

KOEVALUJEN LAADUNVARMISTUKSEN KEHITTÄMINEN

Pekka Koskela

Opinnäytetyö
Lokakuu 2011

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) KOSKELA, Pekka	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 03102011
	Sivumäärä 63+6	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi KOEVALUJEN LAADUNVARMISTUKSEN KEHITTÄMINEN		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) KIVISTÖ, Hannu.		
Toimeksiantaja(t) Moventas Wind Oy PAKKANEN, Eetu.		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Moventas Wind Oy:lle. Työn tavoitteena oli kehittää tuuliturbiinivaihteisiin käytettävien koevalujen laadunvarmistusta ja ennen kaikkea koevalujen valmistuksen aikaista raportointia. Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, kuinka yritykselle valmistettavista koevaluista kerätään tietoa niiden valmistusprosessin aikana ja kuinka tätä olemassa olevaa toimintatapaa voitaisiin kehittää paremmaksi. Työn tavoitteena oli kehittää riittävän kattava raportointitapa, jonka avulla koevalujen laatuun liittyvä tieto on saatavilla vähintään siihen asti, kun kyseinen tuote etenee sarjatuotantoon.</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltiin valukappaleen valmistaminen kokonaisuutena prosessina sisältäen valamisen eri vaiheineen ja tärkeimmät käytetyt koneistusmenetelmät. Tämän lisäksi paneuduttiin valukappaleissa esiintyviin valuvirheisiin sekä valukappaleen suunnittelun periaatteisiin.</p> <p>Työ toteutettiin suorittamalla kysely valimoille ja konepajoille, jotka toimittavat suurimman osan yritykselle tulevista koevaluista koneistuksineen. Lisäksi haastateltiin yrityksen sisällä niitä osastoja, joiden toimintaan koevalut oleellisesti liittyvät. Suoritettujen kyselyiden ja haastatteluiden pohjalta laadittiin raportointiohje sekä raportointilomakkeet ohjaamaan koevaluista tehtävää tiedonkeruuta.</p> <p>Opinnäytetyössä on esitetty esille tulleita kehitysideoita, jotka toteuttamalla parannetaan koevaluihin liittyvää tiedonkeruuta ja laadunvarmistusta olemassa olevaa tasoa paremmaksi, sekä tehostetaan tulevaisuudessa tapahtuvia suunnitteluprojekteja.</p>		
Avainsanat (asiasanat) koevalu, valaminen, tuulivoima, raportointi, laadunvarmistus		
Muut tiedot		



Author(s) KOSKELA, Pekka	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 03102011
	Pages 63+6	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title DEVELOPING THE QUALITY ASSURANCE OF PROTOTYPE CASTINGS		
Degree Programme Mechanical and Production Engineering		
Tutor(s) KIVISTÖ, Hannu		
Assigned by Moventas Wind Oy PAKKANEN, Eetu		
Abstract <p>The thesis was made for Moventas Wind Ltd. The aim of the thesis was to develop quality assurance of prototype castings for wind turbine gear boxes and first of all the reporting during prototype production phase. The purpose was to find out how the data is collected from prototype castings made for company and how this way of action can be developed better. The aim was to develop a comprehensive way of reporting, which ensures that all quality data of prototype castings is available at least until the part in question is taken to serial production.</p> <p>Manufacturing of castings was covered as whole process in the thesis, including different phases of casting and main methods of machining. Furthermore, design of casted components was examined.</p> <p>The thesis was done by sending the questionnaire to foundries and machine shops, who are main suppliers of prototype castings. Furthermore departments inside company who work with prototype castings were interviewed. Based on these questionnaires and interviews a reporting instruction and reporting sheets were done to guide data collection from prototype castings.</p> <p>The thesis shows ideas of development, which when implemented will improve data collection and quality assurance of prototype castings much better when compared to current level and emphasizes future development projects.</p>		
Keywords prototype, casting, wind power, reporting, quality assurance		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	4
1.1 Toimeksiantaja.....	4
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet.....	5
2 VALAMINEN VALMISTUSMENETELMÄNÄ.....	6
2.1 Valumateriaalit	7
2.2 Hiekkavalimon valimoprosessi	7
2.3 Valumallit.....	9
2.3.1 Valumallin valmistamisen työvaiheet	10
2.4 Hiekan valmistus.....	12
2.4.1 Hiekan elvytys	13
2.5 Keernojen valmistus	15
2.6 Kaavaus.....	18
2.7 Sulan valmistus ja käsittely.....	21
2.7.1 Uunityypit.....	22
2.7.2 Sulankäsittely	23
2.8 Valu ja muotin purkaminen	24
2.8.1 Valu.....	24
2.8.2 Muotin purkaminen	25
2.9 Valukappaleiden puhdistus	26
2.10 Valukappaleiden jälkikäsittelyt.....	26
2.10.1 Korjaushitsaukset	27
2.10.2 Valujen lämpökäsittely.....	27
2.10.3 Valujen pintakäsittely.....	29
2.11 Valujen tarkastus	29
2.11.1 Ultraäänitarkastus.....	30
3 VALUVIRHEET	31

