



**POTENTIALISTEN UUSIEN
KONTROLLIPISTEIDEN
ESIKARTOITUS
TERÄSVALIMOLLA**

Ilkka Pajari

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

ILKKA PAJARI:

Potentiaalisten uusien kontrollipisteiden esikartoitus teräsvalimolla

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 21 sivua
Huhtikuu 2014

Työn tavoitteena oli kartoittaa valimon prosessista mahdollisia uusia kontrollipisteitä. Kontrollipisteillä haluttiin vakioida ja valvoa prosessia mahdollisten laatupoikkeamien osalta.

Kartoitus toteutettiin vapaamuotoisella menetelmällä, ja se perustui valimon henkilökunnan konsultointiin. Prosessien osalta kartoituksen laajuus rajattiin tuotannon prosesseihin. Kartoitus aloitettiin järjestämällä aivoriihipalavereja, joissa listattiin laatupoikkeamia aiheuttavia muuttujia jokaisesta prosessin vaiheesta. Tarkastelussa edettiin tarkoitusta varten laadittujen prosessikaavioiden mukaisesti. Kunkin listatun muuttujan aiheuttamien laatupoikkeamien vakavuutta ja esiintymistodennäköisyyttä arvioitiin numeroarvosanoin, ennalta laadittujen kriteeriasteikkojen mukaisesti. Näin saatujen kontrollipiste-ehdotusten joukosta karsittiin numeroarvosanoihin perustuvilla karsintakriteereillä 29 kontrollipiste-ehdotusta, joita tarkasteltiin tarkemmin haastattelemalla osastohenkilökuntaa vapaamuotoisesti.

Kustakin karsiutuneesta kontrollipiste-ehdotuksesta kirjoitettiin haastattelujen pohjalta vapaamuotoiset selostukset, joissa otettiin kantaa kontrolloinnin tarpeellisuuteen ja sen suorittamisen edellytyksiin. Työssä ei voitu esikartoituslaajuuden puitteissa tehdä lopullista selvitystä kontrollointimenetelmistä tai kontrolloinnin kannattavuudesta. Haastattelujen perusteella voitiin kuitenkin monesti joko perustella kontrolloimisen tarpeellisuutta tai sulkea pois tarve kontrolloinnin lisätoimenpiteisiin.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Modern Production Systems

ILKKA PAJARI:

Determining Potential New Process Control Points in a Steel Foundry
A Preliminary Survey

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 21 pages
April 2014

The objective of this thesis was to survey potential new process control points in the process of a steel foundry. The main requirement for these control points was to reduce variability in the process and monitor the process for possible defects.

The survey was based on consultation with the foundry employees. Regarding the processes, the scope of the survey was narrowed down to the manufacturing process. Determining the potential control points started with listing process input variables that could potentially cause significant quality deviations. This was done in brainstorming meetings with the help of flow charts created for the purpose. The severity and frequency of occurrence of each of these quality deviations were evaluated with ranking numbers, based on predefined evaluation criteria. Out of all the listed control point suggestions, a small group was prioritised for more thorough review. The prioritisation was based on the ranking numbers.

The foundry employees were further interviewed about the prioritised control point suggestions. Based on the interviews, brief descriptions were written of each of the prioritised control point suggestions. The descriptions focused on the need for and feasibility of further control of the variance. Within the scope of the preliminary survey, it was not possible to give final and concrete suggestions for the control methods or the feasibility of further actions. In most of the cases, however, the need for further control measures could be either justified or ruled out.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LOKOMO STEEL FOUNDRY	7
3	LOKOMO STEEL FOUNDRYN TUOTANTOPROSESSI	8
3.1	Sulatto	9
3.1.1	Raaka-aineet ja panoksen valmistelu	9
3.1.2	Sulatus	10
3.1.3	Konvertterikäsitteily.....	12
3.1.4	Senkkäkäsitteily	13
3.1.5	Valu	14
3.1.6	Senkkojen huolto.....	15
3.2	Kaavaamo	16
3.2.1	Kaavaushiekat ja niiden käsitteily.....	16
3.2.2	Mallit ja keernalaatikot	16
3.2.3	Muotin- ja keernanvalmistus.....	17
3.3	Puhdistamo.....	18
3.4	Koneistus	20
4	KARTOITUSMENETELMÄ	21
4.1	Menetelmän valinnan lähtökohdat.....	21
4.2	Kartoituksen rajaus tuotteiden ja prosessin osalta	21
4.3	Prosessikaaviot.....	22
4.4	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).....	22
4.5	Prosessissa esiintyvä vaihtelu	23
4.6	Aivoriihet ja kartoituksen toteutus.....	24
4.7	Numeroarviointiasteikot	25
4.8	Kontrolliehdotusten karsinta numeroarvosanojen perusteella	27
4.9	Karsittujen kontrolliehdotusten jatkotarkastelu	28
4.10	Menetelmän rajoitukset ja ongelmat.....	28
4.10.1	Tarkastelun laajuuden ja perusteellisuuden ongelma aivoriihi- ja numeroarviointiosuudessa	29
4.10.2	Arvioinnin subjektiivisuus ja tiedon puute	29
4.11	Vaihtoehtoina harkitut kartoitusmenetelmät.....	30
5	TULOKSET	31
5.1	Aivoriihi- ja numeroarviointivaiheen tulokset.....	31
5.2	Karsiutuneiden kontrolliehdotusten jatkotarkastelu	32
5.2.1	Tiedonkulun virheet valumateriaalin ja valupainon osalta	32
5.2.2	Ostorumun radioaktiivisuus	34

5.2.3	Valusenkan vuorauksen metalliset kontaminaatiot.....	35
5.2.4	Tiivistysainelangan syöttö ja tiivistysjärjestys senkkakäsittelyssä	36
5.2.5	Valusenkan kohdistustarkkuus.....	36
5.2.6	Valusuihkun turbulentsisuus	36
5.2.7	Sulan laskunopeus.....	37
5.2.8	Avosyöttökupujen suojaus valupulverilla.....	38
5.2.9	Malligeometrian oikeellisuus	38
5.2.10	Mallien ja keernalaatikoiden rakenne	39
5.2.11	Hiekan sullonta.....	39
5.2.12	Irtosloovarien jäykkyys.....	40
5.2.13	Pullakaavauslinjan valupohjien tasomaisuus	40
5.2.14	Kehättömien muottien seinämänvahvuudet	41
5.2.15	Keernojen paikoitus	42
5.2.16	Keernalaatikoiden välysten tarkastus	42
5.2.17	Keernalaatikoiden irto-osien asettelu.....	42
5.2.18	Oikea hiekan tyyppi keernanvalmistuksessa.....	43
5.2.19	Hiekan pölypitoisuus mikserillä.....	43
6	POHDINTA.....	45
	LÄHTEET.....	46
	LIITTEET	48
	Liite 1. Prosessikaaviot, Sulatto	48
	Liite 2. Prosessikaaviot, Kaavaamo	52
	Liite 3. Siilokaavio	55
	Liite 4. Prosessikaaviot, Puhdistamo.....	55
	Liite 5. Prosessikaaviot, Koneistus.....	58
	Liite 6. Process FMEA Form B.....	59
	Liite 7. Sulaton aivoriihien tulokset	60
	Liite 8. Kaavaamon aivoriihien tulokset	62
	Liite 9. Puhdistamon aivoriihien tulokset.....	64
	Liite 10. Koneistuksen aivoriihien tulokset.....	66
	Liite 11. Arvosanojen perusteella karsitut kontrolliehdotukset.....	67

1 JOHDANTO

Työn taustalla oli tarve kehittää valimon laadunvalvontajärjestelmää. Valimon prosessista haluttiin määrittää oleellisia mittapisteitä tai muita kontrollipisteitä, joita kontrolloimalla lopputuotteen laatua voitaisiin vakioida laatupoikkeamien osalta. Toisin sanoen haluttiin selvittää, voitaisiinko tuotannosta määrittää nykyisten lisäksi pisteitä, joissa esiintyvää vaihtelua kontrolloimalla tai valvomalla voitaisiin varmistua siitä, että tuote täyttää sille määrättyt vaatimukset. Lopputuotteen laatu poikkeamatapauksissa voitaisiin lisäksi mahdollisesti jäljittää, missä poikkeamat ovat syntyneet. Mittapisteiden lukumäärä haluttiin kuitenkin pitää mahdollisimman pienenä. Mahdollisten mittapisteiden valintaa haluttiin täten perustella huolellisesti.

Prosessinvalvonnan lisäämistarpeen taustalla olivat myös joidenkin asiakkaiden toiveet valun toimittajiensa entistä kattavammasta prosessinvalvonnasta.

Koska työn tavoitteet olivat hyvin kunnianhimoisia yrityksessä entuudestaan työskentelemättömälle työntekijälle opinnäytetyön laajuudessa, oli työtä laajuus tarkoitus rajata jollain tapaa esikartoituslaajuuteen. Kartoitus toteutettiin yhdessä valimon henkilökunnan kanssa pohjautuen henkilökunnan konsultointiin sekä olemassa olevaan tietoon. Prosessin kuvaus ja prosessiin perehtyminen olivat myös merkittävä osa työtä.

Haluan kiittää valimon työntekijöitä avusta ja tuesta työn tekemisessä.

2 LOKOMO STEEL FOUNDRY

Pitkät perinteet omaava Lokomo Steel Foundry on yksi johtavista teräsvalujen toimittajista vaativiin sovelluksiin. Tyypillisiä Lokomo Steel Foundryn tuotteita ovat vesivoimaturbiinien siivet, Steckel-valssainten kelainrummut, laivan potkurijärjestelmien runkosalut ja potkurit, kivenmurskainten kulutusosat, puunjalostuskoneiden komponentit ja venttiilivalut (kuva 2). Valimon sijaitsee Tampereella samalla tehdasalueella Metso Mineralsin Tampereen murskaintuotannon kanssa (kuva 1).



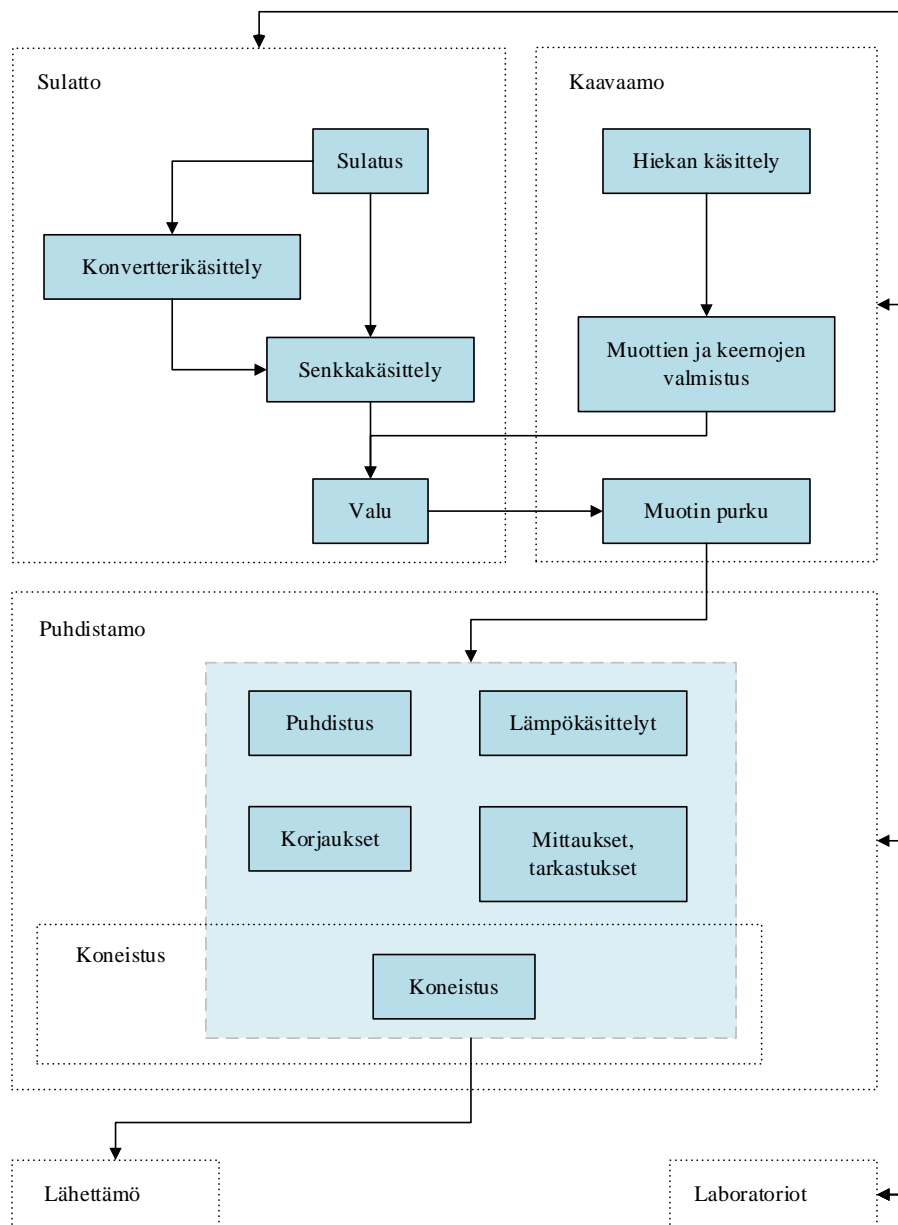
KUVA 1. Metso Mineralsin Tampereen tehdasalue (Metso Minerals 2014)



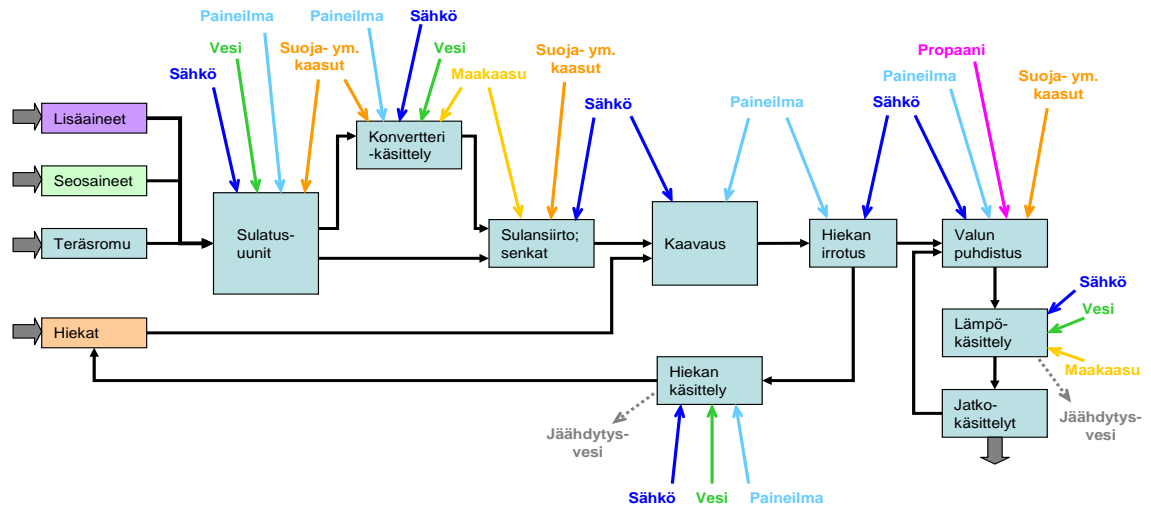
KUVA 2. Esimerkkejä Lokomo Steel Foundryn valmistamista tuotteista (Metso Minerals 2014)

3 LOKOMO STEEL FOUNDRYN TUOTANTOPROSESSI

Lokomo Steel Foundrylla tuotantoprosessi etenee raaka-aineiden sulatuksesta tuotekoh- taisten työvaiheiden kautta valmiiksi tuotteeksi tai valuaihioksi. Raakavalulle tehdään puhdistustyövaiheiden lisäksi, tuotteen vaatimuksista riippuen, erilaisia lämpökäsittely- jä, koneistusta, testauksia, mittauksia sekä pintakäsittelyjä. Osa valun jälkeisistä työvai- heista voidaan tehdä alihankintana. Kuviossa 1 on esitetty pelkistetysti valimon tuotan- toprosessin vaiheita tuotanto-osastoittain jaoteltuna. Tuotantoprosessin raaka-aineiden kulkua ja energiankäyttöä on havainnollistettu kuviossa 2 (Metso Minerals 2012).



KUVIO 1. Valimon tuotantoprosessin vaiheita tuotannon osastoittain



KUVIO 2. Valimon tuotantoprosessi tarkasteltuna raaka-aineiden ja energiankäytön osalta (Metso Minerals 2012)

3.1 Sulatto

Sulaton tuotantoprosessin kulku on esitetty prosessikaaviona liitteessä 1. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan sulaton tuotantoprosessia tarkemmin.

3.1.1 Raaka-aineet ja panoksen valmistelu

Lokomo Steel Foundryn valumateriaalien vakiovalikoimaan kuuluvat martensiittiset ja austeniittiset ruostumattomat teräkset, ruostumattomat duplex-teräkset, hiiliteräkset, HSLA-teräkset¹, tulenkestävät teräkset sekä kulutuskestävät austeniittiset mangaaniteräkset.

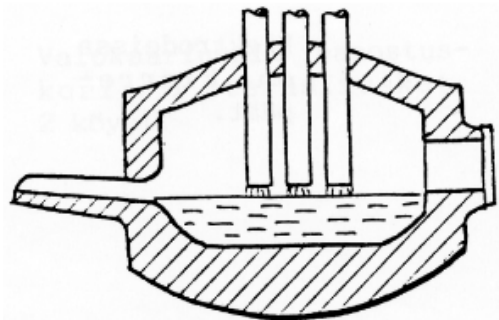
Sulatuksen pääraaka-aineena käytetään osto- ja kiertoromua. Sulan seos-, lisä- ja apuaineita lisätään sekä kaupallisesti puhtaina alkuaineina että erilaisina yhdisteinä. Ostoromuna käytetään romuntoimittajien laatuluokitusten mukaista teräsromua. Osa romusta saadaan kiertoromuna omasta tuotannosta, jolloin sen koostumus tiedetään tarkasti. Kiertoromua saadaan valukkeista, ylijäämäsulasta, hylätyistä kappaleista, koneistuslastusta sekä asiakkailta takaisin ostetuista käytetyistä kulutusosista.

¹high-strength low-alloy steel – suurlujuuksinen matalaseosteinen teräs

Sulatuksen panosresepti lasketaan käytettävissä olevan romun mukaan. Romu säilytetään lajiteltuna tai merkittynä, mutta tarvittaessa koostumus voidaan selvittää kannettavalla, käsikäyttöisellä emissiospektrometrillä. Panokseen tulevat romuerät sekä seos- ja lisäaineet punnitaan, ja panos kasataan pohjasta avattaviin panostusastioihin. Panoksia ei esilämmitetä, mutta panostusastiat pyritään täyttämään niin, että mahdollinen vesi tai lumi ehtii kuivua panoksista niiden odottaessa sulatusta. Romu myös säilytetään pääosin katetuissa tiloissa.

3.1.2 Sulatus

Sulatolla on käytössä kaksi 4 megawatin valokaariuunia, jotka ovat vetoisuuksiltaan 16 ja 17 tonnia. Valimolla on myös 3,2 tonnin induktioupokasuuni, mutta sitä käytetään erittäin harvoin. Valokaariuunin toimintaperiaate on esitetty kuviossa 3. Valokaariuuni on nk. Heroult-tyyppiä, jossa valokaari palaa kolmen grafiittielektrodin ja teräsphanoksen välillä.



KUVIO 3. Valokaariuunin toimintaperiaate (Keskinen & Niemi 2011a, 2)

Valokaariuunien tulenkestäväänä vuorausmateriaalina käytetään dolomiittitiiliä. Vuoraus kestää olosuhteista riippuen noin 70 sulatuskertaa, jonka jälkeen se on uusittava. Uunin vuoraukseen jää aina edellisen sulatuksen jäljiltä pieni määrä sulaa, josta voi liueta raja-arvot ylittäviä määriä seosaineita seuraavaan sulatuslaatuun. Tämän vuoksi sulaerät valmistetaan tietyssä sulatusjärjestyksessä seostuksen mukaan. Sulatusten välillä uuneja pidetään kuumana ja kuivana maakaasulämmityksellä.

Pelkkä raaka-aineiden sulatus harvoin riittää haluttuihin sulan ominaisuuksiin. Sulalle voidaan tehdä erilaisia sulankäsittelytoimenpiteitä tapauskohtaisesti. Teräkselle tehtävillä sulankäsittelytoimenpiteillä voidaan muun muassa:

- tarkentaa sulan analyysiä
- vähentää ei-toivottuja seos- tai epäpuhtausaineita
- alentaa sulan kaasu- ja sulkeumapitoisuutta
- vaikuttaa teräksen kide- ja mikrorakenteeseen
- pienentää teräksen raekokoa.

(Meskanen & Höök, 1.)

Lokomo Steel Foundrylla teräkselle pyritään tekemään valokaariuuneissa vain sulatus ja analyysin tarkennus. Muut sulankäsittelyt tehdään valimon VODC-konvertterissa ja senkka-asemalla. Konvertteri- ja senkkäkäsittelyjä käsitellään seuraavissa luvuissa, ja ne on kuvattu erikseen liitteen 1 prosessikaavioissa. Erikoistapauksissa, kuten konvertterin huollon aikana on valokaariuuneissa mahdollista tehdä jossain määrin myös muita sulankäsittelyjä. Sulatusuuneilla on myös käsikäyttöiset happilanssit, joilla sulaa on mahdollista mellottaa.

Yhteen sulatukseen lasketaan tyypillisesti noin 2–3 romupanosta uunia kohti riippuen panoksen koostumuksesta ja sulaerän koosta. Seosaineiden lisäysajankohdat sulattoprosessin aikana riippuvat niiden hapettumistaipumuksista (Keskinen & Niemi 2011c, 5). Vähemmän hapettumiselle alttiit seosaineet voidaan lisätä uuniin jo sulatusvaiheessa, kun taas herkemmin hapettuvat seosaineet lisätään sulaan vasta konvertterikäsitelyn loppuvaiheessa tai senkka-asemalla tehtävän tiivistyksen loppuvaiheessa.

