. <https://valmet.sharepoint.com/sites/location-juvaskyla/Shared%20Documents/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2Flocation%2Djuvaskyla%2FShared%20Documents%2FRautpohjan%2Dtehdasmuseo%2Fteollisuusperintokohteet%20%2Desite%20A5%20FIN%2Epdf&parent=%2Fsites%2Flocation%2Djuvaskyla%2FShared%20Documents%2FRautpohjan%2Dtehdasmuseo>.
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. Avoin haastattelu. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 31.3.2022. https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_1.html
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. Avoin haastattelu. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 23.5.2022. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/viittausohje.html>
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. Koodaus. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 31.3.2022. https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L7_2_2.html

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. Osallistuva havainnointi. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 31.3.2022. https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_4_2.html

Silicon dioxide. N.d. National Institute of health ylläpitämä Pubchem-verkkosivut. Viitattu 15.2.2022. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Silicon-dioxide>

Tabatabaei, E. & Turner, R. 2009. Molten Metal Splash and Furnace Refractory Safety. Viitattu 5.4.2022. <https://www.foundrymag.com/melt-pour/article/21927633/molten-metal-splash-and-furnace-refractory-safety>

Tabatabaei, E. & Turner, R. 2009. Molten Metal Splash and Furnace Refractory Safety (part 2). Viitattu 23.2.2022. <https://www.foundrymag.com/melt-pour/article/21928460/molten-metal-splash-and-furnace-refractory-safety-part-2>

Valut ja valaminen. N.d. Valmistajat-kotisivut. Viitattu 31.1.2022. <https://valmistajat.fi/menetelmat/valu/valut-ja-valaminen>.

Vuosikatsaus 2020. 2020. Valmetin vuosikatsaus 2020. Viitattu 31.1.2022. <https://www.valmet.com/globalassets/investors/reports--presentations/annual-reports/2020/valmet-vuosikatsaus-2020-fi.pdf>.

Vuori, J. N.d. Tapaustutkimus. Tietoaarkisto-verkkosivut. Viitattu 15.2.2022. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/tapaustutkimus/>

Vuori, J. N.d. Tutkimusetiikka ihmistieteissä. Tietoaarkisto-verkkosivut. Viitattu 23.5.2022. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusetiikka/tutkimusetiikka-ihmistieteissa/>

Liitteet

Liite 1. Vuorausprosessin työohje (salassa pidettävä)

Poistettu julkisesta versiosta.

Poistettu julkisesta versiosta.

Poistettu julkisesta versiosta.

Poistettu julkisesta versiosta.

Poistettu julkisesta versiosta.

Poistettu julkisesta versiosta.

Poistettu julkisesta versiosta.

Poistettu julkisesta versiosta.