4	TYÖSTÄMINEN	34
4.1	Sorvaaminen	35
4.2	Jyrsintä	36
5	VALUKAPPALEIDEN SUUNNITTELU	37
5.1	Suunnittelun periaatteet	37
5.2	Rinnakkaissuunnittelun periaatteet	39
5.3	Valukomponentin suunnittelun perusteita	41
5.3.1	Systemaattinen tuotesuunnittelu	42
5.3.2	Arvoanalyysi	43
5.4	Hiekkavalukappaleen konstruktion mukauttaminen	46
6	NYKYTILAN KUVAUS.....	49
7	LAADUNVARMISTUKSEN KEHITTÄMINEN.....	51
7.1	Valimojen haastattelut	53
7.2	Koneistajien haastattelut.....	54
7.3	Moventas Windin osastojen haastattelut	55
7.3.1	Tuotekehitys.....	56
7.3.2	Koteloverstas.....	56
7.3.3	Tuotteen loppulaatu.....	57
8	TYÖN TULOKSET.....	57
8.1	Raportointilomakkeet.....	58
8.2	Jatkotoimenpiteet	59
9	POHDINTA.....	60
	LÄHTEET	62

LIITTEET	64
Liite 1. Valimoille lähetetyt kysymykset	64
Liite 2. Koneistajille lähetetyt kysymykset	65
Liite 3. Raportointilomake	66
Liite 4. Raportointiohje	68

KUVIOT

KUVIO 1. Moventaksen historia kaaviokuvana	4
KUVIO 2. Moventas Wind Oy:n tuuliturbiinivaihteita	5
KUVIO 3. Valimoprosessi	8
KUVIO 4. Valumalli.	9
KUVIO 5. Hiekan elvytys.	14
KUVIO 6. Vaihdelaatikon kotelon keerna.....	16
KUVIO 7. Keernalaatikko halkaistuna.....	17
KUVIO 8. Keernatykki.	17
KUVIO 9. Muotin peitostaminen	19
KUVIO 10. Peitosteen polttaminen	19
KUVIO 11. Täyttöjärjestelmä.....	20
KUVIO 12. Sulattaminen	21
KUVIO 13 Sulan käsittely.	23
KUVIO 14. Muotin täyttö.....	24
KUVIO 15. Valujen lämpökäsittely.	27
KUVIO 16. Valukappaleiden maalaus	29
KUVIO 17. Imuhuokoisuutta väliläipassa.	31
KUVIO 18. Perinteinen suunnittelu	39
KUVIO 19 Rinnakkaissuunnittelu.....	40
KUVIO 20. Rautavalimon & konepajan tuotantoprosessi.	52

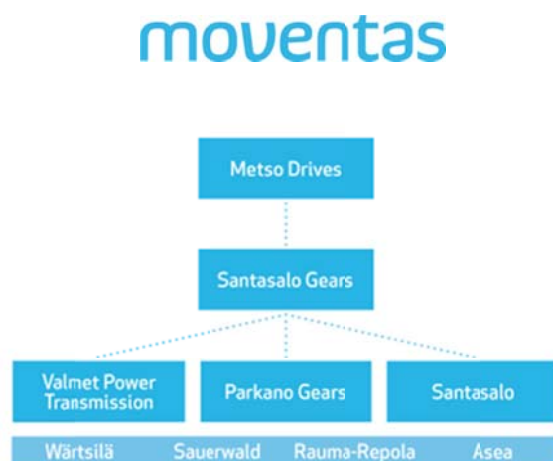
1 JOHDANTO

1.1 Toimeksiantaja

Moventas on yksi maailman suurimmista tuuliturbiinivaihteiden valmistajista. Yhtiö valmistaa voimansiirtoratkaisuja myös teollisuuden käyttöön sekä tarjoaa palveluja huoltoon ja ylläpitoon (Moventas Oy. 2010)