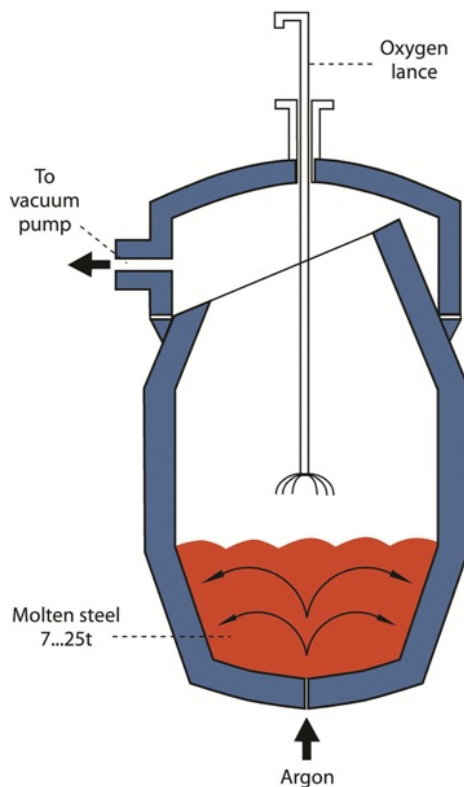
Sulasta otetaan sulaton prosessin aikana näytteitä, joilla ohjataan valmistusprosessia sekä todistetaan valmiin tuotteen koostumus. Näytteet otetaan sulasta kauhalla ja valetaan kokilliin. Näytteestä leikataan ja hiotaan laboratoriossa koepala, josta tehdään seosanalyysi emissiospektrometrillä. Prosessi kestää kokonaisuudessaan noin 15 minuuttia. Sulatusvaiheessa sulan analyysiä on yleensä tarpeen tarkentaa useamman kerran, pääsääntöisesti noin 1–2 kertaa. Sulan lämpötilaa mitataan sulattoprosessin eri vaiheissa sulaan upotettavalla lämpömittarilla.

Sulatuksen jälkeen sula siirretään joko konvertteriin tai suoraan senkka-asemalle, mikäli valmistetaan mangaaniteräksiä, joissa konvertterikäsitelyä ei tarvita. Konvertterille

menevä teräs kaadetaan uunista kaatosenkkaan, josta se kaadetaan konvertteriin. Senka-
 aka-asmalle menevät mangaaniteräkset kaadetaan uunista suoraan pohjavalusenkkaan.

3.1.3 Konvertterikäsittely

Lokomo Steel Foundrylla sulankäsittelyt tehdään pääosin VODC-konvertterissa (Vacuum Oxygen Decarburization Converter). VODC-konvertterissa sulan käsittelyyn käytetään tyhjiötä sekä happi- ja argonpuhallusta (kuvio 4). Käsittelyllä lasketaan sulan hiili-, kaasu- ja epäpuhtauspitoisuuksia, sekä parannetaan sulan sulkeumapuhtautta. Konvertterissa voidaan käsitellä maksimissaan 25 tonnia sulaa kerralla.



KUVIO 4. VODC-konvertterin toimintaperiaate (Metso Minerals 2014)

Kuviossa 4 on esitelty VODC-konvertterin toimintaperiaatetta. Sulaan puhalletaan konvertterin pohjasta argonkaasua. Argonpuhallus sekoittaa sulaa, lisää sulan reaktiopinta-
 alaa ja edistää kuonansulkeumien nousemista sulan pinnalle (Meskanen & Toivonen, 55). Sulasta poltetaan hiiltä puhaltamalla sulan pinnalle happea. Hiilipitoisuutta lasketaan edelleen pumppaamalla konvertteriin tyhjiö, joka laskee hiilidioksidikaasun osapainetta (Ghosh 2000, 178). Tyhjiön pumppaus aloitetaan vesirengaspumpulla, ja lopullinen

syvätyhjiö pumpataan höyryejektoreilla, joita voidaan käynnistää yksitellen käsittelyn eri vaiheissa alipaineen säätämiseksi.

Konvertterikäsittelyn vaiheita on kuvattu prosessikaaviossa liitteen 1 toisella sivulla. Alipaineen pumppaus aloitetaan heti konvertterikäsittelyn alkaessa. Happipuhallus aloitetaan, kun paine alittaa 0,8 baria. Happipuhalluksen alkuvaiheessa paine pidetään alle 400 millibarissa. Hiilen palamista seurataan konvertterista savukaasujen analysointilaitteella. Hiilipitoisuuden laskiessa painetta lasketaan edelleen, ja happipuhalluksen päätyttyä konvertteriin pumpataan lopullinen, alle 0,5 millibarin syvätyhjiö. Syvätyhjiötä pidetään tavoitellusta hiilipitoisuudesta riippuen 2–15 min. Happimellotusvaiheen päätyttyä konvertteri ilmastetaan, sulasta mitataan lämpötila ja tehdään seosanalyysi.

Korkeaseosteisille teräksille tehdään hapetus-tyhjiökäsittelyn jälkeen pelkistyskäsittely, jossa oksideiksi hapettuneita seosaineita, kuten kromia, pelkistetään takaisin sulaan alumiinilla ja ferropiillä. Sulan jäähtymistä konvertterikäsittelyn aikana voidaan kompensoida eksotermisellä reaktiolla polttamalla sulassa ylimääräistä alumiinia. Lämpöä syntyy myös hiilen palamisesta happimellotuksessa. Polttoalumiini lisätään pelkistyksen yhteydessä ja poltetaan happipuhalluksella. Happipuhallus suoritetaan happimellotusvaiheen tavoin alipaineessa, ja pelkistysvaiheen loppuksi konvertterissa pidetään lyhyt, noin 5 minuutin syvätyhjiö. Pelkistysvaiheen päätyttyä sulasta mitataan lämpötila, ja tehdään seosanalyysi.

Konvertterissa sulaa voidaan vielä jäädyttää argonhuuhtelulla ennen senkkäkäsittelyä. Konvertterikäsittelyn päätteeksi sula kaadetaan konvertterista valusenkkään, jossa se siirretään senkka-asemalle senkkäkäsittelyyn. Sulan pinnalle laitetaan vermikuliittia eristämään ja suojaamaan sulan pintaa.

3.1.4 Senkkäkäsittely

Ennen valua sulalle tehdään argonhuuhtelu ja tiivistys senkka-asemalla. Tiivistysaineilla sidotaan sulaan liuennut happi kaasuhuokoisuuden ehkäisemiseksi (Meskanen & Toivonen, 37). Tiivistysaineina käytetään helposti hapettuvaa metallia, pääosin alumiinia ja kalsiumpiiseosta. Kalsiumpiillä vaikutetaan lisäksi tiivistyksessä syntyvien oksidi- ja sulfidisulkeumien muodostumiseen vähemmän haitalliseen muotoon. (Meskanen &

Toivonen, 37). Tiivistyksen loppuvaiheessa sulaan voidaan vielä lisätä tiivistysaineita herkemmin hapettuvia aineita.

Ennen tiivistystä sulalle tehdään argonhuhutelu, jolla tasataan senkan kuljetuksen aikana syntyneitä lämpötila- ja koostumuseroja sekä jäähdytetään sulaa. Tiivistysaineet syötetään sulaan lankamuodossa langansyöttölaitteella. Tiivistysaineiden lisäys tehdään niiden hapettumistaipumuksen mukaisessa tiivistysjärjestyksessä. Tiivistyksen aikana sulaa jäähdytetään ja sekoitetaan edelleen argonpuhalluksella, jota jatketaan tiivistyksen jälkeen, kunnes saavutetaan valulämpötila. Lopuksi sulan pinta suojataan vermikuliitilla, joka muodostaa sulan piinnalle lämpöhäviöiltä ja kuonan liialliselta jähmettymiseltä suojaavan peitosteen.

3.1.5 Valu

Valu suoritetaan 12–30 tonnin pohjavalusenkoista. Yhdestä senkasta voidaan valaa useampi muotti, ja vastaavasti suurimpiin valuihin voidaan tarvita kaksi senkkaa. Valut valetaan ennalta määrättyssä järjestyksessä, jossa otetaan huomioon muun muassa lämpötilavaatimukset sekä sulan riittävyuden varmistamien suurimpiin valuihin. Senkan suutiilen koko valitaan valusuunnitelman perusteella vastaamaan suunniteltua laskunopeutta. Suuremmissa valuissa voidaan käyttää kahdella laskuaukolla varustettuja senkkoja.

Senkkäkäsittelyasemalta kuljetusvaunu jatkaa kaavaamon puolelle, jossa senkka siirretään siltanosturilla valualueelle. Senkka kohdistetaan muotin ylle niin, että suutiili on mahdollisimman tarkasti kaatosuppilon päällä, ja väliin jää mahdollisimman pieni rako. Kahdella senkalla valettaessa muotiin täyttymistä voidaan seurata muottiin tehtävän anturoinnin avulla, jolloin toisen senkan mukaan tuleminen voidaan ajoittaa tietyn täyttymistason kohdalle. Valun jälkeen mahdolliset avosyöttökuvut peitostetaan eksotermisellä valupulverilla.

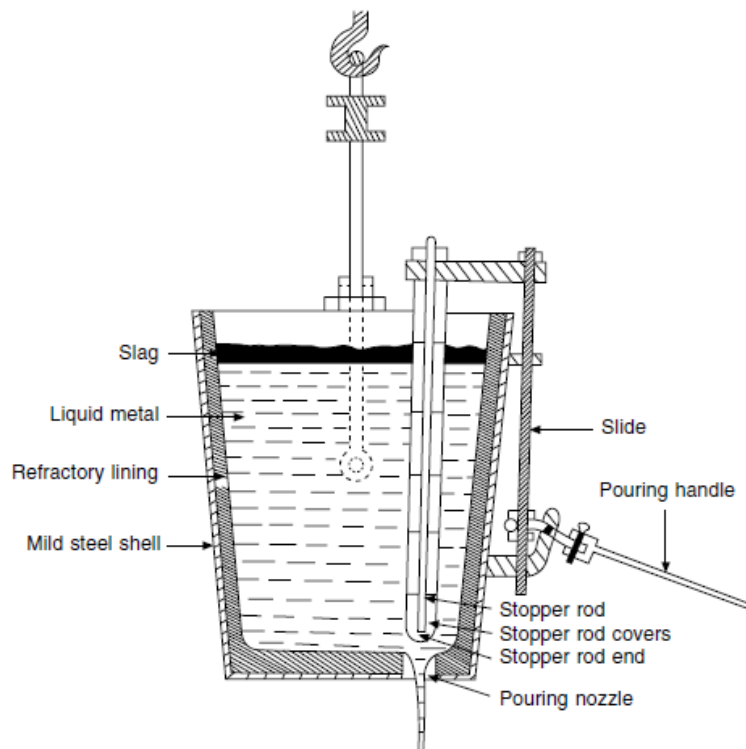
Sulasta otetaan valun yhteydessä niin kutsuttu valmisnäyte, josta todistetaan valmiin tuotteen koostumus. Koostumus mitataan kauhalla kokilliin valettavasta näytteestä. Kokilliin valettavan näytteen lisäksi teräksestä voidaan tarvittaessa määrittää vetypitoisuus

pipetillä otettavasta näytteestä, jolloin sulaa ei joudu kosketuksiin ilman kanssa (Keskinen & Niemi 2011d, 5).

3.1.6 Senkkojen huolto

Sekä siirto- että valusenkot kuivataan ja esikuumennetaan maakaasulämmittimillä ennen käyttöä. Esikuumennuksella ja kuivauksella vähennetään sulan jäähtymistä senkassa sekä ehkäistään hapen ja vedyn siirtyminen vuorauksen kosteudesta sulaan (Keskinen & Niemi 2011b, 9). Senkat vuorataan sisältä tulenkestävällä ja lämpöä eristävällä vuorauksella.

Senkoissa käytettävät vuoraukset kestävät useita kymmeniä käyttökertoja, joiden välillä vuorauksia huolletaan. Pohjavalusenkoihin vaihdetaan jokaisen käyttökerran jälkeen sulan syöttömekanismin stoppari sekä stopparia vasten tuleva suutiili (kuvio 5). Valun jälkeen pohjavalusenkasta poistetaan kuonajäämät, ja senkan pohjalle jäänyt skolla, eli metallijäämät, poltetaan pois happipuhalluksella.



KUVIO 5. Pohjavalusenkan rakenne (Brown 2000, 141; alkup. kuvio Jacson & Hubbard 1979)

3.2 Kaavaamo

3.2.1 Kaavaushiekat ja niiden käsittely

Lokomo Steel Foundrylla kaavauksessa ja keernanvalmistuksessa käytetään kvartsi- ja kromiittihiekkaa. Hiekkojen sideaineena käytetään PTS-hapolla¹ kovetettavaa fu-raanihartsia.

Uusi hiekka tulee valimolle säiliöautoissa ja se on toimitustilassaan valmista varastoitavaaksi ja käytettäväksi. Purettujen muottien hiekkaa voidaan kierrättää pienin häviöin, joten hiekka kiertää valimossa jatkuvasti. Hiekka kulkee kaavauksen ja valun kautta kierrätyskäsittelyihin, jonka jälkeen sitä voidaan käyttää uudelleen. Hiekan käsittelylaitteisto ja kiertoreitit on kuvattu siilokaaviossa (liite 3). Muotit puretaan valun jälkeen tärytinristikon päällä. Tärytinristikko rikkoo muotin kokkareiksi, jonka jälkeen hiekka kulkee erilaisten hiekankäsittelylaitteiden läpi. Kiertohiekan käsittelystä ei voida erottaa selkeitä yksittäisiä vaiheita, mutta hiekan käsittelyllä on seuraavat funktiot:

- Sideainekalvoa vähennetään hiekkarakeiden pinnalta kokkareiden murskauksella ja hiekkarakeiden hierrolla.
- Kuuma hiekka jäädytetään.
- Kromiitti- ja kvartsihiekkä erotetaan toisistaan magneettisesti.
- Vääränkokoisten rakeet, roskat, metalli sekä pöly poistetaan.

Kaavaushiekan laatua valvotaan erilaisin laboratorionkokein.

3.2.2 Mallit ja keernalaatikat

Lokomo Steel Foundrylla käytettävät mallit ovat pääasiassa puumalleja, jotka valmistetaan alihankintana. Valimolla on käytössä myös CNC²-ohjattu kuumalankaleikkuri, jolla voidaan valmistaa malleja paisutetusta polystyreenistä (EPS).

¹p-tolueenisulfonihappo

²computer numerical control – tietokoneohjattu numeerinen ohjaus

Valimolla on kaksi mallivarastoa valimon yhteydessä sekä yksi tehdasalueen ulkopuolinen mallivarasto. Asiakkaille valmistettujen valujen mallit ovat usein asiakkaan omaisuutta, ja asiakas myös yleensä varastoi mallit itse. Asiakkaiden malleja varastoidaan myös valimon varastoissa maksua vastaan.

Kaavaamon yhteydessä on mallipaja, jossa malleja huolletaan, korjataan ja tarkastetaan. Kaavaushiekka kuluttaa mallin pintaa, jolloin kaavaushiekka irtoaa huonommin mallin pinnasta aiheuttaen muotteihin murtumia ja pintavikoja. Joskus kuluneet, etenkin pitkiä pystysuoria pintoja sisältävät mallit saattavat jopa murtua mallia irrotettaessa. Huollossa malleja hiotaan ja pinnoitetaan uudelleen, sekä tarvittaessa korjataan. Mallipajalla voidaan myös tehdä pienempiä muutostöitä mallien geometriaan.

3.2.3 Muotin- ja keernanvalmistus

Lokomo Steel Foundrylla kaavaus tapahtuu käsinkaavauksena. Kaavaamossa on käytössä pulla- ja kehäkaavauslinjat, kaavauspaikka suuremmille muoteille sekä keernapaja. Käytössä on myös kolme kaavausrobotia, joilla valettava muoto voidaan jyrsiä kaavaushiekasta kaavattuun aihioon ilman mallia.

Muotin- ja keernanvalmistuksen työvaiheet on kuvattu prosessikaaviona liitteessä 2. Muotin- ja keernanvalmistus on työvaiheiltaan hyvin tapauskohtaista, joten siitä käsitellään tässä vain pääkohdat.

Mallin asetetaan mahdollinen pohja, kaavaus- tai täyttökehykset, mahdolliset mallin irto-osat ja muut mallivarusteet. Muotin valujärjestelmän osat valmistellaan etukäteen ja valujärjestelmä kootaan muottiin. Muottia vahvistetaan erilaisilla kehävarusteilla, kuten irtosloovareilla, tukirangoilla, hiekkakoukuilla ja muottinauloilla. Muita käytettäviä kehävarusteita ovat mm. jäähdytysraudat, eristeholkit ja kaasunpoistokanavat. Osa varusteista asetetaan paikalleen vasta hiekan täytön yhteydessä.

Kullakin kaavauspaikalla sekä keernapajassa on oma syöttösekoittimensa, jotka sekoittavat hiekkalaadut ja sideaineen keskenään. Hiekka lasketaan kaavaus- tai täyttökehyyseen suoraan syöttösekoittimesta, josta voidaan valita käytettävä hiekkalaatu. Muotti täytetään valusuunnitelman mukaisella hiekkalla, joka täytetään ja sullotaan muottiin

kerroksittain. Mallin pintaa vasten ja erityisesti lämpörasitukselle alttiisiin kohtiin sullotaan ensin kromiittihiekkaa. Loput muotista täytetään kvartsihiekalla. Mallin pintaa vasten tulevissa kerroksissa käytetään mallihiekkaa joka on kiertohiekan ja uuden hiekan seosta. Mallihiekkana voidaan tarvittaessa käyttää myös pelkkää uutta hiekkaa. Loput muotista täytetään täytehiekalla, joka on usein 100% kiertohiekkaa. Hiekka sullotaan muottiin käsin ja erilaisilla apuvälineillä. Muotinpuoliskojen yläpinnat tasataan sullonnan päätteeksi.

Kun hiekka on kovettunut irrotuslujuuteen, malli ja mahdolliset täyttökehykset irrotetaan. Muotinpuolisko tarkastetaan silmämääräisesti, puhdistetaan irtohiekasta ja mahdolliset korjattavissa olevat virheet korjataan.

Kaavatut muotinpuoliskot ja keernat peitostetaan polttopeitosteella. Peitostus on kuvattu erillisessä prosessikaaviossa liitteen 2 sivulla 3. Peitoste levitetään valuttamalla, ja hankalat kohdat voidaan viimeistellä sivelemällä. Peitosteiden tulenkestävinä aineina käytetään magnesiittia tai zirkonia ja ohenteena etanolia. Peitosteen polton jälkeen muotti voidaan kokoonpanna.

Keernanvalmistuksen työvaiheet ja menetelmät ovat periaatteiltaan pitkälti samat kuin muotinpuoliskojen valmistuksessa. Keernanvalmistuksen vaiheet on kuvattu omassa prosessikaaviossaan liitteen 2 sivulla 2. Pienempiä keernoja tilataan myös alihankintana.

3.3 Puhdistamo

Muotista puretulle valulle tehdään puhdistamolla erilaisia puhdistus-, tarkastus-, korjaus- ja lämpökäsittelytyövaiheita. Puhdistamo toimii kahdessa vierekkäisessä tehdashallissa. Kuten liitteen 4 prosessikaaviosta nähdään, puhdistamon työvaiheille ei voida määrittää yleispätevää prosessin kulkua, vaan työvaiheistus on hyvin tuote- ja tapauskohtaista.

Valujen pintapuhdistus tehdään Lokomo Steel Foundrylla sinkopuhdistamalla. Kappaleita sinkopuhdistetaan tarvittaessa muotin purkamisen, polttoleikkauksen, hiilikaaritaltauksen, hitsauksen ja lämpökäsittelyiden jäljiltä.

Valukkeet ja mahdolliset vahvistusrivat poistetaan termisillä tai mekaanisilla menetelmillä, pääosin polttoleikkaamalla. Purseet ja muut pienemmät, kappaleen pinnasta poistettavat kohdat poistetaan pääosin hiilikaaritaltaamalla ja hiomalla. Lämmöntonin välttämiseksi valukkeet ja vahvistusrivat voidaan polttoleikata koneistusvaroilta, jotka poistetaan koneistuksen yhteydessä.

Puhdistamo- ja koneistusprosessin aikana kappaleille tehdään rikkomataonta aineenkoetusta ja mittatarkastuksia. Valimolla käytetään säännöllisesti seuraavia NDT¹-menetelmiä:

- Silmämääräinen tarkastus
- Tunkeumanestetarkastus
- Magneettijauhetarkastus
- Radiografinen tarkastus (Röntgen)
- Ultraäänitarkastus
- Vuototestaus

Mittatarkastuksia tehdään manuaalisilla mittavälineillä, koordinaattimittakoneella sekä optisella koordinaattimittausjärjestelmällä.

Tarkastuksissa havaittuja, korjaushitsattavaksi määritettyjä vikakohtia avataan pääosin hiilikaaritaltaamalla ja hiomalla. Puhdistamolle on hankittu myös plasmataltauslaitteet, joita ei ole raportin kirjoitushetkellä otettu käyttöön.

Lämpökäsittelyn vaiheita on kuvattu prosessikaaviona liitteen 4 sivulla 2. Puhdistamolla on käytössä sähkö- ja maakaasukäyttöisiä lämpökäsittelyuuneja. Sammutusaltaiden sammutusväliaineina käytetään vettä sekä polymeeri-vesiseosta. Uunien sisälämpötilaa sekä sammutusaltaiden lämpötilaa mitataan ja ohjataan lämpötila-antureilla. Tarvittaessa lämpökäsittelyn ohjauksessa ja todentamisessa voidaan käyttää kappaleisiin hitsattavia lämpötila-antureita.

Valukappaleiden muotteihin kaavataan tarvittaessa koesauva-aihiot, josta valmistetaan koesauvat materiaalin rikkovaa aineenkoetusta varten. Koesauva-aihiot voidaan joko valaa kiinni tai yhdistää valukanavalla valukappaleeseen. Koesauva-aihiot ovat kiinni

¹non-destructive testing – rikkomaton aineenkoetus

valukappaleissa kaikissa lämpökäsittelyissä, jolloin niiden voidaan katsoa vastaavan ominaisuuksiltaan valukappaletta. Aihoiden lopullisessa irrotuksessa ei voida näin ollen käyttää termisiä menetelmiä lämmön aiheuttamien muutosten välttämiseksi. Valukappaleen pinnassa olevat koesauva-aihiot polttoleikataan pienen kannakkeen varaan ja irrotetaan lopullisesti joko lyömällä tai katkaisulaikalla.

3.4 Koneistus

Lokomo Steel Foundryn koneistustoiminnot sijaitsevat samalla tontilla toimivan murskaintuotannon koneistuksen yhteydessä. Valukappaleita koneistetaan paljon myös alihankintana. Valujen koneistuksen työvaiheita on kuvattu liitteen 5 prosessikaaviossa.

Koneistustyön suunnittelua, työstöratojen ohjelmointia ja paikoitusmerkintöjä varten valujen toteutuneita mittoja mitataan optisella koordinaattimittausjärjestelmällä sekä koordinaattimittakoneella.

Koneistettaessa paljastuvia sisäisiä valuvirheitä voidaan tarvittaessa korjata kappaleen ollessa kiinnitettynä työstökoneessa, mikäli kappaleen paikoitus ei salli sen irrottamista korjauksen ajaksi.

4 KARTOITUSMENETELMÄ

4.1 Menetelmän valinnan lähtökohdat

Työlle ei ollut etukäteen määritelty tarkkaa toteutusmenetelmää. Ajatuksena kuitenkin oli, että valimon prosessista tehdään aluksi prosessikuvaus kirjallisesti sekä prosessikaavioin. Prosessin kuvauksen ja prosessikaavioiden tarkoituksena oli perehdyttää työn tekijää valimon prosessiin sekä muodostaa runko systemaattiselle etenemiselle kartoituksessa.

Kartoituksen laajuuden rajaaminen osoittautui hyvin haasteelliseksi niin prosessin tarkastelulaajuuden, kartoituksen perusteellisuuden, kuin kartoitusmenetelmän osalta. Kartoituksen rajaamista ja systemaattisen toteutustavan luomista vaikeutti luonnollisesti se, että tarkempi käsitys valimon prosessi- ja tuotelaadun ongelmista ja vaatimuksista oli mahdollista muodostaa työn tekijälle vasta työn edetessä. Työn tarkkaa toteutustapaa ei osattu aluksi suunnitella loppuun asti. Laaditut suunnitelmat muuttuivat jatkuvasti työn edetessä saatujen tulosten ja toteutustavassa ilmenneiden ongelmien mukaan.

4.2 Kartoituksen rajaus tuotteiden ja prosessin osalta

Koko valimon prosessien osalta kartoitus päätettiin rajata tuotannon prosesseihin. Valimon hyvin laajan tuotantoprosessin sekä laajan valumateriaali- ja tuotevalikoiman osalta ei aluksi osattu määrittää tarkempaa rajausta. Kartoituksen edetessä päätettiin keskittyä tuotteiden osalta yrityksen ulkopuolisten asiakkaiden tuotteisiin, eli niin kutsuttuihin asiakasvaluihin. Kaavaamon prosessista jätettiin erikseen käsittelemättä EPS-mallien valmistus ja robottikaavaus.

4.3 Prosessikaaviot

Ennen varsinaiseen kartoitustyöhön ryhtymistä prosessi kuvattiin vapaamuotoisilla vuo-kaavioilla. Kaavioiden ei ollut tarkoitus kuvata kattavasti ja johdonmukaisesti kaikkia prosessin vaiheita, vaan ne tehtiin formaatiltaan kuvaamaan prosessia selkeästi ja kartoituspalaverien kannalta oleellisilta osin.

4.4 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) on systemaattinen toimintavarmuuden analysointimenetelmä, jota sovellettaessa:

- Tunnistetaan tarkasteltavan kohteen potentiaaliset vioittumistavat (failure mode), niihin johtavat syyt ja vikaantumisesta aiheutuvat seuraukset.
- Arvioidaan tunnistettuihin ongelmiin liittyvät riskit ja priorisoidaan ongelmat korjaavien toimenpiteiden toteuttamiseksi.

(Carlson 2012, 8–9; Gullo & Raheja 2012, 67.)

Menetelmä on kuvattu ensimmäistä kertaa vuonna 1949 julkaistussa Yhdysvaltain asevoimien dokumentissa. Sen käyttö on myöhemmin yleistynyt monilla aloilla. FMEAn menettelytapa ja laajuutta on käsitelty useissa suosituksissa ja standardeissa, etenkin autoteollisuudessa. (Carlson 2012, 4–5, 8–9.) Suomen kielellä FMEA tunnetaan vika- ja vaikutusanalyysinä (VVA).

FMEAta voidaan soveltaa hyvin monenlaisiin kohteisiin. Carlson (2012, 23–24) luokittelee yleisimmiksi FMEAn lajeiksi järjestelmä-, suunnittelu- ja prosessi-FMEAt. Eri standardeista ja hyvin laajasta käyttökohteiden kirjosta johtuen FMEAn käytännön toteutustapoja on mahdotonta selostaa aukottomasti.

Prosessia käsittelevää FMEAta toteutettaessa tunnetaan kuitenkin seuraavat peruskäsitteet (termit vapaasti suomennettuna):

- *Funktio* (Function) on prosessin vaiheen ensisijainen tarkoitus.
- *Vioittumistapa* (Failure Mode) on tapa, jolla prosessin vaihe voi potentiaalisesti epäonnistua sille määritetyn funktion toteuttamisessa.

- *Vaikutus* (Effect) kuvaa vioittumistavan potentiaalisia seurauksia. Vaikutuksia voidaan arvioida eri tasoilla, kuten esimerkiksi paikalliset vaikutukset prosessissa tai lopulliset vaikutukset asiakkaalla.
- *Vakavuus* (Severity) on kriteerilliseen asteikkoon perustuva numeroarvosana, joka kuvaa vioittumistavan vakavinta vaikutusta.
- *Syyllä* (Cause) kuvataan vioittumistavan täsmällistä syytä tai syitä.
- *Esiintyminen* (Occurrence) on kriteerilliseen asteikkoon perustuva numeroarvosana, joka kuvaa vioittumisen todennäköisyyttä.
- *Kontrollit* (Controls) ovat menetelmiä syiden, vioittumistapojen, tai vaikutusten ehkäisemiseksi.
- *Havaitseminen* (Detection) on kriteerilliseen asteikkoon perustuva numeroarvosana, joka kuvaa vioittumistavan havaitsemisen todennäköisyyttä nykytilanteessa. (Carlson 2012, 25–44.)

Tulokset koostetaan usein lomakkeelle. Liitteessä 6 on eräs variaatio Carlsonin (2012, 383) esittämistä prosessi-FMEA -lomakepohjista.

Tunnistettujen vioittumistapojen riskejä voidaan priorisoida yllämainittujen severity-, occurrence- ja detection-numeroarvosanojen avulla. Priorisoinnissa voidaan käyttää useita metodeja, kuten esimerkiksi vioittumistapojen rankkausta näiden kolmen numeroarvosanan aritmeettisen tulon (Risk Priority Number) mukaan.

4.5 Prosessissa esiintyvä vaihtelu

Prosessin kontrolloinnin kannalta prosessissa esiintyvää vaihtelua tarkasteltiin erilaisina muuttujina. Nämä muuttujat jaettiin tulo- ja lähtömuuttujiin, joiden välillä vallitsee syy-seuraussuhteita.

Valimoprosessin voidaan katsoa sisältävän hyvin paljon tulomuuttujia riippuen siitä, millä rajapinnoilla ja kuinka yksityiskohtaisesti prosessin vaihtelua käsitellään. Selkeitä, yksiköllisiä ja kvantitatiivisia tulomuuttujia ovat esimerkiksi tyhjiökonvertterin alipaine tai valulämpötila. Vastaavasti lähtömuuttujiksi voidaan katsoa tarkastelun laajuudesta ja tarkastelurajapinnoista riippuen vaikkapa valukappaleen pinnan kovuus tai laatukustan-

nukset. Tässä työssä käytettyjä tulo- ja lähtömuuttuja -termien tulkintoja tarkennetaan luvussa 4.6.

4.6 Aivoriiket ja kartoituksen toteutus

Kartoitus aloitettiin järjestämällä aivoriiehipalavereja tuotanto-osastoittain. Osastokohtaisiin palavereihin osallistui tyypillisesti kahdesta viiteen toimihenkilöä. Ensimmäisissä palaverissa listattiin, tarkemmin määrittelemättä, prosessin virheitä sekä muuttujia, joissa esiintyvän vaihtelun arvioitiin mahdollisesti vaikuttavan tuotelaatuun. Muuttujia ja virheitä listattiin niin havaitun vaihtelun perusteella, kuin myös riskianalyysinäkökulmasta. Tarkastelu toteutettiin ja dokumentoitiin prosessin vaiheittain, prosessikaavioiden mukaisessa järjestyksessä. Aivoriiehipalaverien tulokset ovat osastoittain jaoteltuna liitteissä 7–10. Mainitut muuttujat ja virheet on kirjattu liitteissä ”tulomuuttuja”-sarakkeisiin.

Toteutustavan jatkoa suunniteltiin ensimmäisten aivoriiehipalaverien tulosten pohjalta. Toteutustapaan otettiin vaikutteita FMEAsta. Kartoituksen tavoitteiden kannalta ei kuitenkaan nähty tarpeelliseksi edetä yleisesti käytettyjen FMEAn käytäntöjen tai dokumentointitapojen mukaisesti.

Seuraavissa aivoriiehisissä taulukoihin (liitteet 7–10) kirjattiin aikaisemmin listatuista virheistä tai vaihtelusta (tulomuuttujat) aiheutuvat seuraukset, joista käytettiin taulukoissa termiä ”lähtömuuttujat”. Seurausten tarkastelu pyrittiin rajaamaan laatupoikkeamiin lopputuotteen vaatimuksissa. Kyseinen rajausta aiheutti ongelmia, joita on käsitelty luvussa 4.7. Kartoituksessa kuitenkin edettiin ongelmista huolimatta, jotta paremman kokonaiskäsityksen pohjalta voitaisiin määrittää toimivammin lähtömuuttujien tarkastelun rajausta.

Aivoriiehisissä taulukoihin (liitteet 7–10) kirjatusta riveistä tulo- ja lähtömuuttujineen käytetään jäljempänä selkeyden vuoksi termiä *kontrolliehdotus*.

Kontrolliehdotusten suuren määrän (lopullinen, karsittu määrä 142 kpl) vuoksi niiden joukosta haluttiin priorisoida mahdollisimman pieni joukko tarkempaan tarkasteluun. Priorisointi päädyttiin lopulta toteuttamaan arvioimalla jokaisen tulomuuttujan aiheut-

tamien potentiaalisten seurausten vakavuutta ja esiintymistä numeroarvosanoin. Numeroarvioinnin kriteereitä ja niiden laatimista käsitellään luvussa 4.7. Kaikkien kontrolliehdotusten joukosta karsittiin arvosanojen perusteella 29 kohtaa jatkotarkasteluun luvussa 4.8 kuvatulla metodilla. Jatkotarkastelun näkökohtia käsitellään luvussa 4.9.

4.7 Numeroarviointiasteikot

Kontrolliehdotusten priorisointiperusteisiin sisältyy perustavanlaatuinen kysymys siitä, minkälaista vaihtelua aiheuttavia muuttujia lopulta halutaan eniten kontrolloida. Priorisointiperusteiden täytyi lisäksi:

- kyetä erottelemaan kontrolliehdotukset riittävän tarkasti, jotta suuresta joukosta voitaisiin valita riittävän pieni joukko kriittisimpiä kontrolliehdotuksia tarkempaan tarkasteluun
- olla kriteereiltään riittävän konkreettiset, selkeät ja yksinkertaiset, jottei nopeasta arvioinnista tulisi liian vaikeaa arvioijille.

Vaihtelun aiheuttamien seurausten tarkastelussa yritettiin keskittyä asiakkaalle toimitettavan lopputuotteen laatupoikkeamiin. Pelkkien lopputuotteen vaatimusten tarkastelu osoittautui kuitenkin hedelmättömäksi teräsvalimon prosessissa. Kappaleet tarkastetaan niille asetettujen vaatimusten osalta, ja monia teräsvalujen valuvirheitä kyetään korjaamaan korjauskustannusten puitteissa. Tästä johtuen hyvin harva, varsinkaan prosessin alkupäässä tapahtunut virhe vaikuttaa lopputuotteen ennalta sovittujen vaatimusten täytymiseen asiakkaalle päätyvien tuotteiden osalta.

Lopullisessa arvosteluasteikossa (taulukko 1) seurausten vakavuuden arviointi jaettiin kahteen eri arvosanaan: ”sisäinen vakavuus” ja ”vakavuus asiakkaan kannalta”. Lopulta virheistä aiheutuvat seuraukset ovat usein kriittisiä yhtäläillä niin valimon sisäisesti kuin asiakkaan näkökulmasta. Asiakasnäkökulmaa haluttiin kuitenkin tuoda selkeämmin esiin arvioimalla vaikutukset erikseen asiakkaan kannalta.

Asteikkojen arvosanoille laadittiin suuntaa-antavia kriteerejä ja esimerkkejä (taulukko 1), joista ilmenee millaisia seurauksia pidettiin kartoituksen tavoitteen kannalta keskeisimpinä. Vaikka laatupoikkeamista seuraa aina hyvin kauaskantoisiakin seurauksia,

pyrittiin seuraukset rajaamaan asteikon esimerkeissä mahdollisimman välittömiin ja paikallisiin seurauksiin arvostelun selkeyden vuoksi.

Sisäinen vakavuus -asteikon esimerkkikriteereissä (taulukko 1) vakavuusarvosana nousee käytännössä sen mukaan, missä vaiheessa prosessia virhe realisoituu. Esimerkkikriteerit pelkistettiin korjaustarpeeseen sen määrän mukaan sekä hylkäykseen sen mukaan, missä vaiheessa prosessia hylkäys tapahtuu. Sisäisen vakavuuden arvostelukriteerit rajautuvat prosessin aikana havaittaviin virheisiin, jotka virheen luonteesta riippuen johtavat joko korjaukseen tai valmisteen hylkäämiseen.

Vakavuus asiakkaan kannalta -asteikon esimerkkikriteerit (taulukko 1) puolestaan pelkistettiin eriasteisiin lopputuotteen tai palvelun laatupoikkeamiin ja toimituksen myöhästymisiin. Asiakasnäkökulmassa huomioitiin myös sisäisessä prosessissa havaitsematta jäävät virheet sekä virheet, jotka tuotteen hylkäämisen sijaan hyväksytetään asiakkaalla.

Esiintymisarvosanalla arvioitiin seurausten suhteellista esiintymistäajuutta suhteutettuna muihin kontrolliehdotuksiin. Esiintymistäajuuden lisäksi arvioinnissa otettiin joissain tapauksissa huomioon myös toistaiseksi toteutumattomat virheet sekä virheet, joiden ei katsottu olevan kontrollissa. Esiintyminen jouduttiin arvioimaan ilman määrällisiä kriteereitä, koska virheiden ja niiden aiheuttajien lukumäärällisestä esiintymisestä ei ollut saatavilla aivoriihiin soveltuvaa tilastollista tietoa.

Arvostelussa kokeiltiin aluksi myös virheen havaitsemisarvosanan käyttöä. Numeroarvioinnilla olisi voitu tällöin selkeämmin huomioida toistaiseksi toteutumattomien ja havaitsemattomien virheiden mahdollisuus. Havaitsemisarvosanan käyttö osoittautui kuitenkin käytännössä ongelmalliseksi niin arvosteluasteikon kriteerien laadinnan kuin itse arvioinnin kannalta. Arvosanoista ei tästä johtuen saatu priorisoinnin kannalta toimivaa ulosantia. Virheen havaitsemista arvioitiin suoraan vakavuus- ja esiintymisarvosanoilla. Esimerkiksi sulaerän hylkäykseen sisältyy oletus siitä, että virheen syy jää havaitsematta ennen virheen toteutumista, mutta virhe havaitaan ennen valua.

TAULUKKO 1. Arviointiasteikkojen suuntaa-antavat kriteerit

Nro.	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan näkökulmasta	Esiintyvyys
6	Valmiin kappaleen hylkäys sisäisesti (koneistuksen jälkeen)	Hylkäys asiakkaalla, vakava reklamaatio	$\geq 1/n$ kappaleesta
5	Suuret ja viivästyttävät korjaukset / lämpökäsitellyn kappaleen hylkäys	Vakavat laatupoikkeamat, (esim. analyysipoikkeama, merkittävä mittavirhe)	
4	Valun jälkeinen susitus (~ennen polttoleikkausta)	Vakava myöhästyminen / sopimussakko	
3	Sulan hylkäys (valetaan tippakuppeihin) / Paljon normaalia enemmän korjausta	Lievä laatupoikkeama / Lievä myöhästyminen	
2	Vähemmän vakavat prosessin aikaiset susitukset tai korjaukset (normaalia enemmän korjausta)	Merkityksetön laatupoikkeama	$\leq 1/n$ kappaleesta
1	Ei merkitystä	Ei merkitystä	Virhe eliminoiduu ehkäisevällä kontrollilla.

4.8 Kontrolliehdotusten karsinta numeroarvosanojen perusteella

Jatkotarkasteluun valittaville kontrolliehdotuksille määritettiin numeroarvosanojen perusteella valintaehdot, jotka on esitetty Boolean operaattorien ”TAI” sekä ”JA” avulla taulukossa 2. Jatkotarkasteluun valittiin siis vakavuusarvosanoiltaan pienempiä kontrolliehdotuksia portaittain sitä mukaa, mitä korkeampi niiden esiintymisarvosana on. Vakavuusarvosanoista vain toisen on täytettävä rajaehto.

TAULUKKO 2. Karsintaehdot. Vakavuusarvosanoista vain toisen on täytettävä rajaehto.

TAI		JA
Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan kannalta	Esiintyminen
≥ 6	≥ 5	≥ 2
≥ 5	≥ 4	≥ 3
≥ 4	≥ 3	≥ 4

Jatkotarkasteluun haluttiin karsia mahdollisimman pieni joukko kontrolliehdotuksia. Arvosanavaihtoehtojen lukumäärä ja annettujen arvosanojen hajonta asettivat kuitenkin rajoitteita sille, kuinka pieni joukko numeroarvosanojen perusteella voitiin karsia. Valituilla karsintaehdoilla saatiin priorisoitua 29 kontrolliehdotusta (liite 11) tarkempaan tarkasteluun.

4.9 Karsittujen kontrolliehdotusten jatkotarkastelu

Numeroarvosanojen perusteella karsittuja 29:ää kontrolliehdotusta (liite 11) käytiin läpi haastattelemalla osastohenkilökuntaa vapaamuotoisesti. Haastatteluista saadun tiedon ja ideoiden pohjalta kustakin kontrolliehdotuksesta kirjoitettiin vapaamuotoinen selostus lukuun 5.2.

Jatkotarkastelussa pyrittiin perustelemaan kontrolloinnin hyödyllisyyttä vaihtelun aiheuttamien, toteutuneiden ja potentiaalisten virheiden kautta. Kontrolliehdotuksia ei ollut mahdollista käsitellä niin tarkasti, että niille olisi voitu ehdottaa mittaus- tai muuta kontrollointimenetelmää mahdollisine valvontarajoineen. Mahdollisia kontrollimenetelmiä kuitenkin käsiteltiin tapauskohtaisesti, mikäli keskusteluissa nousi esiin ajatuksia kontrollointimenetelmistä.

Jatkotarkastelua toteutettaessa pohdittiin myös mahdollisuutta hakea valimon tietojärjestelmistä määrällistä tietoa toteutuneista laatuongelmista. Valujen hylkäyksiä, reklamaatioita ja laatupoikkeamia dokumentoidaan Lokomo Steel Foundrylla erilaisiin tietojärjestelmiin, kuten Excel-taulukoihin, toiminnanohjausjärjestelmän tietokantaan ja erilliseen laatupoikkeamatietokantaan. Hakuja ei kuitenkaan päädytty tekemään, koska luotettavien tulosten hankkiminen osoittautui liian työlääksi työn aikatauluun nähden.

4.10 Menetelmän rajoitukset ja ongelmat

Käytetty kartoitusmenetelmä ei ollut esikartoituslaajuuden puitteissa aukoton eikä kattava. Tässä luvussa käsitellään joitain huomionarvoisia ongelmia ja näkökohtia, joita kartoitusmenetelmän kuvauksessa ei ole käsitelty.

4.10.1 Tarkastelun laajuuden ja perusteellisuuden ongelma aivoriihi- ja numeroarviointiosuudessa

Kartoituksen aivoriihi- ja numeroarviointiosuudessa käsitellyt kokonaisuudet olivat hyvin laajoja suhteessa siihen rajalliseen aikaan, joka palaveriinkin oli käytettävissä. Esi-kartoituksen kannalta ei ollut tarkoituksenmukaista käsitellä ja listata kaikkia mahdollisia prosessin virheitä ja muuttujia, vaan pikemminkin kartoittaa potentiaalisesti hyödyllisimpiä kontrollipisteitä priorisointia ja tarkempaa tarkastelua varten. Tämän vuoksi palaverien muistioissa ei ole käsitelty kartoituksen kannalta vähiten merkityksellisiä, palaverissa esiin tulleita muuttujia. Etenkin toistaiseksi toteutumattomia tai hyvin epätodennäköisiä virheitä olisi voitu listata lähes loputtomasti. Tämän vuoksi työssä keskityttiin riskien kartoittamisen sijaan enemmän nykyisellä prosessilla ongelmia aiheuttaneiden tekijöiden paikantamiseen. Nykyisellään kontrolloitavia muuttujia käsiteltiin vain mahdollisten puutteiden osalta.

On myös huomioitava, että tulomuuttujien aiheuttamat mahdolliset virheet voivat usein aiheuttaa monia mahdollisia seurauksia. Näiden eri seurausten esiintymis- ja vakavuusarvosanat olisivat yleensä olleet keskenään kääntäen verrannollisia. Kaikkien vaihtoehtojen sijaan aivoriihissä pyrittiin listaamaan näistä oleellisimmat skenaariot. Mikäli koettiin tarpeelliseksi erotella saman tulomuuttujan eri seuraukset, on ne arvioitu taulukoissa erikseen peräkkäisille riveille. Lähtömuuttuja -sarakkeessa on voitu myös tämentää arvioidun seurauksen vakavuutta, esimerkiksi ”*vakavat* sintrautumisvirheet”.

4.10.2 Arvioinnin subjektiivisuus ja tiedon puute

Kartoituksessa tuli monessa kohtaa esille, että arviointi oli vaihtelevassa määrin hyvin subjektiivista. Virheiden seurauksia ja arvosanoja arvioitaessa syy-yhteyksiä ei aina tunnettu. Etenkin esiintymisen arviointi koettiin usein vaikeaksi alhaisimmilla esiintymisen arvosanoilla. Eri kontrolliehdotusten arvioinnin vertailukelpoisuuden osalta on otettava huomioon, että arviointeja on tehty eri henkilöiden toimesta, eri palaverissa. Etenkin harvinaisimpien tai toistaiseksi toteutumattomien virheiden seurausten arviointi oli hyvin oletusluontoista. Tämän vuoksi joidenkin muuttujien seurauksia ja vaka-

vuusarvosanoja ei ajan säästämiseksi arvioitu, mikäli muuttujan katsottiin olevan kontrollissa (esiintymisarvosana ”1”).

4.11 Vaihtoehtoina harkitut kartoitusmenetelmät

Kartoituksen toteutusta suunniteltaessa harkittiin valitun menetelmän lisäksi myös muita lähestymistapoja.

Yhtenä lähestymistapana pohdittiin mahdollisten kontrollipisteiden kartoittamista selvittämällä ensin eniten ongelmia aiheuttavat laatupoikkeamatyypit, joiden esiintymistä halutaan kontrolloida. Kontrollipisteitä olisi tämän jälkeen kartoitettu laatupoikkeamien juurisyistä käyttäen apuna esimerkiksi syy-seuraus-diagrammeja.