Moventas kehittää ja valmistaa korkealaatuisia, energiatehokkaita ja innovatiivisia vaihteita tuuliturbiini sekä teollisuuskäyttöön ja tarjoaa huoltopalveluita ylläpitoon. Moventaksen huoltopalvelut kattavat tuotteen koko elinkaaren vaihteiden suunnittelusta ja valmistuksesta aina korjauksiin, varaosiin ja huoltoihin saakka. Moventaksen ehkäisevän kunnossapidon työkalut ja teknologiat auttavat valvomaan vaihdelaatikkoa ja muita voimansiirron komponentteja sekä ennakoimaan mahdollisesti ilmeneviä vikoja (Moventas Oy. 2010)

Suurin osa tuotteiden loppukäytöstä liittyy uusiutuvaan energiaan. Moventaksen liikevaihto vuonna 2009 oli 237 miljoonaa euroa. Yhtiöllä on noin 1200 työntekijää yhdeksässä maassa sekä maailmanlaajuinen yhteistyökumppaniverkosto. Moventaksen suurin omistaja on eurooppalainen pääomasijoitusyhtiö IK Investment Partners (Moventas Oy. 2010).



KUVIO 1. Moventaksen historia kaaviokuvana (Moventas Oy. 2011).

Moventaksen historia ulottuu vuoteen 1887 saakka, jolloin voimalaitoksiin ja sähkövaloihin erikoistunut yritys perustettiin Wuppertal-Bramenin alueella Saksassa. Vuonna 1938 hammaspyörien valmistus aloitettiin Rautpohjan tehtaalla Jyväskylässä, johon nykyinen toiminta vahvasti perustuu. Vuonna 1950 perustetun Valmet Oy:n ensimmäinen tuuliturbiinivaihte toimitettiin vuonna 1980 Rautpohjan tehtaalta Jyväskylästä. 1941 perustettu vaihdetehdas Santasalo Oy sekä 1967 perustettu jäähdytinvalmistaja Parkano Oy yhdistyivät Valmet Power Transmissionin kanssa vuonna 2000 ja yhdistymisen myötä yhtiön uudeksi nimeksi tuli Santasalo Gears oy, joka vuonna 2001 vaihtoi nimeään Metso Drives Oy:ksi. Metso Oy:n myytyä Metso Drives Oy:n vuonna 2005, otettiin käyttöön yrityksen nykyinen nimi (Moventas Oy. 2011).

Moventas Oy:n muodostavat tytäryhtiöt Moventas Wind Oy, joka valmistaa tuuliturbiinivaihteita Jyväskylässä, sekä Karkkilassa oleva Moventas Santasalo Oy. Lisäksi Jyväskylässä toimii Moventas Windin alaisuudessa Moventas Service, tuottaen vaihteiden huoltopalveluita (Moventas Oy. 2011).

Moventas Wind Oy valmistaa tuuliturbiinivaihteita neljässä tuotekategoriassa, alkaen laajimman asennuspohjan omaavasta kilowattiluokasta, jatkuen megawatti- ja multimegawattiluokan vaihteisiin. Uutena tulokkaana on hybrid-luokka, jossa vaihte sekä generaattori ovat saman kuoren alla (Moventas Oy. 2011).



KUVIO 2. Moventas Wind Oy:n tuuliturbiinivaihteita (Moventas Oy. 2011).

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämä opinnäytetyö käsittelee työn toimeksiantajan Moventas Wind Oy:n tilaamien koevalujen laadunvarmistuksen kehittämistä. Työssä on tarkoituksena selvittää,

kuinka tällä hetkellä koevaluista kerätään tietoa ja miten nykyistä toimintatapaa voitaisiin kehittää paremmaksi. Työn tavoitteena on selvittää toimittajaverkoston sekä tiettyjen yrityksen sisäisten toimintojen toiveet liittyen koevalujen valmistukseen, ennen kaikkea valmistuksen aikana tapahtuvaan tiedonkeruuseen sekä raportointiin valun näkökulmasta katsottuna.

Opinnäytetyössä koevalulla tarkoitetaan valukappaletta, joka on täysin uusi tuote liittyen uuden vaihdemallin valmistukseen, tai vanhan vaihdemallin uudelleen suunniteltu osa. Mikäli osa on vanha, jo sarjatuotannossa oleva, mutta se tilataan täysin uudelta valimolta, on kyseessä tällöin myös koevalu. Työssä esitellyt kehitystoimenpiteet pätevät siis kaikkiin kolmeen tapaukseen.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi valuraudan valmistusprosessi kokonaisuudessaan sekä käsitellään koneistuksen periaatteita. Lisäksi paneudutaan valukappaleiden suunnitteluun ja valuvirheisiin. Nykytilan kuvaus esittelee tällä hetkellä olevan tavan, miten koevalujen laadunvarmistus tapahtuu. Laadunvarmistuksen kehittämisessä paneudutaan rajapintojen toiveisiin sekä niiden perusteella tehtyihin kehitystoimenpiteisiin.