Toisena vaihtoehtona harkittiin ennalta laadittavan kysymyssarjan käyttöä. Kysymyssarjan ja prosessikaavioiden avulla olisi haastateltu osastohenkilökuntaa käsitellen jokainen prosessin vaihe yksitellen. Kysymyssarjan etuna nähtiin suurempi joustavuus turhan perusteellisen ja mekaanisen lähestymistavan sijaan. Kysymyssarjaa ei kuitenkaan osattu laatia etukäteen.

5 TULOKSET

5.1 Aivoriihi- ja numeroarviointivaiheen tulokset

Aivorihipalaverien muistiinpanot ovat jaoteltuna osastoittain liitteissä 7–10. Jatkotarkasteluun numeroarvosanojen perusteella priorisoidut 29 kontrolliehdotusta on koottu yhteenvedoksi liitteeseen 11 ja niitä tarkasteltu tarkemmin luvussa 5.2.

Vaikka kontrolliehdotukset on taulukoitu tuotanto-osastoittain, on joukossa myös esimerkiksi valunsuunnittelua tai useampaa osastoa koskevia kontrolliehdotuksia. Dokumentoinnin jäsentely kuvaa pikemminkin asioiden käsittelyjärjestystä kuin virheiden tai vaihtelun juurisyyn lähteitä. Erityisesti kaavaamon ja sulaton aivoriihissä tuli esille monia valutapahtumassa realisoituvia virheitä, joiden arvioitiin olevan peräisin valunsuunnittelusta.

Kaavaamon ja sulaton aivoriihissä kontrollipisteideoita tuli odotuksiin nähden hyvin paljon verrattuna puhdistamoon ja etenkin koneistukseen. Sulaton ja kaavaamon prosesseissa syntyy aina tietty määrä valukappaleeseen päätyviä epätäydellisyyksiä, joiden voidaan katsoa kuuluvan valamisen luonteeseen valmistusmenetelmänä. Nämä virheet huomioidaan kappaleen suunnittelussa ja niitä voidaan usein korjata etenkin teräsvaluisa. Puhdistamon ja koneistamon prosessissa tällaista, niin sanottua suunniteltua korjaustarvetta puolestaan ei ole, jolloin mahdollisten prosessin muuttujien ja virheiden arviointi oli suoraviivaisempaa prosessin vakioinnin näkökulmasta.

Koneistamon prosessista osattiin tunnistaa odotettua vähemmän vakavia laatupoikkeamia aiheuttavia virheitä ja muuttujia. Moni koneistuksen työvaiheen kontrolli perustuu koneistajan arvioitiin ja ammattitaitoon. Tämän vuoksi periaatteessa lähes kaikissa koneistamon työvaiheissa voi sattua inhimillisiä virheitä lopputuotteen kannalta vakavin seurauksin. Monissa tapauksissa koneistajat kuitenkin havaitsevat virheet ennen kuin kappale on työstetty lopullisiin mittoihinsa. Myös runsaat työvarat ehkäisevät virheiden päätymistä lopullisiin mittoihin ennen virheen havaitsemista.

Numeroarvioinnissa on huomattava, että esiintymisarvosanoista käytettiin vain numeroita 1–4. Esiintymistä ei kyetty luvussa 4.7 mainituista syistä arvioimaan kuuden ar-

vosanan tarkkuudella, joten käytettävät arvosanat päätettiin hajauttaa välille 1–4. Koska esiintymisarvosanan 1 kriteerinä oli, että vaihtelun katsottiin olevan kontrollissa, annettiin joillekin kohdille, kuten ostoromun radioaktiivisuudesta seuraaville kontaminaatioille, esiintymisarvosana 2.

5.2 Karsiutuneiden kontrolliehdotusten jatkotarkastelu

Projektin aikataulun venymisen ja valimolla käytyjen YT-neuvottelujen aiheuttaman tilanteen vuoksi puhdistamon ja koneistuksen palavereissa käsiteltyjä ideoita ei käsitelty jatkotarkastelussa. Kyseiset, numeroarvioinnin perusteella karsitut kontrolliehdotukset ovat kuitenkin listattuna liitteessä 11.

5.2.1 Tiedonkulun virheet valumateriaalin ja valupainon osalta

Valumateriaalin valintaa koskevat tiedonkulun virheet voivat johtaa virheestä ja sen havaitsemisvaiheesta riippuen pahimmillaan valujen hylkäämiseen. Tiedonkulun virheestä aiheutuva, hylkäykseen johtava vajaavalu arvioitiin väärää valumateriaalia epätodennäköisemmäksi, joskin lievempiä vajaavalutapauksia on tapahtunut.

Mainittuja tiedonkulun virheitä voi potentiaalisesti tapahtua aina, kun tietoja kopioidaan dokumenttien tai tietokantojen välillä. Tieto valumateriaalista kulkee myynti- ja suunnitteluprosessien alkuvaiheista hyvin monien mahdollisten vaiheiden ja dokumenttien kautta valetuksi tuotteeksi.

Valumateriaalia koskevia, lopputuotteeseen vaikuttaneita tiedonkulun virheitä muistettiin tapahtuneen lähiaikoina kerran. Virhe tapahtui laadittaessa epävirallista sulatusohjelmaa seuraavalle viikolle. Sulatusohjelmaan oli merkitty ulkomuistista väärä ainekoodi turbiininsiipivalulle. Työnjohtaja ei tarkastanut ainekoodia toiminnanohjausjärjestelmästä, ja virhe huomattiin vasta valun jälkeisissä tarkastuksissa. Käytetyn materiaalin koostumus oli kuitenkin lähellä tilatun materiaalin koostumusta, joten asiakas hyväksyi kappaleen. Sulamateriaali olisi käytäntöjen mukaan täytynyt molemmissa vaiheissa tarkastaa SAPista. Kyseisen tapauksen osalta materiaalitietojen varmistamisesta sulatossa on annettu ohjeistusta korjaavana toimenpiteenä.

Myös myynti-suunnitteluprosessin tiedonkäsittelyssä on hyvin monta kohtaa, joihin kappaleen valumateriaali syötetään erikseen. Tämä on johtanut virheisiin ainakin yhden asiakkaan kohdalla, jonka valuissa käytetään standardimateriaalia poikkeavalla kromipitoisuudella. Poikkeava kromipitoisuus on joissain tilauksissa jäänyt merkitsemättä dokumentteihin tai tietokantoihin. Kyseiset virheet on kuitenkin havaittu ennen niiden päätymistä tuotantoon.

Valumateriaalin osalta lopputuotteeseen asti kulkeutuvat tiedonkulun virheet ovat olleet erittäin harvinaisia. Tiedonkulkuketjun luotettavuus perustuu kuitenkin paljolti työntekijöiden huolellisuuteen, joten sen ei koettu olevan riittävän selkeää ja kontrolloitua. Virheiden kontrollointiin ei osattu ehdottaa kontrollia esikartoituksen pohjalta tiedonkulkuketjun monimutkaisuuden vuoksi. Mahdollisten korjaavien toimenpiteiden määrittäminen vaatisi tarkempaa selvitystä tiedonkulkuketjun eniten riskialttiista kohdista.

Valupainon määrittämisestä johtuneiden, lievien vajaavalujen arvioitiin johtuvan pikemminkin epävarmuudesta muotin vetoisuudessa, kuin suoranaista tiedonkulun virheistä. Muottien laskennalliset tilavuudet saadaan hyvin tarkasti CAD¹-ohjelmista. Muottien toteutuneet vetoisuudet kuitenkin vaihtelevat, minkä vuoksi valupainoihin lasketaan kokemuksepäisiä korjauksia sekä varmuusvaraa. Korjauksen sekä varmuusvaran arviointi perustuu toteutuneiden valupainojen punnitustuloksiin.

Valajille on annettu vastikään suullinen ohjeistus välittää valunsuunnitteluun ja kaa-vaamon päällikölle viesti aina, kun valussa tapahtuu muotin kannalta jotain poikkeavaa, kuten arvioidusta poikkeava vetoisuus. Koska toteutuneiden valupainojen valvonnasta on annettu vastikään ohjeistus, ja toteutuneista vajaavaluista aiheutuneet virheet arvioitiin vakavuudeltaan vähäisiksi, ei valupainon määrittämiseen ehdoteta uusia kontrollointi-toimenpiteitä.

¹computer-aided design – tietokoneavusteinen suunnittelu

5.2.2 Ostoromun radioaktiivisuus

Mikäli valimon tuotantoprosessiin pääsee ostoromun mukana radioaktiivinen säteilylähde nykyisen kontrollin läpi, voivat seuraukset olla kontaminaation vakavuudesta riippuen hyvin vakavia. Vakavan kontaminaation tapauksessa seuraukset voivat olla niin laajoja, ettei niitä voida eritellä tämän raportin laajuudessa. Vaikkei tapauksen olosuhteita voidakaan pitää vertailukelpoisina, suuntaa antavana esimerkkinä terästehtaan sulatusuuniin päätyneestä säteilylähteestä on tapaus Acerinox S.A:n terästehtaalla Espanjassa 1998.

Kyseisessä tapauksessa terästehtaan sulatusuuniin joutui ^{137}Cs -säteilylähde, jonka seurauksena muun muassa kuusi työntekijää altistui vähäisille määrille ^{137}Cs :ää. Pelkästään tehtaiden toimintojen keskeytyksistä, puhdistusoperaatioista ja jätteen säilytyksestä arvioitiin raportin karkean arvion mukaan aiheutuneen yli 25 000 000 Yhdysvaltain dollarin kulut. (Safety of Radiation Sources and... 1999, 45–47.)

Säteilyturvakeskus raportoi säteilyn käyttö- ja säteilylähdetapahtumia Suomessa (Weltner 2014, 8). Vuosien 2008–2013 raporteissa on raportoitu yksi tapaus, jossa terästehtaan säteilynilmaisimet havaitsivat tulevasta romukuormasta suojuksestaan poistetun ^{137}Cs -säteilylähteen (Weltner 2014, 12). Samojen raporttien mukaan vuosina 2008–2013 kyseisellä tehtaalla oli lisäksi havaittu yhteensä 11 tapausta, joissa terässulaton valokaariuunissa on sulatettu ^{241}Am -säteilylähde (Weltner 2009, 10; 2010a, 9; 2010b, 9; 2011a, 10; 2011b, 10; 2012a, 10; 2012b, 10; 2014, 12). Kyseisistä ^{241}Am -kontaminaatioista yhdessä työntekijöitä oli altistunut alle 0,2 millisievertin ekvivalenttiannokselle sulatusprosessissa tapahtuneen häiriön vuoksi (Weltner 2012b, 10). Weltnerin (2012b, 10) mukaan kyseisiä, heikkoja gammasäteilylähteitä, kuten ^{241}Am -lähteitä ei havaita tarkoillakaan säteilymittauksilla, ennen kuin säteilylähteen suojakuori hajoaa sulatusuunissa.

Valimolle tulevan ostoromun aktiivisuutta mitataan pistokokein kannettavalla mittarilla romun säilytyspaikoilta. Myös valetuista kappaleista mitataan gammasäteilyn annosnopeutta, mikäli asiakas edellyttää kappaleesta mittaustodistusta.

Pääromutoimittajan kanssa on hiljattain sovittu radioaktiivisuuden valvonnan uudistamisesta valimon ja valimon asiakkaiden vaatimusten mukaiseksi. Tämä toimintatapa

voitaisiin laajentaa koskemaan kaikkea valimolle saapuvaa romua, sillä myös muut romuntoimittajat todennäköisesti valvovat radioaktiivisuutta vähintään jollain tasolla. Näin mittauksia ei tulisi tehtyä kahteen kertaan, ja vältyttäisiin lisäinvestoinneilta esimerkiksi ajoneuvojen säteilytunnistusporttiin ja romukouraan asennettavaan säteilymittariin. Valimon käyttämän ostoromun määrä on myös verrattain vähäistä, jolloin mittalaitteiden käyttöaste jäisi alhaiseksi. Kontrollitapaa valittaessa täytyisi selvittää, voiko käytettävän ostoromulaadun mukana tulla Outokummun tehtailla sattuneiden ²⁴¹Am-kontaminaatioiden kaltaisia koteloituja, heikkoja gammasäteilylähteitä, joiden havaitsemiseksi tarvittaisiin mittapiste romun lisäksi sulatusuunin kuonaan.

5.2.3 Valusenkan vuorauksen metalliset kontaminaatiot

Valusenkkoja kierrätetään valumateriaalien seokset huomioon ottaen. Senkkoihin jää aina jonkin verran kuonaa, mutta mahdollinen skolla, eli metallijäämät poltetaan pois mahdollisimman huolellisesti. Merkittävät määrät skollaa pystytään näkemään senkasta silmämääräisesti. Senkkoihin jäävät, poikkeavan suuretkaan kontaminaatiot eivät yleensä aiheuta pitoisuusrajojen ylittymistä seuraavassa sulaerässä.

Valusenkkojen kontaminaatioiden muistettiin aiheuttaneen lähiaikoina yhden koostumusvirhetapauksen, jossa nuorrutesteräksisiä runkovaluja jouduttiin hylkäämään kromiteräskontaminaation aiheuttaman koostumusvirheen vuoksi. Jälkikäteen virheen syytä pohdittaessa työntekijä muisti havainneensa valusenkassa jäämän, jota osattiin vasta jälkikäteen epäillä analyysivirheen aiheuttajaksi.

Tarkemmassa pohdinnassa valumateriaalin koostumusvirheitä aiheuttavien, valusenkkojen metallisten kontaminaatioiden arvioitiin olevan hyvin harvinaisia. Metalliset kontaminaatiot arvioitiin ongelmaksi pikemminkin sulatusuuneissa ja konverterilla, josta ne kuitenkin havaitaan sulanäytteistä ennen valua. Valusenkkojen metallisia kontaminaatioita ei täten katsottu tarpeelliseksi kontrolloida lisätoimenpitein. Kontaminaatioiden ehkäisemiseksi on hiljattain alettu pitämään kirjaa yksittäisten senkkojen kierrosta. Tällöin käytettävästä senkasta nähdään edellinen valettu materiaali. Virheen esiintymisarvosanaa korjattiin kolmesta kahteen.

5.2.4 Tiivistysainelangan syöttö ja tiivistysjärjestys senkkäkäsittelyssä

Tiivistysprosessissa esiintynyt vaihtelu vaikuttaa sulan laatuun, mutta se ei ole toistaiseksi aiheuttanut arvioituja vakavuusarvosanoja vastaavia vakavia laatuongelmia, kuten hylkäyksiä. Tiivistystapahtuman ei kuitenkaan katsottu olevan riittävän hyvin kontrollissa riskeihin nähden. Toteutuneiden laatuongelmien ja riskien arvioitiin koskevan lähinnä Steckel-kelaimissa käytettäviä, tulenkestäviä teräksiä, joihin lisätään tiivistyksen loppuvaiheessa harvinaisia maametalleja sisältävää seosta lankana. Virheitä arvioitiin syntyvän mahdollisesti tiivistysjärjestyksestä, mikäli happi ei ole sidottuna sulasta tiivistysjärjestyksessä edeltävällä tiivistysaineella riittävän hyvin ennen herkemmin hapettuvien aineiden lisäystä. Kyseisen virheen potentiaalisiksi aiheuttajiksi arvioitiin inhimillisten erehdysten tai välinpitämättömyyden lisäksi häiriöt langansyöttölaitteistossa sekä happimittarissa.

Happimittarin toiminnan tarkastamiseen on vastikään hankittu testauslaite. Langansyöttölaitteessa on syöttömäärän mittari, jonka vetorullan epäiltiin voivan luistaa. Laitteiston toimintaa voitaisiin valvoa happimittarin ja langansyöttömittarin kalibrointien ja tarkastusten kirjauksella. Vakavimpien inhimillisten erehdysten ennaltaehkäisevään kontrollointiin ei keksitty parannusehdotuksia. Vakavimmat tiivistysvirheet havaitaan valmisnäytteen analyysistä.

5.2.5 Valusenkan kohdistustarkkuus

Koska valusenkan kohdistustarkkuus ja valusuihkun turbulenttisuus ovat yhteydessä toisiinsa, käsitellään ne molemmat seuraavassa luvussa.

5.2.6 Valusuihkun turbulenttisuus

Sulan laskutapahtumassa esiintyvän vaihtelun arvioitiin aiheuttavan laatupoikkeamia senkan kohdistustarkkuuden ja senkan heilumisen kautta. Mainitut tekijät aiheuttavat muun muassa ilman sekoittumista sulaan, sularoiskeita viereisiin muotteihin sekä valunopeuden laskua. Valutapahtuma ei tällöin vastaa täysin valusuunnitelmaa valunopeuden osalta. Tämän arvioitiin vaikuttavan osaltaan muun muassa kylmäpoimujen syn-

tyyn. Sulaan sekoittuva ilma puolestaan aiheuttaa valuihin erilaisia kaasuvirheitä. Vaikka suojaamattomiin muotteihin arvioitiin joutuvan sularoiskeita hyvin yleisesti, ei niiden aiheuttamia hauleja kuitenkaan ole lähiaikoina tullut ilmi merkittävässä määrin. Kaasuvirheitä ja kylmäpoimuja puolestaan arvioitiin esiintyneen verrattain yleisesti.

Manuaalisesti suoritettava valutapahtuma on valusenkan käsittelyn osalta hyvin pitkälti nosturinkuljettajan ja valajien taidon varassa. Suurempia valutapahtuman poikkeamia kirjataan valajien toimesta valuraportteihin. Vaikka valutapahtuman kontrollointi katsottiin otolliseksi kehitystarpeeksi, ei kontrollointitapoja, kuten mittausmenetelmiä tai tuotantovälineiden ja -menetelmien kehitystapoja, osattu ehdottaa tai sulkea pois ilman perusteellisempaa selvitystyötä.

5.2.7 Sulan laskunopeus

Valutapahtumaa tarkasteltaessa nousi esiin vaihtelu sulan laskunopeudessa. Valajilta on saatu ajoittain palautetta, ettei muotin valujärjestelmä vedä sulaa niin paljon kuin valusenka syöttäisi stoppari täysin avattuna. Valutapahtuma ei tällöin vastaa täysin valusuunnitelmaa.

Muotti ja sen valujärjestelmä pyritään suunnittelemaan niin, että muotti voidaan valaa valitun kokoisella suutiilellä ilman, että sulan virtausta tarvitsee juurikaan rajoittaa stopparilla. Ongelman arvioitiin täten aiheutuvan muotin ja valujärjestelmän suunnittelusta. Valettaessa useampia muotteja samasta senkasta, myös valusenkassa vallitseva metallostaattinen paine aiheuttaa merkittävää vaihtelua sulan laskunopeuteen. Tämä on kuitenkin helposti pääteltävissä, kun valutapahtuman poikkeamia arvioidaan.

Suunniteltua alhaisemman valunopeuden arvioitiin olevan yhteydessä valuissa esiintyneisiin kylmäpoimuihin, joiden vuoksi valuja on jouduttu hylkäämään. Valutapahtumassa ei-toivotulla tavalla toimivat valujärjestelmät ja muotit voivat aiheuttaa myös muita valuvirheitä.

Valajille on annettu asiaa koskien vastikään suullinen ohjeistus ilmoittaa valusuunnitteluun ja kaavaamon päällikölle aina, kun valussa tapahtuu muotin kannalta jotain poikkeavaa, kuten jos muotti ei vedä sulaa suunnitellusti. Valusuunnittelu ja kaavaamo voi-

vat näin saadun poikkeamatiedon perusteella alkaa paikantamaan ongelman syitä ja ryhtyä korjaaviin toimenpiteisiin hajonnan lähteiden poistamiseksi. Vastikään tehostetun poikkeamien seurannan vuoksi asiaa ei toistaiseksi katsottu aiheelliseksi kontrolloida nykyistä tehokkaammin.

5.2.8 Avosyöttökupujen suojaus valupulverilla

Avosyöttökupujen epätäydellisen suojauksen on arvioitu aiheuttaneen lieviä imuhuokoisuustapauksia. Valupulverin käyttömääristä ei ole virallista ohjeistusta, vaan sen arviointi perustuu työntekijöiden hiljaiseen tietoon.

Ongelman todellista esiintymistä ja tätä kautta kehitystarvetta olisi mahdollista selvittää valvomalla syöttökupujen suojausta esimerkiksi valokuvaamalla valetut muotit. Tällöin syöttökupujen suojaus voitaisiin imuhuokoisuustapauksissa jäljittää verkkolevyille tallennetuista kuvista. Valokuvaaminen on kuitenkin valvontamenetelmänä hyvin työlästä, joten ongelmaa voitaisiin sen sijaan yrittää vähentää parantamalla työntekijöiden tietoisuutta ongelmasta ja lisäämällä ohje syöttökupujen suojauksesta esimerkiksi valusuunnitelmaan.

5.2.9 Malligeometrian oikeellisuus

Mallien ja keernalaatikoiden geometriavirheitä on syntynyt niin muutoksia suunniteltaessa kuin myös alkuperäisen geometrian suunnittelussa. Tapaukset ovat olleet määrällisesti erittäin vähäisiä, mutta virheiden seurauksina alimittaisia kappaleita on jouduttu hylkäämään. Ongelmia on esiintynyt etenkin laivan potkurijärjestelmiin ja vesivoimaturbiineihin menevissä valuissa, mutta asia koskee periaatteessa kaikkia tuoteryhmiä.

Haastattelussa tuli esille muun muassa seuraavanlaisia, alimittaisiin valuihin johtaneita tapauksia:

- Valusuunnittelussa arvioidaan, voidaanko kappaleeseen tulleen pienen muutoksen jälkeen käyttää vanhaa mallia tai keernalaatikkoa työvarojen puitteissa. Arviointi on pettänyt, ja valu on jäänyt alimittaiseksi.

- Erityisesti venttiiliihoiden muutoksissa ei ole lopuksi ollut enää selvyyttä siitä, millainen aihio lopulta on, kun malleihin tai keernalaatikoihin on tehty useita erillisiä muutoksia ajan myötä.
- Mallin tai keernalaatikon 3D-geometrian mallinnuksessa on tapahtunut virheitä. 3D-malliin on esimerkiksi lisätty työvaraa epähuomiossa väärän suuntaan mallinnusohjelman offset-toiminnolla, tai mallin muotojen kätisyys on joko valittu tai mallinnettu väärin.

Malleille ja keernalaatikoille tehdään valimolla mittatarkastuksia niiden tarpeellisuuden arvioinnin mukaan, mittaussuunnitelmassa määriteltyjen pisteiden osalta. Mallinnusvirheiden osalta mahdollinen kontrolli olisi edellä mainittujen tapausten perusteella sijoitettava mallin tai keernalaatikon suunnitteluvaiheeseen, koska mallin valmistaja ja valimon tuotanto käyttävät vertailukohtana suunniteltua geometriaa.

Mahdollisia kontrollointitapoja selvitetessä voitaisiin pohtia muotin suunnittelun käytäntöjen kehittämistä ja esimerkiksi CAD¹-ohjelmistojen geometrian vertailutoimintojen käyttökelpoisuutta tilatun kappaleen ja suunnitellun muotin geometrian vertailussa.

5.2.10 Mallien ja keernalaatikoiden rakenne

Mallinvalmistajien toimittamien mallien ja keernalaatikoiden rakenteellisissa ominaisuuksissa on havaittu vaihtelua. Tämä voi aiheuttaa ongelmia kaavauksessa, kun malli tai keernalaatikko muuttaa liiallisesti muotoaan kaavaushiekan paineen vaikutuksesta. Muodonmuutosten seuraukset ovat kappaleen kannalta vakavia, koska ne suuntautuvat usein lopulliseen kappaleeseen nähden sisäänpäin vähentäen materiaalia kappaleesta. Pääsääntöisesti mallien rakenne on kuitenkin ollut kunnossa.

Poikkeamien ehkäisemiseksi ehdotetaan mallien ja keernalaatikoiden rakenteen vaatimusten tai ominaisuuksien tarkempaa määrittelyä tarjouspyyntövaiheessa.

¹computer-aided design – tietokoneavusteinen suunnittelu

5.2.11 Hiekan sullonta

Hiekan sullonnassa esiintyvän vaihtelun epäiltiin aiheuttavan sekä mittavirheitä kappaleisiin että muottirikkoja, lähinnä ennen valua. Sullonnan huolellisuus ja tarkkuus vaikuttavat muotin lujuuteen, jolloin muotti voi muuttua liiallisesti muotoaan aiheuttaen kappaleeseen mittavirheitä. Käsinsullonnassa sullonnan tulos on työntekijöiden huolellisuuden ja arvioinnin varassa.

Korrelaatiota puutteellisen sullonnan ja kappaleiden mittavirheiden välillä ei kuitenkaan tunnettu riittävän hyvin, eikä toimivia mittaus- tai kontrollimenetelmäideoita syntynyt. Näin ollen hiekan sullonnan kontrollointiin ei ehdoteta lisätoimenpiteitä.

5.2.12 Irtosloovarien jäykkyys

Osassa muoteista käytetään muotin pinnan päälle kiinnitettäviä niin kutsuttuja irtosloovaripalkkeja, jotka tukevat sekä muotin yläpintaa että palkkeihin mahdollisesti ripustettuja keernoja. Sulan metallostaattinen paine aiheuttaa keernoihin nostevoiman, jonka keernan tuennat ottavat vastaan. Mikäli keernoja tukevien palkkien mitoitus on arvioitu väärin, voivat ne joustaa liikaa aiheuttaen keernojen siirtymiä. Tällaisten siirtymien seurauksena on jouduttu hylkäämään kappaleita ja hyväksyttämään mittavirheitä asiakkaalla. Tulevat virheet voidaan ehkäistä varmistamalla, että palkkien mitoitus on laskettu valunsuunnittelussa.

5.2.13 Pullakaavauslinjan valupohjien tasomaisuus

Pullakaavauslinjalla eli kehättömällä kaavauslinjalla käytetään koneistettuja teräksisiä valupohjia, jotka ovat uutena tai huollettuina riittävän tasomaisia. Käytössä valupohjien päälle roiskuu ja kaatuu sulaa, joka jähmettyessään jättää alustan pintaan epätasaisuuksia ja voi lämpökuormallaan aiheuttaa taipumia alustaan. Sulaa joutuu alustojen päälle vuotavista tai rikkoutuneista muoteista, vuotavista valusenkoista sekä valutapahtuman roiskeista ja valumista. Myös muotit kuluttavat valupohjia abrasiivisesti.

Kun tasomaisella kaavausalustalla kaavattu muotti kiristetään pannoilla epätasaisen valupohjan päälle, muotin pohja taipuu valupohjan muotoon aiheuttaen jännityksiä ja muodonmuutoksia muottiin. Tämä voi vähintäänkin osatekijänä aiheuttaa muottirikkoja

joko pantoja kiristettäessä tai valettaessa. Muotin taipuminen voi myös aiheuttaa jakopinnan vuotamista ja mittavirheitä kappaleeseen.

Valupohjia tarkastetaan ja hiotaan nykyisellään, mutta nykyisen mittauskäytännön ei katsottu ehkäisevän virheitä riittävän tehokkaasti. Valupohjien mittaamiseen voitaisiin luoda systemaattinen mittauskäytäntö valvontarajoihin.

Pullakaavauslinjaa ei raportin kirjoitushetkellä käytetä asiakasvalujen (ks. luku 4.2) muottien kaavaamiseen, joten se ei varsinaisesti kuulu kartoituksen rajaukseen.

5.2.14 Kehättömien muottien seinämävahvuudet

Kehättömien muottien eli pullamuottien riittämättömistä seinämävahvuuksista on aiheutunut muottirikkoja, yleensä valutapahtumassa tai hiukan sen jälkeen. Tällöin seurauksena on yleensä kappaleen hylkäys. Useimmiten muotit murtuvat pystysuuntaisesta, jakotasoa vasten kohtisuorasta seinämästä. Kyseiset virheet arvioitiin hyvin yleisiksi suhteessa muihin kartoituksessa käsiteltyihin kaavaamoprosessin virheisiin.

Seinämävahvuudet määräytyvät suunnitteluohjeiden mukaan valun suunnittelussa, ja ne voidaan valita käytettävissä olevien kaavauskehäkokojen ja kappaleen koon puitteissa. Mahdollisilla kontrolloinnin kehitystoimenpiteillä olisi näin ollen varmistettava ongelmiin reagointi ja suunnitteluohjeiden pitäminen ajan tasalla.

Pullakaavauslinjaa ei raportin kirjoitushetkellä käytetä asiakasvalujen (ks. luku 4.2) muottien kaavaamiseen, joten se ei varsinaisesti kuulu kartoituksen rajaukseen.

5.2.15 Keernojen paikoitus

Keernojen tuennasta riippuen niiden asentoa ja sijaintia täytyy joskus paikoittaa muotte- ja kokoonpantaessa. Paikoituksessa esiintyvän vaihtelun arvioitiin aiheuttavan mittavirheitä kappaleiden keernamuotoihin.

Paikoituksessa esiintyvän vaihtelun vähentämiseksi ehdotettiin systemaattisen mittauksen lisäämistä ja mittausten valvontaa. Mittausta voitaisiin ohjeistaa sekä yleisohjeilla, että esimerkiksi valusuunnitelmaan lisättävillä mittaussuunnitelmilla. Paikoitustyön helpottamiseksi voitaisiin myös selvittää mahdollisuutta paikoitusmerkintöjen lisäämisestä malleihin ja keernalaatikoihin koho- tai uppokuvioin.

5.2.16 Keernalaatikoiden välysten tarkastus

Keernalaatikoiden liitoksiin syntyy vällyksiä sekä puun kulumisesta käytössä että kosteus- ja lämpöelämisestä säilytyksessä. Tämä on aiheuttanut ongelmia keernamuotoihin etenkin Steckel-kelaimissa, joissa on tarkat tasapainovaatimukset suhteessa kappaleen suureen kokoon.

Välysten kontrolloimiseksi ehdotettiin niiden systemaattista mittausta ja mittaustulosten seuranta. Mittausta voitaisiin ohjeistaa määrittämällä keernalaatikoille mittauspisteet ja mittaustulosten valvontarajat.

5.2.17 Keernalaatikoiden irto-osien asettelu

Keernalaatikoiden irto-osien asettelussa esiintyvän vaihtelun arvioitiin aiheuttavan vähäisiä, työvarojen vaihtelua aiheuttavia mittavirheitä lähinnä Steckel-kelaimissa. Ongelma arvioitiin kuitenkin yleiseksi suhteessa muihin käsiteltyihin kaavaamoprosessin virheisiin. Irto-osien kiinnitysten vällykset sallivat niiden paikoitukseen epätarkkuutta ennen kiinnikkeiden kiristystä. Asettelu voitaisiin yhtenäistää ohjeistuksella, ja tekemällä irto-osiin ja keernalaatikoihin kohdistusmerkit, jolloin vällykset asettuisivat aina samaan asentoon.

5.2.18 Oikea hiekan tyyppi keernanvalmistuksessa

Keernanvalmistuksessa epäiltiin esiintyvän virheitä hiekkakerrosten paksuuksissa tai hiekkalaadun valinnassa. Nykyisellään esimerkiksi hiekkakerrosten paksuuksia ei mitata, vaan kaavaus on työntekijöiden ammattitaidon ja huolellisuuden varassa. Ongelmien todelliseen esiintymiseen ei kuitenkaan tarkemmin pohdittaessa osattu ottaa kantaa, ja virheiden valvominen koettiin liian hankalaksi.

5.2.19 Hiekan pölypitoisuus mikserillä

Kaavaushiekassa on havaittu ajoittain kohonneita pölypitoisuuksia. Pölypitoisuuden kohoamista epäillään yleensä muotteja kaavatessa, esimerkiksi kun hiekka kovettuu hitaasti, murtuu helposti tai kun muotin osat rikkoutuvat mallia irrotettaessa. Epäilyn pohjalta hiekasta otetaan näyte seula-analyysiin, josta voidaan todeta mahdollinen kohonnut pölypitoisuus. Tällaisten tapausten syyksi paljastuu useimmiten jokin häiriö hiekkajärjestelmän laitteistossa. Seula-analyyseja tehdään nykyisellään satunnaisesti, yleensä edellä mainitun kaltaisten epäilyjen pohjalta. Pölypitoisuuden vaihteluiden arviointiin aiheuttavan lähinnä muottirikkoja ja pintahuokoisuutta muotin alentuneen lujouden ja kaasunläpäisevyyden sekä sideaineen kaasunmuodostuksen kautta.

Kiertohiekkajärjestelmässä syntyy pölyä varsinaisten hiekan elvytysvaiheiden lisäksi jonkin verran myös paineilmatoimisessa hiekan siirtojärjestelmässä. Pölyä siis syntyy käytännössä kaikissa vaiheissa, joissa kiertohiekka liikkuessaan hiertyy. Tämän vuoksi pölynpoistoja on varsinaisten hiekkäsittelylaitteiden lisäksi myös kaikissa muissa kiertohiekkaprosessin vaiheissa, kuten lähettimillä ja ennen siloja. Hiekan kulkureitit näkyvät siilokaaviosta (liite 3).

Koska mainitut pölypitoisuuden vaihtelun syyt ovat tiedossa, voitaisiin pölypitoisuuden valvomisen sijasta valvoa pölynpoistolaitteiston toimintaa. Näin voitaisiin olettaa, että mikäli hajonnan lähteen eli pölynpoistolaitteiston toiminta on määrättyissä rajoissa, on myös lopputuote eli kaavaushiekka pölypitoisuuden osalta valvontarajoissa. Laitteiston toimintaa on mahdollista varmistaa ja valvoa säännöllisillä, kirjattavilla tarkastuksilla ja perusteellisemmän selvityksen pohjalta mahdollisesti prosessiautomaatioon lisättävällä automaattisella valvonnalla. Laitteiston toimintaa tarkastetaan nykyisellään ajoittain,

mutta mikäli pölypitoisuus halutaan paremmin kontrolliin, täytyisi valvontaa tehdä kattavammin ja systemaattisemmin. Jäljitettävyyden varmistamiseksi tarkastukset on myös helppo kirjata ylös. Laitteiston toimintaa voidaan valvoa esimerkiksi tarkastamalla, että pölynpoiston imurit vetävät, alipaine on rajoissa, eivätkä pölysäkit ole täynnä.

Pölypitoisuuden mittaus seula-analyyseillä on jatkuvan prosessinseurannan kannalta hyvin työlästä ja epävarmaa. Mikäli mittapisteiden sijainti ja mittaustiheys valittaisiin niin, että pölypitoisuuden voitaisiin katsoa olevan kontrollissa yksittäisten muottien tarkkuudella, vaatisi seula-analyysien teko kohtuuttomasti resursseja. Mikäli pölypitoisuutta mitattaisiin jokaiselta viideltä syöttösekoittimelta, kustakin kahdesta tai kolmesta hiekkalaadusta, tulisi näytteenottopisteitä 12 kappaletta. Pölynpoistolaitteiden häiriötapauksissa pölypitoisuus voi nousta nopeasti, jolloin esimerkiksi viikon mittausvälillä voitaisiin pahimmassa tapauksessa kaavata neljä työpäivää kohonneella pölypitoisuudella. Kohonnut pölypitoisuus voisi myös osua näytteenottojen väliin, jolloin se ei näkyisi seula-analyysitulosten seurannassa. Laitehäiriön sattuessa hiekkaa pääsisi aina siiloihin ennen ongelman havaitsemista syöttösekoittimella. Yhden syöttösekoittimen seula-analyysissä kuluu kymmeniä minutteja näytteenotosta tulosten saamiseen. Näin ollen, vaikka pölypitoinen hiekka tulisi syöttösekoittimelle juuri mittaushetkellä, ehdittäisiin ennen tulosten saamista kaavata jo paljon pölypitoista hiekkaa.

Laitteiston valvonnan lisäksi voitaisiin kuitenkin tehdä säännöllisiä seula-analyysyjä harvemmallalla näytteenottovälillä. Näin voitaisiin havaita hiekan pölypitoisuuden mahdolliset pidempiaikaiset trendit, joita voi esiintyä, kun sama hiekka kiertää prosessissa pitkiä aikoja. Seula-analyysistä saadaan selville myös hiekan raejakauma ja keskiraekoko.

6 POHDINTA

Työn tuloksena syntyneet kontrollipiste-ehdotukset jäivät lopulta hyvin avoimiksi esityksiksi. Aluksi hyvin suuresta kontrolliehdotusten joukosta ei saatu rajattu riittävän varhaisessa vaiheessa karsittua riittävän pientä joukkoa työssä ilmenneiden ongelmien vuoksi. Näin ollen konkreettisempien perustelujen ja kontrollointimenetelmä-ehdotusten laatimisen vaatimaan työmäärään ei jäänyt riittävästi aikaa. Toisaalta opinnäytetyön oli tarkoitus olla nimenomaan esikartoitus laadunvalvontajärjestelmän kehittämiseksi, eikä niinkään loppuun asti vietävä projekti.

Vaikkei kartoituksessa erikseen käsitelty valunsuunnitteluprosessia, vahvistui työn edetessä entisestään käsitys valunsuunnittelun suuresta vaikutuksesta sekä prosessin että tuotteen laatuerojen ehkäisyssä.

Jälkikäteen katsottuna työstä teki haasteellisen se, että työn toteutustavan suunnittelua, valimoprosessiin perehtymistä ja itse kartoitustyötä täytyi tehdä päällekkäisesti, koska kukin vaihe oli sidoksissa toisiinsa. Aikataulullisia haasteita työlle aiheutti se, että kartoitus perustui pitkälti asiantuntijoiden eli valimon henkilökunnan konsultointiin suuressa organisaatiossa. Etenkin aikataulujen sovittaminen usean osanottajan palavereihin aiheutti monia pieniä viivästyksiä työn etenemiselle.

Tulevaisuudessa vastaavanlaisen työn tekemistä helpottaisi laatuerojen tilastointin kehittäminen. Vaikka laatuerojen tilastointiin on jo luotu hyviä järjestelmiä, voisi tilastointia edelleen kehittää ja yhtenäistää niin, että laatuerojen tyyppejä ja niiden epäilyttäviä aiheuttajia voitaisiin priorisoida entistä vaivattomammin korjaavien toimenpiteiden kohdistamiseksi.

LÄHTEET

Brown, J. R. 2000. Foseco ferrous foundryman's handbook. Oxford: Butterworth Heinemann

Carlson, C. S. 2012. Effective FMEAs achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Ghosh, A. 2000. Secondary Steelmaking : Principles and Applications. Boca Raton, Florida: CRC Press

Gullo, L. J. & Raheja, D. 2012. Design for Reliability. Oxford: Wiley-Blackwell.

Jackson, W. J. & Hubbard, M. W. 1979. Steelmaking for steel founders. Sheffield: Steel Castings Research and Trade Association

Keskinen, R. & Niemi, P. 2011a. Valumetallien sulatus. Valokaariuunit. ValuAtlas. Luettu 13.3.2014.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/sulatus_tao/sulatuspn_06.html

Keskinen, R. & Niemi, P. 2011b. Valumetallien sulatus. Valusangot ja astiat. ValuAtlas. Luettu 13.3.2014. http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_sulatustekniikka_14.pdf

Keskinen, R. & Niemi, P. 2011c. Valumetallien sulatus. Valuterästen sulatus ja käsittely. ValuAtlas. Luettu 14.3.2014.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/sulatus_tao/sulatuspn_11.html

Keskinen, R. & Niemi, P. 2011d. Valumetallien sulatus. Näytteenottolaitteet ja analysointi. ValuAtlas. Luettu 13.3.2014.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_sulatustekniikka_16.pdf

Meskanen, S. & Höök, T. Hiekkavalimon valimoprosessi. Sulankäsittely. Valuatlas. Luettu 24.9.2013.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimoprosessi/valimoprosessi_04.html

Meskanen, S. & Toivonen, P. Valimotekniikan perusteet. Rautametallien sulatus. ValuAtlas. Luettu 15.3.2014.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimotekniikanperusteet/vtp_40.html

Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials. Proceedings of an International Conference held in Dijon, France, 14-18 September 1998. 1999. Vienna: International Atomic Energy Agency. Luettu 13.2.2014. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1042_web.pdf

Weltner, A. 2009. Säteilytilanteisiin ja poikkeaviin tapahtumiin varautuminen. Vuosiraportti 2008. STUK-B 104. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014.

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b104_files/81210919423115567/default/stuk-b104.pdf

Weltner, A. 2010a. Säteilytilanteisiin ja poikkeaviin tapahtumiin varautuminen. Vuosiraportti 2009. STUK-B 113. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b113/_files/83470060534562991/default/stuk-b113.pdf

Weltner, A. 2010b. Varautuminen säteilytilanteisiin ja poikkeavat tapahtumat. Kolmannesvuosiraportti 2/2010. STUK-B 125. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b125/_files/84421968355393782/default/stuk-b125.pdf

Weltner, A. 2011a. Varautuminen säteilytilanteisiin ja poikkeavat tapahtumat. Kolmannesvuosiraportti 1/2011. STUK-B 136. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b136/_files/85962095076835527/default/stuk-b136-valmis.pdf

Weltner, A. 2011b. Varautuminen säteilytilanteisiin ja poikkeavat tapahtumat. Kolmannesvuosiraportti 2/2011. STUK-B 141. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b141/_files/86788167963050214/default/stuk-b141.pdf

Weltner, A. 2012a. Varautuminen säteilytilanteisiin ja poikkeavat tapahtumat. Kolmannesvuosiraportti 3/2011. STUK-B 143. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b143/_files/87365603454551209/default/stuk-b143.pdf

Weltner, A. 2012b. Varautuminen säteilytilanteisiin ja poikkeavat tapahtumat. Kolmannesvuosiraportti 1/2012. STUK-B 150. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b150/_files/87920459921490044/default/stuk-b150.pdf

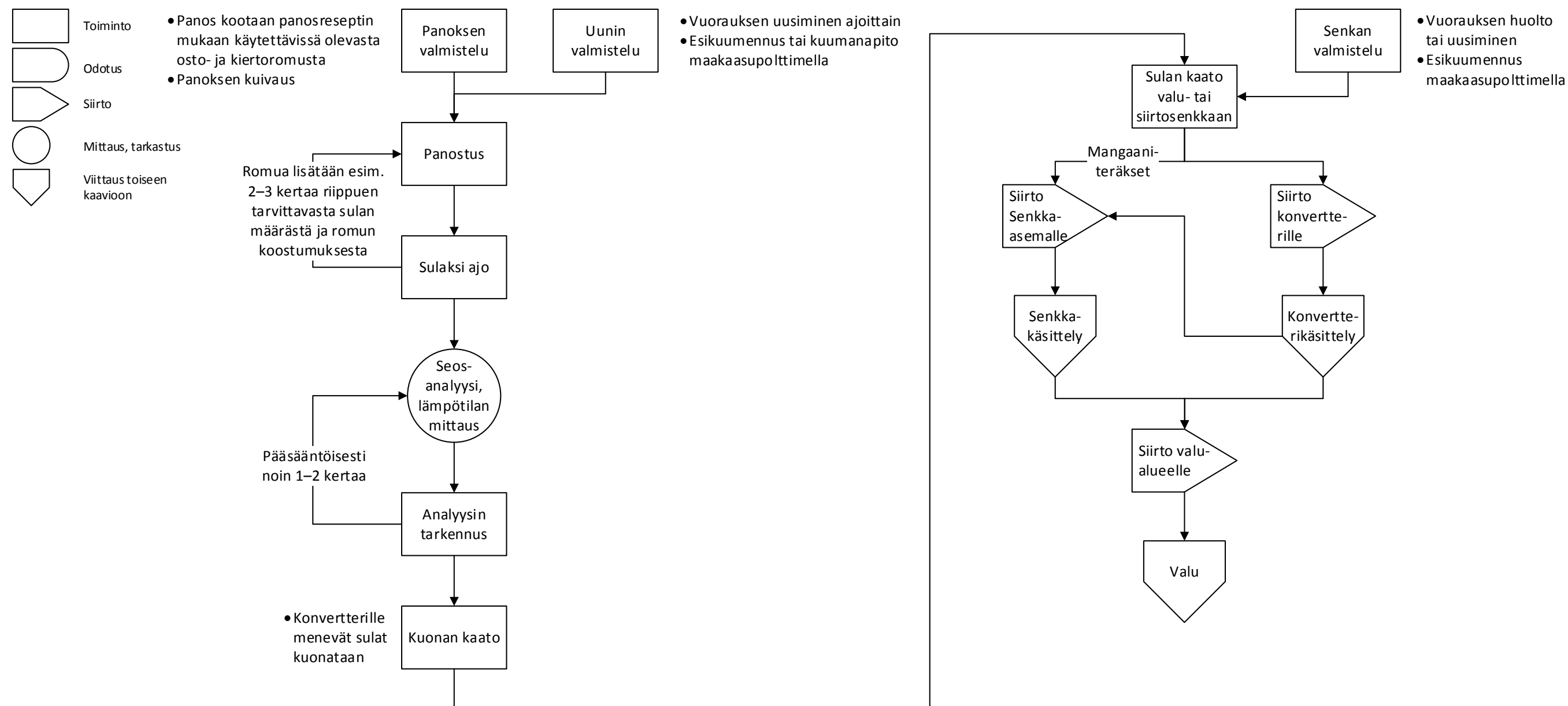
Weltner, A. 2014. Varautuminen säteilytilanteisiin ja poikkeavat tapahtumat. Kolmannesvuosiraportti 2–3/2013. STUK-B 170. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Luettu 13.2.2014. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/b_sarja/fi_FI/stuk-b170/_files/91228470971338136/default/stuk-b170.pdf