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyvät kaikkia koevaluja koskevat yhdenmukaiset raportointiohjeet sekä lomakkeet, joiden avulla kerätään tietoa koevalujen laadusta yrityksen käyttöön. Tätä raportoitua tietoa voidaan tarpeen mukaan toimittaa eteenpäin sekä toimittajaverkoston, että loppuasiakkaille.

2 VALAMINEN VALMISTUSMENETMÄNÄ

Nykyisin valimoteollisuus on eräs muun teollisuuden välttämättömistä kulmakivistä, jota ilman ei tulla toimeen. Esimerkiksi koneiden valmistuskustannuksista valuosat muodostavat hyvin suuren osan, työstökoneissa on niiden painosta 80...90 % valettuja osia, sähkömoottoreissa 20..50 % ja auton moottoreissa 70...80 % (Keskinen 1991, 10).

2.1 Valumateriaalit

Valamiseen erityisen hyvin soveltuvat metallit voidaan jakaa kahteen pääryhmään, rautametalleihin ja ei-rautametalleihin. Tärkeimmistä rautametalleista suomugrafiitti- eli harmaarauta sekä pallografiittirauta ovat teollisuudessa yleisimmin käytettyjä ja harmaarauta eniten valmistettu valumetalli maailmassa (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki, Sihvonen, 2007, 67).

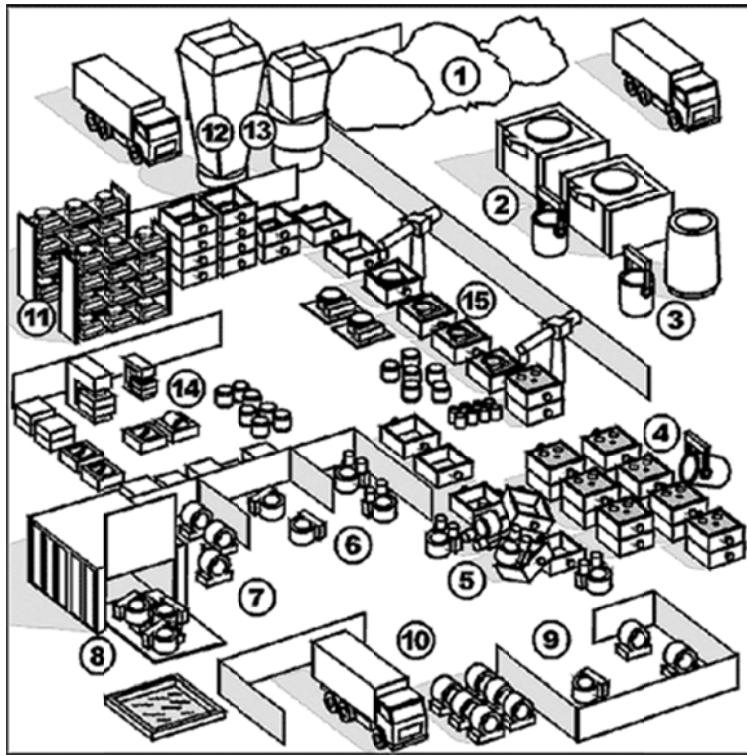
Valuraudat ovat raudan sekä hiilen seoksia, lisättynä muilla seosaineilla joko tarkoituksella tai raudassa olevina epäpuhtauksina. Valurautojen yleisin seosaine on pii, muita seosaineita ovat mm. tina sekä magnesium. Harmaaraudassa hiili esiintyy suomumaisina grafiittierkaumina, kun pallografiittiraudassa se on magnesiumin lisäyksen johdosta kiteytynyt palloiksi. Harmaaraudan suomuinen rakenne heikentää sen metallisen perusrakenteen lujuusominaisuuksia, eteenkin venymäärän osalta. Toisaalta puristuslujuus on 3 – 5ertainen vetolujuuteen nähden. Pallografiittirauta on lähes teräkseen verrattava materiaali omaten kuitenkin paremmat lastuttavuus- sekä liukuominaisuudet ja paremman kulumiskestävyys (Ihalainen ym. 2007. 67 - 68).