LIITTEET

Liite 1. Prosessikaaviot, Sulatto

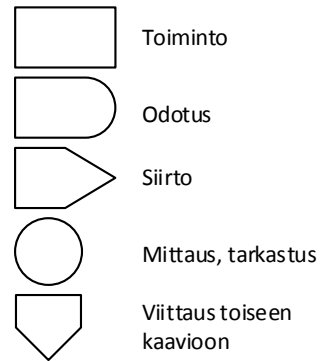
1 (4)

SULATUS JA SULATTOPROSESSI KOKONAISUUDESSAAN

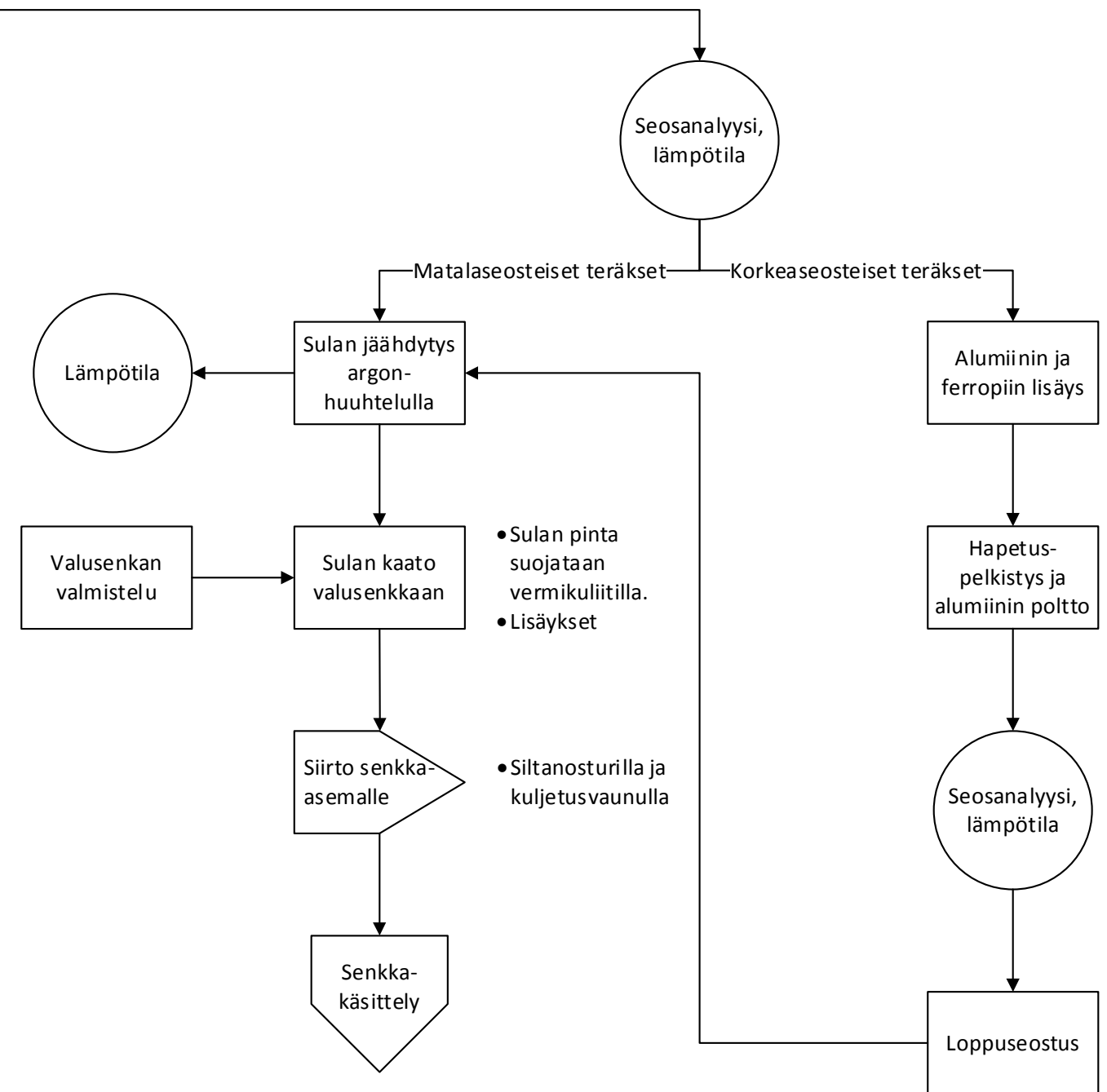
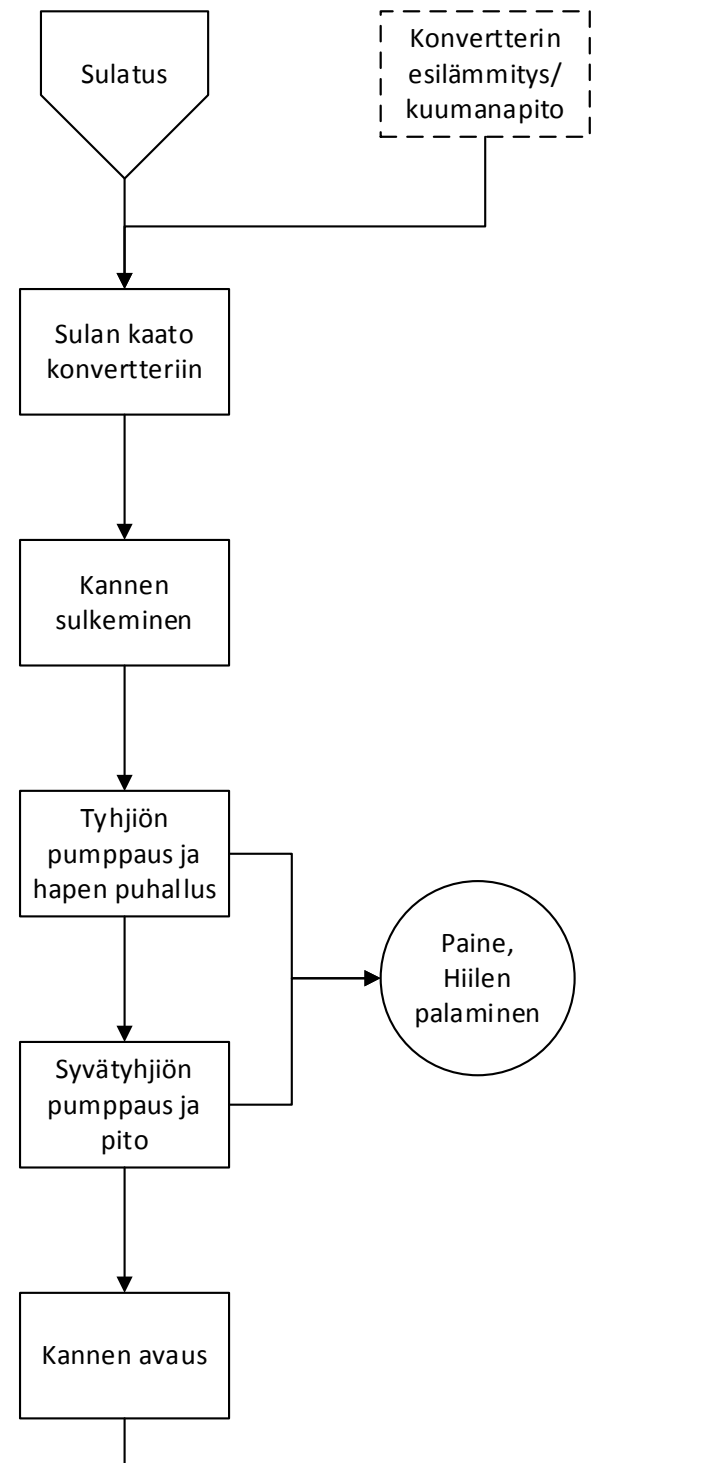


(jatkuu)

KONVERTTERIKÄSITTELY

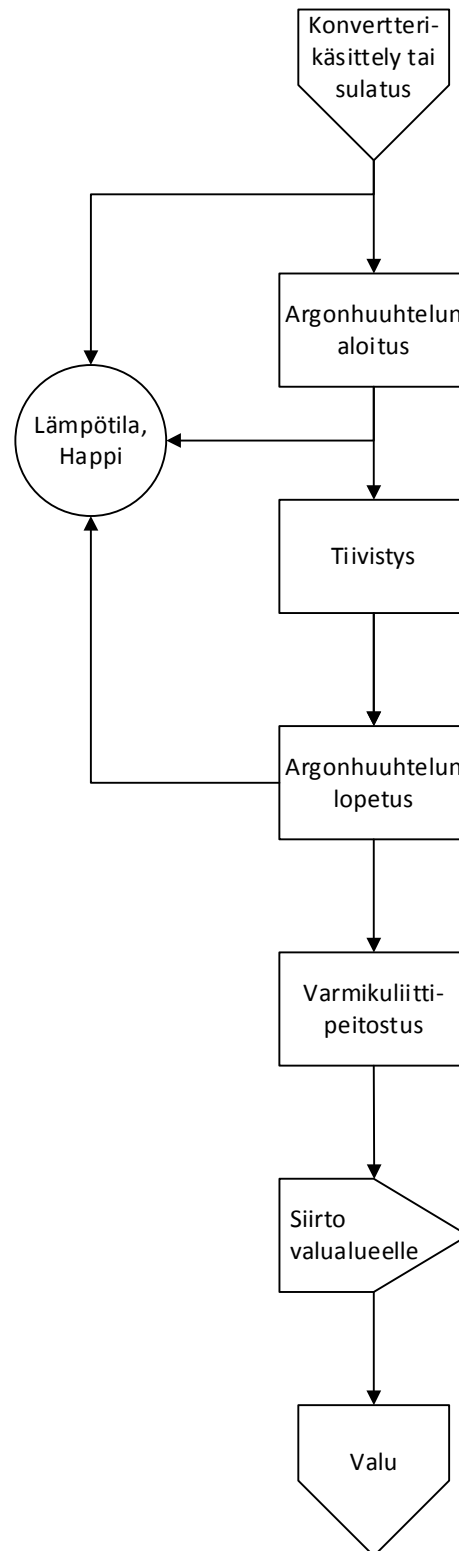
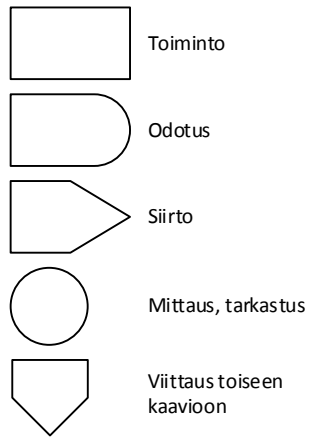


- Happipuhallus aloitetaan kun paine alittaa 0,8 bar.
- Happipuhalluksen aikana paine lasketaan alle 400 mbar:iin.
- Kun 0,3% hiiltä on palamatta, käynnistetään seuraava alipainepumppu.
- Syvätyhjiön pumppaus aloitetaan kun happipuhallus on lopetettu
- Lopullinen paine on n. 0,5 mbar, jota pidetään vaaditun hiilipitoisuuden mukaan 2–15 min.



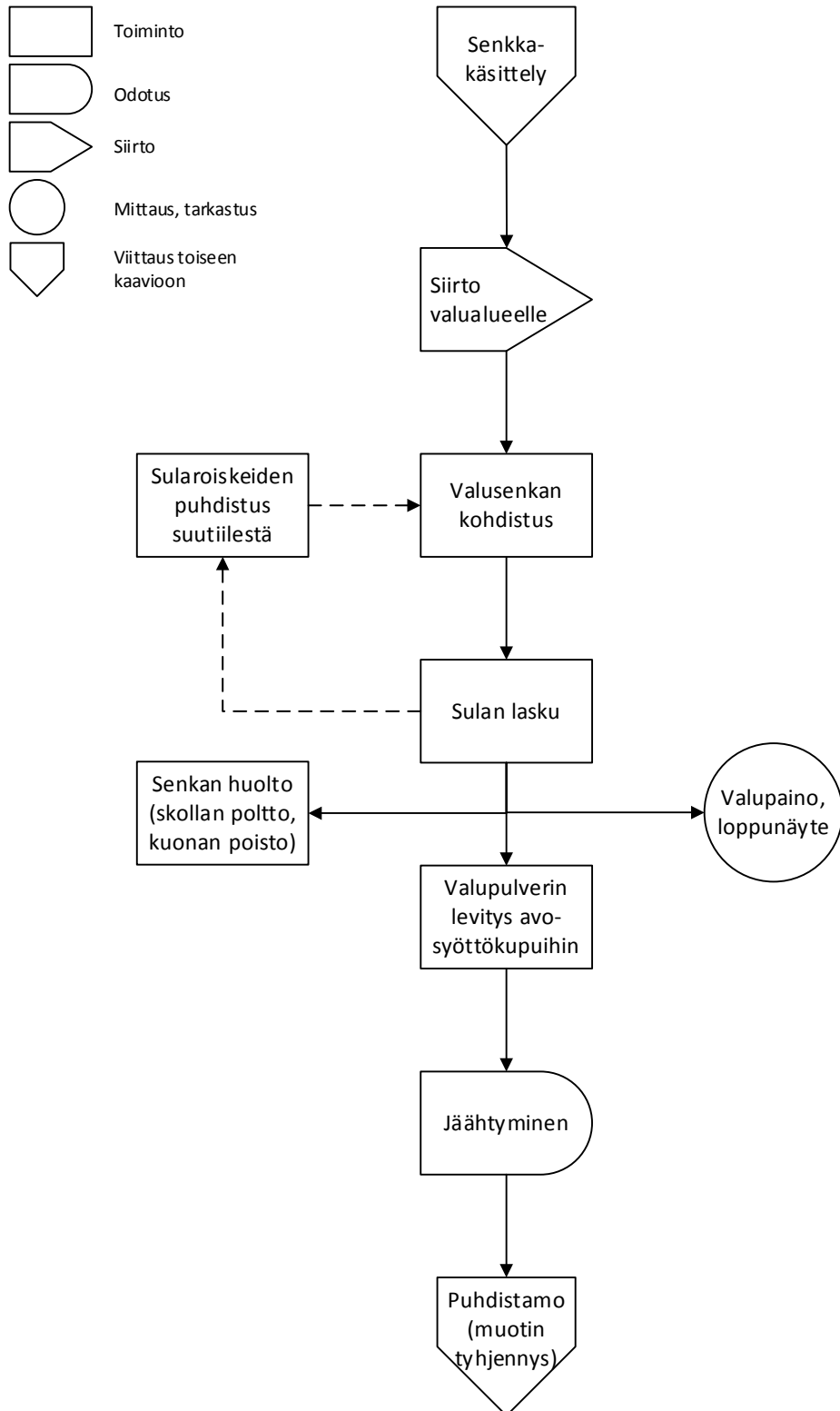
(jatkuu)

SENKKAKÄSITTELY

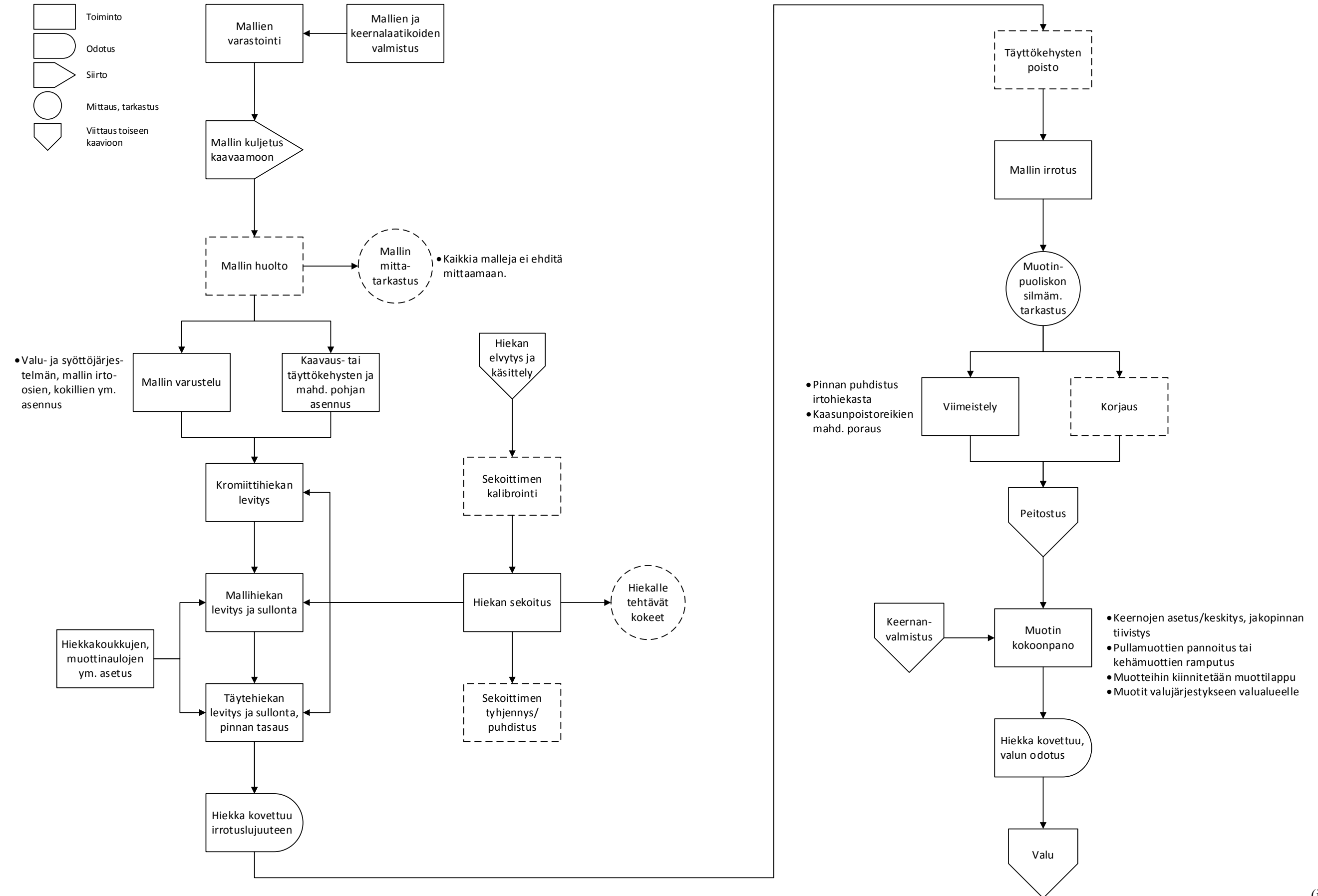


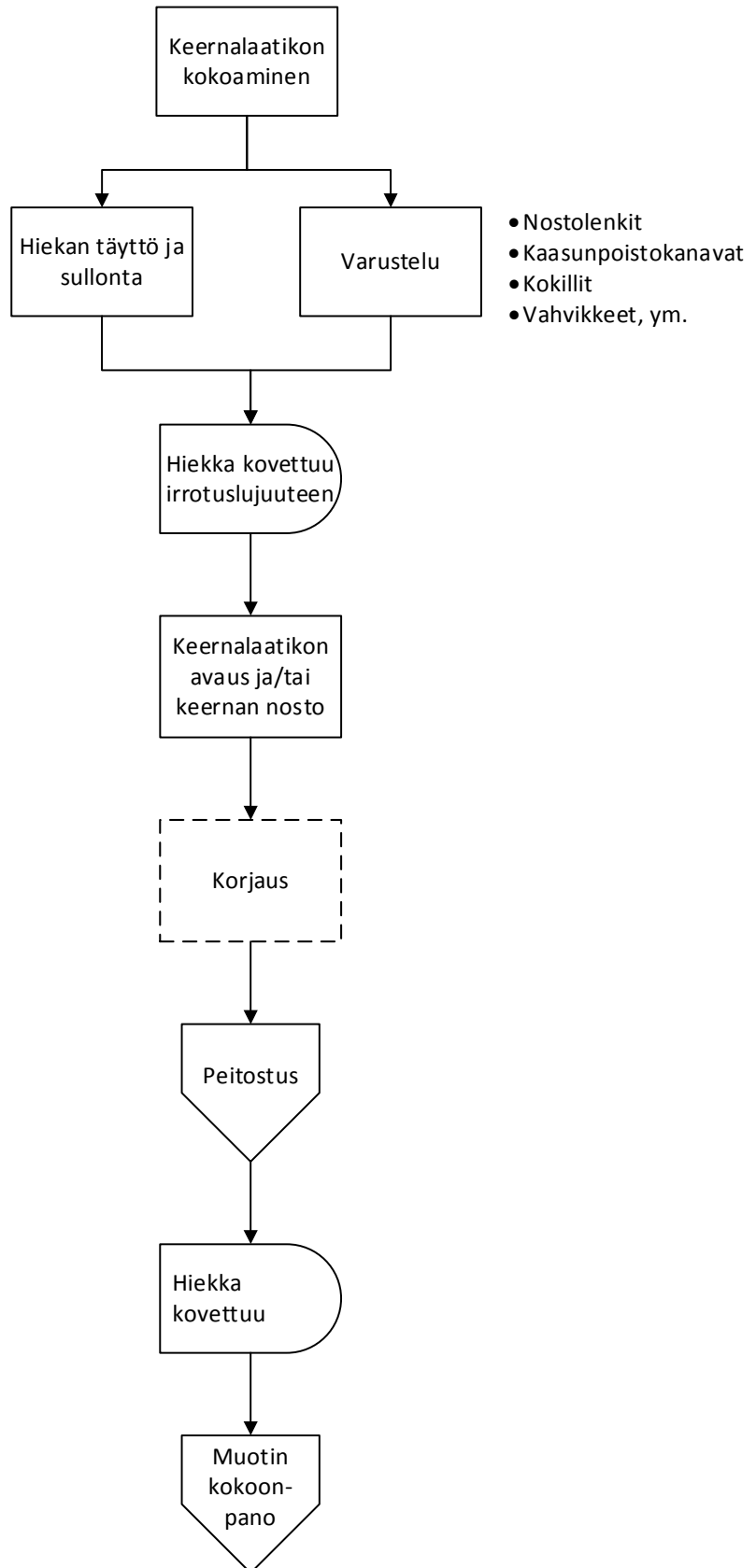
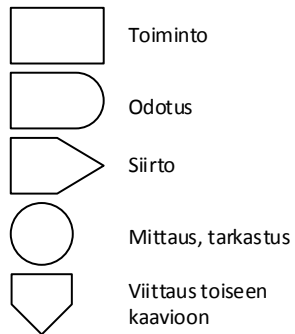
(jatkuu)

VALU



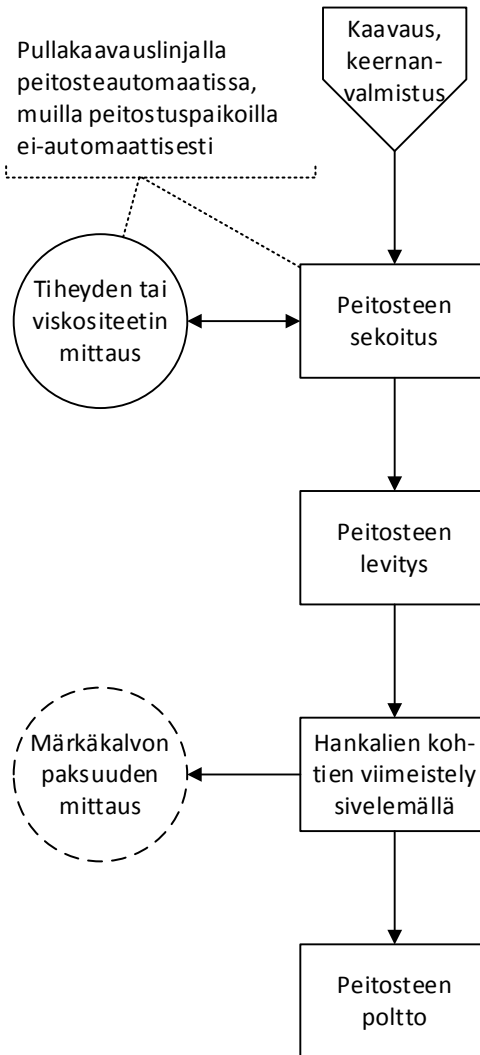
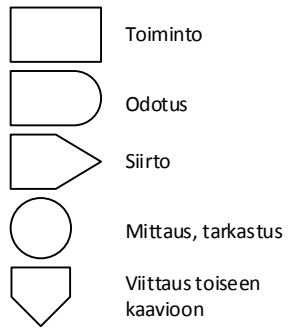
KAVAUS, PÄÄKAAVIO



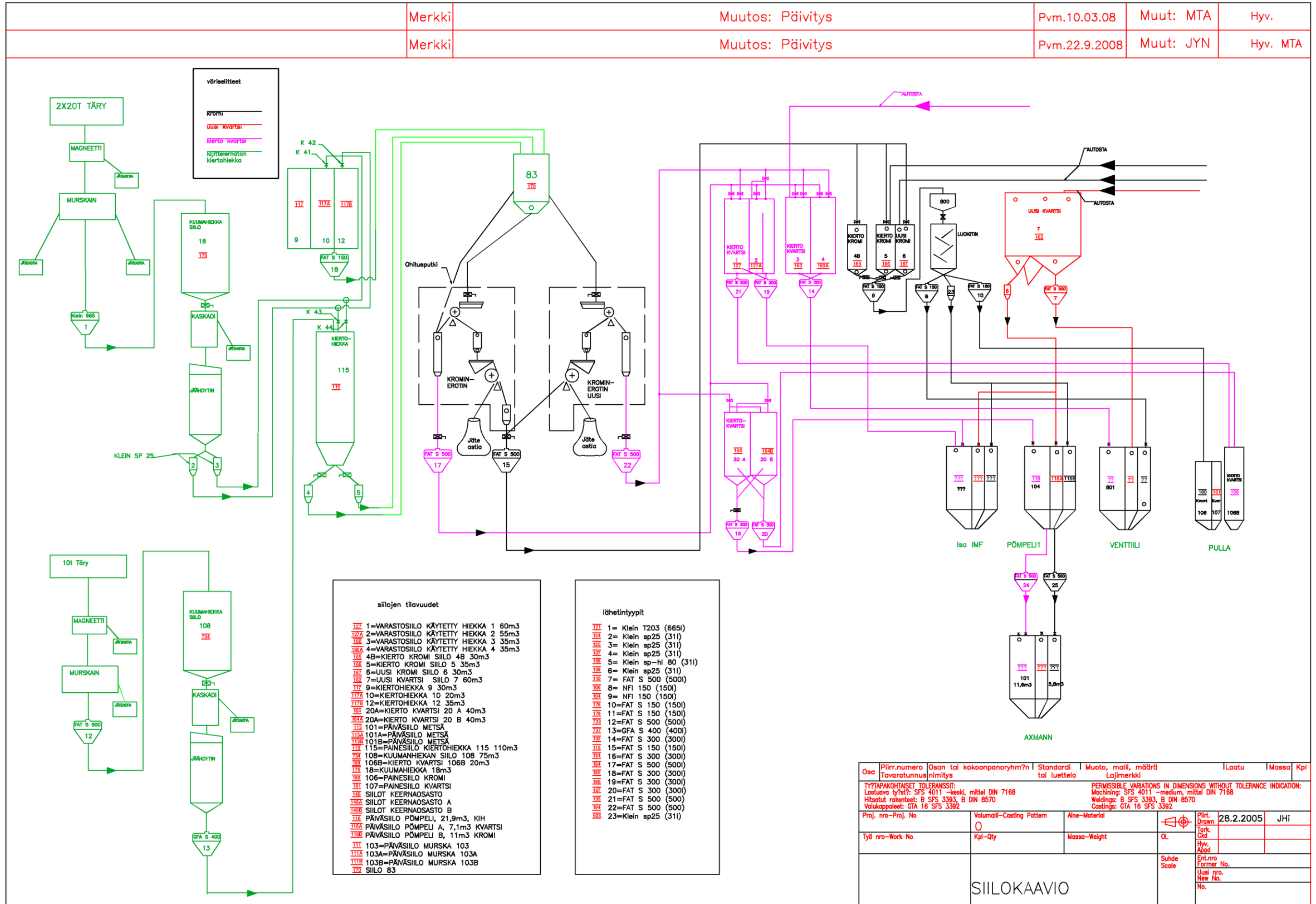
KEERNANVALMISTUS

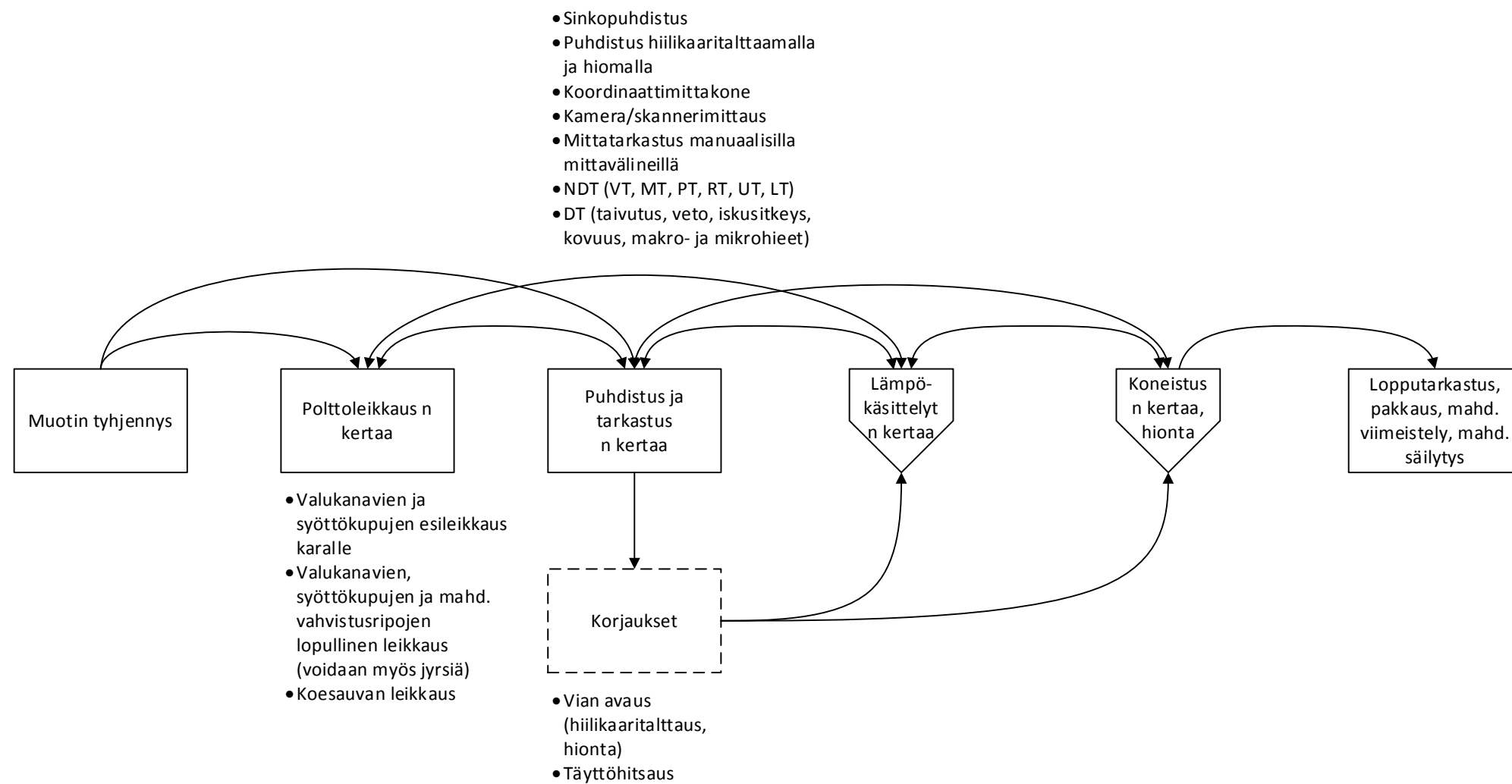
(jatkuu)

PEITOSTUS



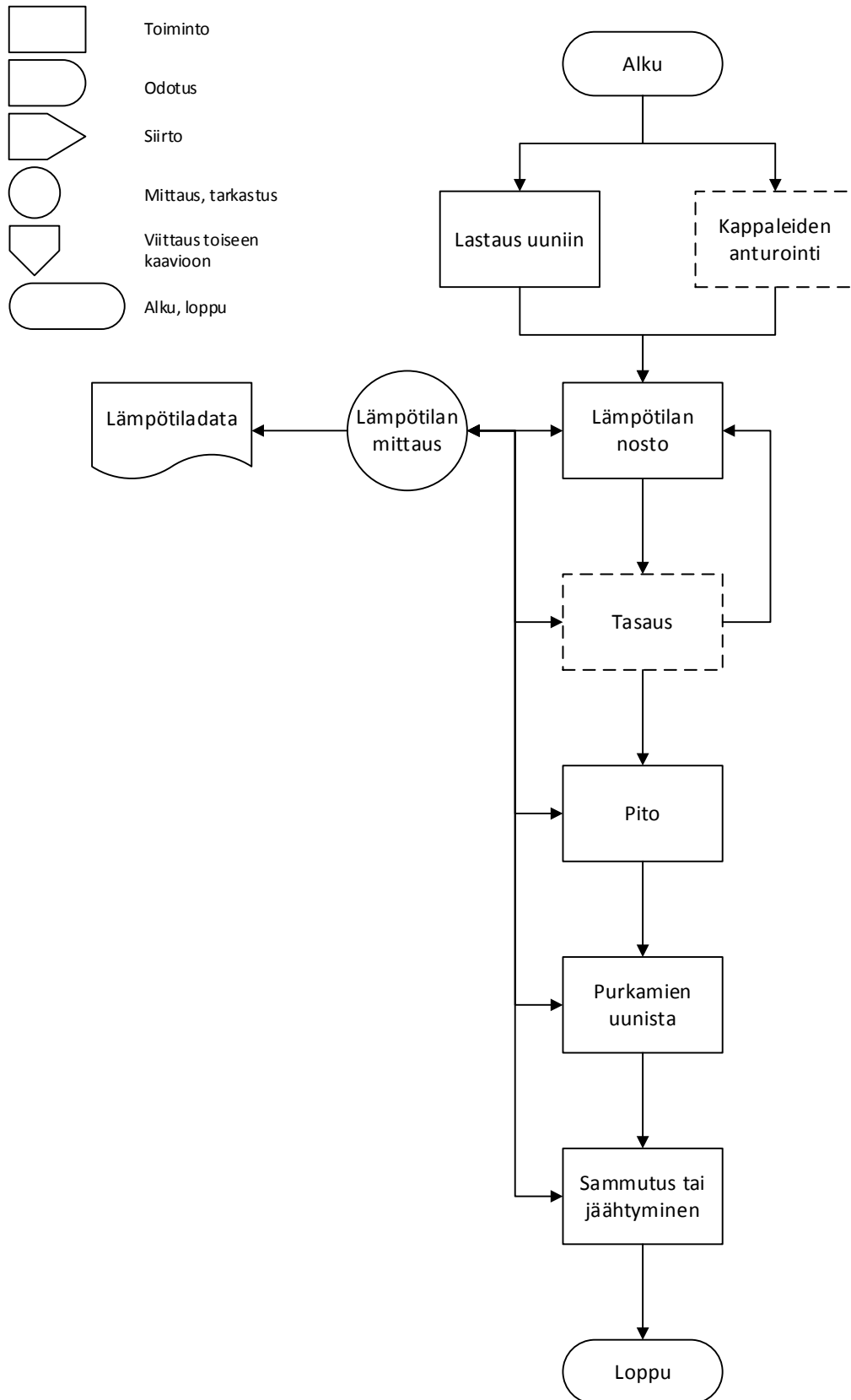
Liite 3. Siilokaavio (Metso Minerals 2012)



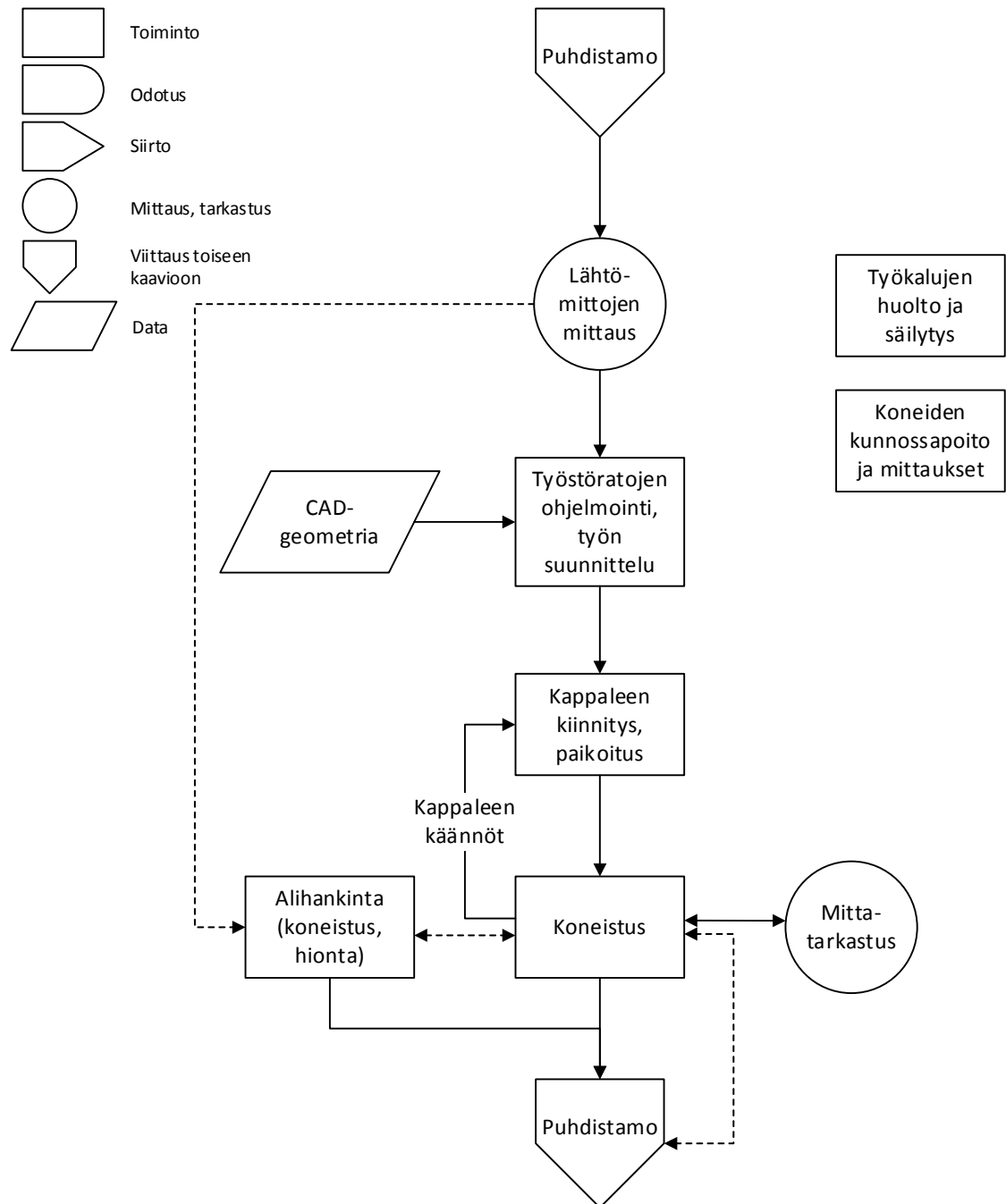
PÄÄKAAVIO

(jatkuu)

LÄMPÖKÄSITTELYT



Liite 5. Prosessikaaviot, Koneistus

KONEISTUS

Liite 7. Sulaton aivorihiin tulokset

1 (2)

Kaavio	Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan kannalta	Esiintyminen
Sulatus (pääkaavio)	Panoksen valmistelu	Tiedonkulun virheet (väärä seos, väärä valupaino)	Väärä seos -> sulaerän kappaleiden hylkäys (vajaavalu on arvioitu erikseen)	4	4	3
Sulatus (pääkaavio)	Panoksen valmistelu	Tiedonkulun virheet (väärä seos, väärä valupaino)	Väärä valupaino -> Vajaavalu, imuhuokoisuusriski (väärä seos on arvioitu erikseen)	4	4	2
Sulatus (pääkaavio)	Panoksen valmistelu	Kiertoromun lajittelu (lajittelu- ja merkitsemisvirheet, merkitsemättä jättäminen, väärät säilytyspaikat)	Analyysi, sulaerän hylkäys	3	3	3
Sulatus (pääkaavio)	Panoksen valmistelu	Ostorumun radioaktiivisuus	Kontaminaatio	6	6	2
Sulatus (pääkaavio)	Panoksen valmistelu	Punnituksen kirjausvirheet	Liian pieni panos -> vajaavalu	2	1	2
Sulatus (pääkaavio)	Uunin valmistelu	Vuorauksen kontaminaatiot	Analyysin tarkkuus	3	2	4
Sulatus (pääkaavio)	Sulaksi ajo	Epäpuhtauksien hallinta	Fosfori- ja rikkipitoisuudet, keittovalujen epäpuhtaudet	3	2	2
Sulatus (pääkaavio)	Sulaksi ajo	Elektrodin katkeaminen	Hiilipitoisuus nousee	1	1	3
Sulatus, konvertterikäsitteily	Seosanalyysi, lämpötilan mittaus	Näytteen luotettavuus (näytteenottotapa, näytteenottoajankohta)	Analyysin tarkkuus (konvertterilla)	4	4	2
Sulatus, konvertterikäsitteily	Seosanalyysi, lämpötilan mittaus	Spektrometrin käyttötapa	Analyysin tarkkuus (konvertterilla)	2	2	2
Sulatus, konvertterikäsitteily	Analyysin tarkennus	Lisäysten saanto	Analyysi (konvertterilla)	4	4	2
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Siirtosenkan vuorauksen metalliset kontaminaatiot	Nikkeli, konvertterilla vaikeasti poistettavat aineet sulassa -> analyysi	2	2	2
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Valusenkan vuorauksen metalliset kontaminaatiot	Analyysi	4	4	3 -> 2
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Stopparimekanismin virheet	Stoppari ei sulkeudu	2	1	3
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Valusenkan lämpötila	Stoppari ei sulkeudu (kosteuden vaikutus on arvioitu erikseen)	3	3	2
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Valusenkan lämpötila	Kosteus -> happi ja vety -> huokoisuus, säröily, sitkeys ("stoppari ei sulkeudu" on arvioitu erikseen)	-	-	1
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Valusenkan kuonan poisto	Seuraavan sulan kuonapuhtaus	2	3	2
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Valusenkan skollan poltto	Pohjan lämpö seuraavissa valuissa -> stoppari ei aukea, ei pystytä valamaan kaikkia jos suutiili menee tukkoon	3	3	2
Konvertterikäsitteily	Tyhjiön pumppaus ja hapen puhallus	Mittareiden kalibrointi (virtausmittarit, patmeter, painemittari)	Analyysipoikkeamat	6	4	1
Konvertterikäsitteily	Sulan kaato valusenkaan	Valusuihkun turbulentsisuus/muoto (konvertterin nokkan kunto)	Jäännösalmiini jää alas -> Seosaineet hapettuvat?	2	3	2
Konvertterikäsitteily	Sulan kaato valusenkaan	Stopparin ja suutiilen kunnan varmistaminen	Kahden senkan valuissa valun mahd. hylkäys, jos stoppari jää kiinni	4	4	2
Senkkäkäsitteily	Argonhuuhtelun aloitus	Lämpötilan mittaustapa, alkupuhallus	Lämpötilan alitus (loppulämpötilan osalta ks. argonhuuhtelun lopetus)	1	1	3
Senkkäkäsitteily	Argonhuuhtelun aloitus	Lanssin kunto	Sulkeumapuhtaus	1	1	1
Senkkäkäsitteily	Tiivistys	Oikea langansyöttö (nopeus, määrä, syöttöjärjestelmän luistamattomuus), tiivistysjärjestys	Saanto, analyysi	4	4	3
Senkkäkäsitteily	Argonhuuhtelun lopetus	Riittävän pitkä huutelu, argonin paine	Sulkeumapuhtaus	2	2	2
Senkkäkäsitteily	Argonhuuhtelun lopetus	Seisotusaika (valuun lähtö venyy)	Stopparin juuttuminen, valulämpötila	2	1	1
Senkkäkäsitteily	Argonhuuhtelun lopetus	Termoelementin kalibrointi	Valulämpötilan alitus -> kylmäjuoksut, -poimut, -saumat ja -haulit?	4	3	2

(jatkuu)

Kaavio	Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan kannalta	Esiintyminen
Senkkäkäsittely	Vermikuliittipeitostus	Kahden suutiilen valussa epätäydellinen pinnan suojaus	Toinen suutiili ei aukea -> koko lasku toisesta valukanavasta	2	2	2
Valu	Valusenkan kohdistus	Kohdistustarkkuus	Roiskeista syntyvät haulit, valuaika, valutapahtuma ei vastaa suunnitelmaa, kylmäpoimut	2	3	4
Valu	Sulan lasku	Valusuihkun turbulentsisuus / ilman sekoittuminen, (esim. senkan heiluminen)	Kaasuvirheet, kaasuhuokoisuus	2	3	4
Valu	Sulan lasku	Maattaus / alitäyttö	Alitäyttö -> imuhuokoisuusriski	4	4	2
Valu	Valun suunnittelu?	Valuaika / laskunopeus	Kylmäpoimut, imuhuokoisuusriski	5	4	3
Valu	Sularoiskeiden puhdistus suutiilestä	Suutiilen puhtaus	Kaasuvirheet, kaasuhuokoisuus	2	3	3
Valu	Valupulverin levitys avosyöttökupuihin	Valupulverin unohtuminen	Imuhuokoisuus	5	4	2
Valu	Valupulverin levitys avosyöttökupuihin	Määrä, osumatarkkuus	Imuhuokoisuus	2	3	4
Valu	Valupulverin levitys avosyöttökupuihin	Väärä pulveri	Imuhuokoisuus	2	3	2
Valu	Valupainon punnitus	Vaa'an kalibrointi / tarkkuus	Viimeisen valun valamispäätös -> vajaavalu tai turha valamatta jättäminen	3	2	2

Liite 8. Kaavaamon aivorihiin tulokset

1 (2)

Kaavio	Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakaan kannalta	Esiintyminen
Kaavaus, pääkaavio	Valun suunnittelu	Malligeometrian oikeellisuus	Väärä geometria/mitat	5	5	2
Kaavaus, pääkaavio	Mallien ja keernalaatikoiden valmistus	Mallimateriaalin laatu (suunnittelun määritykset, toimitetun laadun tarkastus/jäljitettävyyttä)	Pinnanlaatu valupintaisina toimitettavilla kappaleilla	2	2	3
Kaavaus, pääkaavio	Valun suunnittelu	Mallien ja keernalaatikoiden rakenne (suunnittelun määritykset, toimitetun laadun tarkastus/jäljitettävyyttä)	Mittavirheet	5	5	2
Kaavaus, pääkaavio	Valun suunnittelu	Kutistuman arviointi	Mittavirheet	5	4	2
Kaavaus, pääkaavio	Valun suunnittelu	Muodonmuutosten arviointi	Mittavirheet	5	4	2
Kaavaus, pääkaavio	Mallin varastointi	Kosteus (mallin muodonmuutosriski) Kosteus kuljetuksen aikana on käsitelty erikseen.	Mittavirheet	2	2	3
Kaavaus, pääkaavio	Mallin varastointi	Lämpötila, lämpötilan vaihtelu, säilytysalustan suoruuus, varastointiaika -> mallin muodonmuutosriski	Mittavirheet	2	1	2
Kaavaus, pääkaavio	Mallin kuljetus varastolta / valmistajalta mallipajalle	Kolhut	NA (prosessilaatua)	2	1	3
Kaavaus, pääkaavio	Mallin kuljetus varastolta / valmistajalta mallipajalle	Kosteus (Kosteus varastoinnin aikana on käsitelty erikseen)	Pinnanlaatu (pinnan kosteus -> hiekan lujuus)	2	1	1
Kaavaus, pääkaavio	Mallin huolto	Pinnoiteaineen laatu	Pinnanlaatu valupintaisina toimitettavilla kappaleilla	2	1	3
Kaavaus, pääkaavio	Mallin huolto	Mallimuutokset	Väärä geometria/mitat	2	2	2
Kaavaus, pääkaavio	Mallin mittatarkastus	Mittalaitteiden kalibrointi	Mittavirheet	5	5	1
Kaavaus, pääkaavio	Mallin mittatarkastus	Mittalaitteen / menetelmän valinta	Mittavirheet	5	5	1
Kaavaus, pääkaavio	Mallin varustelu	Kaavaustarvikkeiden kosteus	Pinnanlaatu, kaasuhuokoisuus	2	2	3
Kaavaus, pääkaavio	Mallin varustelu	Kokillien puhtaus	Pinnanlaatu	2	2	3
Kaavaus, pääkaavio	Mallin varustelu	Muottitukien rakenne & keernan tuenta raskaissa valuissa	Muodonmuutos kappaleeseen, muotin hylkäys	5	4	2
Kaavaus, pääkaavio	Mallin varustelu	Valukanavistojen puhtaus	Valukappaleen sisäiset virheet, pintavirheet	3	2	4
Kaavaus, pääkaavio	Kaavaus- tai täyttökehysten ja mahd. pohjan asennus	Kaavausalustan tasomaisuus	Mittavirheet	3	2	2
Kaavaus, pääkaavio	Kaavaus- tai täyttökehysten ja mahd. pohjan asennus	Kaavauspaikan jäljitettävyyttä				
Kaavaus, pääkaavio	Hiekan sekoitus	Hiekan lämpötila	Pintavirheet	2	1	3
Kaavaus, pääkaavio	Hiekan sekoitus	Sekoittimen kunto/kuluneisuus (siivet)	Pintavirheet	2	1	2
Kaavaus, pääkaavio	Hiekan sekoitus	Sekoittimen kalibrointi	Pintavirheet	2	1	2
Kaavaus, pääkaavio	Hiekan sekoitus	Sekoittimen tyhjennys / puhdistus	Pintavirheet	2	1	2
Kaavaus, pääkaavio	Hiekalle tehtävät kokeet	Taivutuslujuus	Mittatarkkuus	3	2	3
Kaavaus, pääkaavio	Kromiittihiekan levitys	Penkkiaika (penkkiajan tietäminen)	Pinnanlaatu	2	1	3
Kaavaus, pääkaavio	Mallihiekan levitys ja sullonta	Penkkiaika (penkkiajan tietäminen)	Pinnanlaatu	2	1	3
Kaavaus, pääkaavio	Täytehiekkan levitys, ja sullonta, pinnan tasaus	Sullonta (myös keernanvalmistuksessa)	Muotin halkeaminen (Mittatarkkuus on arvioitu erikseen.)	2	1	3
Kaavaus, pääkaavio	Täytehiekkan levitys, ja sullonta, pinnan tasaus	Sullonta (myös keernanvalmistuksessa)	Muotin halkeaminen (Mittatarkkuus on arvioitu erikseen.)	5	4	3
Kaavaus, pääkaavio	Hiekkakoukkujen, muottitukien ym. asetus	Hiekkakoukkujen lukumäärä	Muotin rikkoutuminen	2	1	3
Kaavaus, pääkaavio	Hiekkakoukkujen, muottitukien ym. asetus	Irtosloovarien jäykkyys	Mittavirheet (esim. keerna kelluu)	5	4	3

(jatkuu)

Kaavio	Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakaan kannalta	Esiintyminen
Kaavaus, pääkaavio	Hiekka kovettuu irrotuslujuuteen	Kovettumisen päätyminen (irrotuslujuus / kovettumisnopeus)	Muodonmuutosriski (muotin lujuus)	2	1	4
Kaavaus, pääkaavio	Täyttökehysten poisto	Täyttökehysten poistotapa	Muotinosan rikkoutuminen kaavauksessa	2	2	3
Kaavaus, pääkaavio	Mallin irrotus	Vetosuunnan kohtisuoruus (myös keernanvalmistuksessa)	Muotinosan rikkoutuminen kaavauksessa	2	1	4
Kaavaus, pääkaavio	Korjaus	Korjausten jäljitettävyyttä	NA (Hämmennystä prosessin- ja laadunvalvonnassa)			
Kaavaus, pääkaavio	Korjaus	Korjaukset	Pinnanlaatu, mittatarkkuus, sisäiset virheet	3	3	3
Kaavaus, pääkaavio	Muotin kokoonpano	Valupohjien suoruus	Muotin katkeaminen -> kappaleen hylkäys	4	3	4
Kaavaus, pääkaavio	Muotin kokoonpano	Muotin yläpinnan suoruus / sitominen	Muotin katkeaminen -> kappaleen hylkäys	4	3	3
Kaavaus, pääkaavio	Muotin kokoonpano	Pullien seinämävahvuudet	Muotin rikkoutuminen valussa	4	3	4
Kaavaus, pääkaavio	Muotin kokoonpano	Keernojen paikoitus/asettelu	Mittavirheet	5	4	3
Kaavaus, pääkaavio	Hiekka kovettuu, valun odotus	Valunodotusaika (muottihygienia)	Sisäiset virheet	3	3	3
Keernanvalmistus	Keernalaatikon kokoaminen	Keernalaatikoiden välysten tarkastus	Mittavirheet	5	4	3
Keernanvalmistus	Keernalaatikon kokoaminen	Irto-osien asettelu	Mittavirheet	2	3	4
Keernanvalmistus	Hiekan täyttö ja sullonta	Oikea hiekan tyyppi	Metallin tunkeumavirheet	3	3	4
Keernanvalmistus	Hiekan täyttö ja sullonta	Epätäydellinen sullonta	Tunkeumavirheet, kaasuhuokoisuus, mittavirheet	2	2	4
Keernanvalmistus	Hiekka kovettuu irrotuslujuuteen	ks. Muottien kaavaus				
Keernanvalmistus	Keernalaatikon avaus ja/tai keernan nosto	ks. Muottien kaavaus, mallin irrotus				
Keernanvalmistus	Hiekka kovettuu	ks. Muottien kaavaus				
Peitostus	Peitosteen sekoitus	Tarvittavan ohenteen määrä	Pureumat, kuoriutumavirheet (ks. muistiinpanokenttä)	2	2	3
Peitostus	Tiheyden tai viskositeetin mittaaminen	Tiheys ja viskositeetti (Baumé-tikku, Ford-kuppi)	Ks. Märkäkalvon paksuus			
Peitostus	Peitosteen levitys	Ilmottumisaika ennen peitostusta	Pintavirheet	2	2	3
Peitostus	Hankalien kohtien viimeistely sivelemällä	Menetelmä (pensseli)	Ohut kalvo -> hiekka palaa kiinni, pinnanlaatu (sutijäljet)	2	2	4
Peitostus	Peitosteen poltto	Mattaantumisaika	Pintavirheet	2	2	4
Peitostus	Peitosteen poltto	Puutteellinen palaminen/kuivuminen	Pintahuokoisuus	2	2	4
Peitostus	Märkäkalvon paksuuden mittaaminen	Märkäkalvon paksuus	Pintavirheet, puhallukset, muotovirheet (ks. muistiinpanokenttä)			
Hiekan elvytys, hiekkakierto	Hiekan elvytys ja käsittely	Erotetun kromiitin kromiittipitoisuus	Vakavat sintrautumavirheet	4	3	2
Hiekan elvytys, hiekkakierto	Hiekan elvytys ja käsittely	Erotetun kvartsin kromiittipitoisuus	Sintrautumavirheet (koskee isoa tuotantoa kys. ajanjaksolla)	3	2	3
Hiekan elvytys, hiekkakierto	Hiekan elvytys ja käsittely	Hiekan kosteus mikserillä	Pinnanlaatu	3	3	3
Hiekan elvytys, hiekkakierto	Hiekan elvytys ja käsittely	Hiekan pölypitoisuus mikserillä	Muottirikko, pintahuokoisuus	3	3	4

Liite 9. Puhdistamon aivoriihien tulokset

1 (2)

Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan kannalta	Esiintyminen
Muotin tyhjennys	Tyhjennyslämpötila	Mittatarkkuus (kylmärepeämät arvoitettu erikseen)	2	1	1
Muotin tyhjennys	Tyhjennyslämpötila	Kylmärepeämät (mittatarkkuus arvoitettu erikseen)	2	1	1
Valukanavien ja syöttökupujen esileikkaus karalle	Polttoleikkuuroiskeen kertyminen kappaleen päälle	Verkkorepeämät	2	1	1
Valukanavien ja syöttökupujen leikkaus	Leikkuupituus	Työvara loppuu	2	3	2
Valukanavien ja syöttökupujen leikkaus	Lämmöntuonti	Säröily	4	4	2
Koesauva-aihion leikkaus	Leikkuupituus	Työvara loppuu	2	1	1
Koesauva-aihion leikkaus	Lämmöntuonti	Säröily	2	1	1
Puhdistus hiilikaaritaltaamalla ja hiomalla	Leikkuupituus	Työvara loppuu	2	3	2
Puhdistus hiilikaaritaltaamalla ja hiomalla	Lämmöntuonti	Säröily	2	2	2
Mittaus koordinaattimittakoneella	Koneen kalibrointi (käsitelty myös kaavaamon osuudessa)	Mittatarkkuus	-	-	1
Mittaus koordinaattimittakoneella	Mittauslämpötila (kappaleen)	Mittatarkkuus	-	-	1
Kameramittaus	Kalibrointi	Mittatarkkuus	-	-	1
Kameramittaus	Mittauslämpötila	Mittatarkkuus	-	-	1
Mittaus manuaalisilla mittavälineillä	Kalibrointi	Mittatarkkuus	-	-	1
Mittaus manuaalisilla mittavälineillä	Mittauslämpötila (kappaleen ja mittavälineen)	Mittatarkkuus	5	6	1
Rikkomaton aineenkoetus (VT, MT, PT, RT, UT, LT)	NDT-välineiden kunnon valvonta	Asiakkaalle päätyvät virheet	5	5	3
Rikkomaton aineenkoetus (VT, MT, PT, RT, UT, LT)	Tarkastustyön toteutus, tarkastussuunnitelma	Asiakkaalle päätyvät virheet	5	6	2
Rikkova aineenkoetus (taivutus, veto, iskutkeys, kovuus, makro- ja mikrohieet)	Aihoiden aineen laatu	Joudutaan tekemään uudet sauvat ja kokeet, jos ne on ehditty tehdä ennen vikojen havaitsemista.	2	1	3
Rikkova aineenkoetus (taivutus, veto, iskutkeys, kovuus, makro- ja mikrohieet)	Aihoiden koneistuksen laatu		-	-	1
Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Avausmenetelmä (menetelmän valinta, dokumentointi, jäljitettävyys)	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Avauksen lämmöntuonti	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Hitsauksen lämmöntuonti	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Hitsin laatu	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Avauksen pohjan puhtaus	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
Lopputarkastus, pakkaus, viimeistely, säilytys	Pakkausten ohjeidenmukaisuus	Vauriot kuljetuksen aikana	-	-	1
Lopputarkastus, pakkaus, viimeistely, säilytys	Lopputarkastuksen vaatimustenmukaisuus	Asiakas ei hyväksy raporttia	2	3	2
Lastaus uuniin	Lastauslämpötila	Virheellinen lämpökäsittely	2	2	2
Lastaus uuniin	Asento, tuenta	Mitta- ja muototarkkuus	4	4	2

(jatkuu)

Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan kannalta	Esiintyminen
Kappaleiden anturointi	Kiinnitystapa	Virheellinen mittausdata -> Virheellinen lämpökäsittely	2	3	2
Lämpötilan mittaus	Mittareiden kalibrointimenetelmä / seuranta	Metallurginen laatu	-	-	1
Lämpötilan mittaus	Lämpötilan oikeellisuus ja homogeenisuus	Metallurginen laatu	4	4	2
Lämpötilan mittaus	Lämpökäsittelyn suorituksen todentaminen	Asiakas jää ilman lämpökäsittelydataa	4	4	3
Lämpötilan nosto	Muodon hallinta	Mittatarkkuus	4	4	2
Purkaminen uunista	Jäähtymisolosuhteet (paikka/sijainti -> vetoisuus, lämpötila)	Väärä kiderakenne	2	2	2
Purkaminen uunista	Aika uunista sammutukseen	Väärä kiderakenne	2	2	2
Sammutus tai jäähtyminen	Sammutusaineen lämpötila	Väärä kiderakenne	2	2	2
Sammutus tai jäähtyminen	Riittävä vedenkierto	Väärä kiderakenne	2	2	2
Tuotannon sisäiset kappaleiden siirrot	Käsittelyvirheet	Vauriot siirtojen aikana	5	5	4

Liite 10. Koneistuksen aivoriihien tulokset

Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan kannalta	Esiintyminen
Lähtömittojen mittaus	Käsitelty puhdistamon osuudessa				
Työstöratujen ohjelmointi, työn suunnittelu	Revisiomuutokset (huomaamatta jääminen)	Mittavirheet	3	2	2
Työstöratujen ohjelmointi, työn suunnittelu	Inhimilliset ohjelmointivirheet	Mittavirheet	3	3	2
Työstöratujen ohjelmointi, työn suunnittelu	Postprocessorin virheet	Mittavirheet	1	1	1
Kappaleen kiinnitys, paikoitus	Kiinnityksen tukevuus	Mittavirheet, pinnanlaatu	2	2	2
Kappaleen kiinnitys, paikoitus	Paikoitusparametrien asetusvirheet	Mittavirheet	2	1	2
Työkalujen huolto ja säilytys	Työkaluvarsien mitat (mittojen vaihtelut)	Mittavirheet	3	3	2
Työkalujen huolto ja säilytys	Työkalunpidinten kartioiden mitat	Mittavirheet	3	3	2
Koneistus	Koneen ohjauksesta johtuvat virheliikkeet	Mittavirheet	2	1	2
Koneistus	Väärä työstöohjelma	Mittavirheet	5	5	2
Koneistus	Työkalujen kiristysmomentti	Mittavirheet	3	3	2
Koneistus	Kappaleen ja koneen lämpötila	Mittavirheet	1	1	1
Mittatarkastus	ks. puhdistamo				
Alihankinta (koneistus, hionta)	Periaatteessa vähintään kaikki samat tekijät kuin sisäisessä prosessissa				
Koneiden kunnossapito ja mittaukset	Työstökoneiden geometria ja kunto	Mittavirheet	2	1	3

Liite 11. Arvosanojen perusteella karsitut kontrolliehdotukset

1 (2)

Kaavio	Proessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakaan kannalta	Esiintyminen
--------	----------------	---	--	-------------------	----------------------------	--------------

Sulatto

Sulatus (pääkaavio)	Panoksen valmistelu	Tiedonkulun virheet (väärä seos, väärä valupaino)	Väärä seos -> sulaerän kappaleiden hylkäys (vajaavalu on arvioitu erikseen)	4	4	3
Sulatus (pääkaavio)	Panoksen valmistelu	Ostorumun radioaktiivisuus	Kontaminaatio	6	6	2
Sulatus (pääkaavio)	(valu- tai siirto-) Senkan valmistelu	Valusenkan vuorauksen metalliset kontaminaatiot	Analyysi	4	4	3 -> 2
Senkkäkäsittely	Tiivistys	Oikea langansyöttö (nopeus, määrä, syöttöjärjestelmän luistamattomuus), tiivistysjärjestys	Saanto, analyysi	4	4	3
Valu	Valusenkan kohdistus	Kohdistustarkkuus	Roiskeista syntyvät haulit, valuaika, valutapahtuma ei vastaa suunnitelmaa, kylmäpoimut	2	3	4
Valu	Sulan lasku	Valusuihkun turbulentsisuus / ilman sekoittuminen, (esim. senkan heiluminen)	Kaasuvirheet, kaasuhuokoisuus	2	3	4
Valu	Valun suunnittelu?	Valuaika / laskunopeus	Kylmäpoimut, imuhuokoisuusriski	5	4	3
Valu	Valupulverin levitys avosyöttökupuihin	Määrä, osumatarkkuus	Imuhuokoisuus	2	3	4

Kaavaamo

Kaavaus, pääkaavio	Valun suunnittelu	Malligeometrian oikeellisuus	Väärä geometria/mitat	5	5	2
Kaavaus, pääkaavio	Mallien ja keernalaatikoiden valmistus	Mallien ja keernalaatikoiden rakenne (suunnittelun määrätykset, toimitetun laadun tarkastus/jäljitettävyyden)	Mittavirheet	5	5	2
Kaavaus, pääkaavio	Täytehiekkan levitys, ja sullonta, pinnan tasaus	Sullonta (myös keernanvalmistuksessa)	Mittavirheet (muotin halkeaminen arvioitu erikseen)	5	4	3
Kaavaus, pääkaavio	Hiekkakoukkujen, muottitukien ym. asetus	Irtosloovarien jäykkyys	Mittavirheet (esim. keerna kelluu)	5	4	3
Kaavaus, pääkaavio	Muotin kokoonpano	Valupohjien tasomaisuus (pullakaavauslinjalla)	Muotin katkeaminen -> kappaleen hylkäys	4	3	4
Kaavaus, pääkaavio	Muotin kokoonpano	Pullien seinämävahvuus	Muotin rikkoutuminen valussa	4	3	4
Kaavaus, pääkaavio	Muotin kokoonpano	Keernojen paikoitus/asettelu	Mittavirheet	5	4	3
Keernanvalmistus	Keernalaatikon kokoaminen	Keernalaatikoiden välysten tarkastus	Mittavirheet	5	4	3
Keernanvalmistus	Keernalaatikon kokoaminen	Irto-osien asettelu	Mittavirheet	2	3	4
Keernanvalmistus	Hiekan täyttö ja sullonta	Oikea hiekan tyyppi	Metallin tunkeumavirheet	3	3	4
Hiekan elvytys, hiekkakierto	Hiekan elvytys ja käsittely	Hiekan pölypitoisuus mikserillä	Muottirikko, pintahuokoisuus	3	3	4

(jatkuu)

Kaavio	Prosessin vaihe	Tulomuuttuja (virheen aiheuttaja / kontrolloitava tekijä)	Lähtömuuttuja (Potentiaalinen seuraus)	Sisäinen vakavuus	Vakavuus asiakkaan kannalta	Esiintyminen
--------	-----------------	---	--	-------------------	-----------------------------	--------------

Puhdistamo

	Rikkomaton aineenkoetus (VT, MT, PT, RT, UT, LT)	NDT-välineiden kunnon valvonta	Asiakkaalle päätyvät virheet	5	5	3
	Rikkomaton aineenkoetus (VT, MT, PT, RT, UT, LT)	Tarkastustyön toteutus, tarkastussuunnitelma	Asiakkaalle päätyvät virheet	5	6	2
	Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Avausmenetelmä (menetelmän valinta, dokumentointi, jäljitettävyys)	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
	Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Avauksen lämmöntuonti	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
	Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Hitsauksen lämmöntuonti	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
	Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Hitsin laatu	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
	Virheiden avaus ja täyttöhitsaus	Avauksen pohjan puhtaus	Hitsauksen lopputulos	5	5	3
	Lämpötilan mittaus	Lämpökäsittelyn suorituksen todentaminen	Asiakas jää ilman lämpökäsittelydataa	4	4	3
	Tuotannon sisäiset kappaleiden siirrot	Käsittelyvirheet	Vauriot siirtojen aikana	5	5	4

Koneistus

	Koneistus	Väärä työstöohjelma	Mittavirheet	5	5	2
--	-----------	---------------------	--------------	---	---	---