2.2 Hiekkavalimon valimoprosessi

Valimoprosessi alkaa raaka-aineiden sulatuksella ja päättyy valukappaleiden viimeistelyyn (kuvio 3), joskin tämä prosessi on riippuvainen valimon koosta ja tyypistä (Meskanen, Höök n.d. c, 1).

Valuprosessin aikana valamiseen tarvittavat valumallit tehdään asiakkaiden tai valimon omien piirustusten pohjalta joko valimon omassa tai ulkopuolisessa malliversaassa. Metallit sulatetaan yleisimmin joko induktio- tai valokaariuuneissa, jonka jälkeen sulatettu metalli kaadetaan kuljetussenkkaan ja kuljetetaan valuosastolle. Muotteihin sekä keernoihin tarvittava hiekka valmistetaan hiekanvalmistuslaitoksessa, jonka jälkeen itse keernat valmistetaan ja muotti kaavataan sekä kootaan (Meskanen, Höök n.d. c, 1).

Valun jälkeen muotit tyhjennetään ja valukappale jäähdytetään. Kun valukappale on jäähtynyt riittävän ajan, sille suoritetaan tarvittavat jälkikäsittelyt, lisäksi se tarkastetaan ja toimitetaan asiakkaalle (Meskanen, Höök n.d. c, 1).

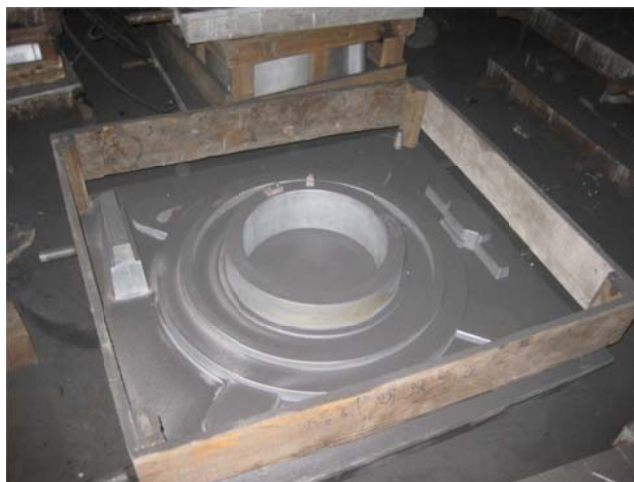


- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| 1. raaka-aineet | 14. keernanvalmistus |
| 2. sulatus | 15. kaavaus. |
| 3. sulankäsittely | |
| 4. valu | |
| 5. muotin purku | |
| 6. valukappaleiden puhdistus | |
| 7. jälkikäsittelyt | |
| 8. lämpökäsittely | |
| 9. tarkastus | |
| 10. valujen varastointi ja rahtaus | |
| 11. mallivarasto | |
| 12. hiekkojen elvytys | |
| 13. hiekanvalmistus | |

KUVIO 3. Valimoprosessi (Meskanen, Höök n.d. c, 1).

2.3 Valumallit

Valetun kappaleen aikaansaamisen tarvitaan aina valumallia. Valumallit valmistetaan nykyään yhä useammin yksityisissä malliveistämöissä, sillä valimojen malliveistämöt keskittyvät yhä enemmän mallien korjaus- ja huoltotoimenpiteisiin. Useimmissa tapauksissa valumallit valmistetaan puusta tai puuraaka-aineesta (kuvio 4), sarjatuotannossa materiaalina on pääsääntöisesti epoksi-, polyuretaanimuovi tai metalli (Pohjalainen 1997, 4).



KUVIO 4. Valumalli.

Valumalleja valmistettaessa tekijän täytyy pystyä lukemaan ja hahmottamaan erilaisia piirustuksia. Kun aikaisemmin oli tärkeää pystyä luomaan kaksiulotteisesta piirustuksesta kolmiulotteinen valukappale, on nykyään tässä apuna kolmiulotteiset mallikuvat. Mallin tekijän tulee tunkea malleissa käytettävien puu-, muovi- ja metallimateriaalien ominaisuudet ja käyttäytyminen muotINVALMISTUKSEN yhteydessä ja säilytyksessä. Lisäksi tekijän tulee tietää pääpiirteissään, miten muotti ja keerna valmistetaan, jotta tarvittavat mallivarusteet pystytään valmistamaan. Ei ole myös haitaksi tunkea ja ymmärtää, kuinka sulaa metalli käyttäytyy muotissa ja kuinka se vaikuttaa mallien ja keernalaatikoiden rakenteisiin ja muotoihin (Pohjalainen 1997, 5).

Valumallit voidaan jaotella ryhmiin valmistusmateriaalin, muotINVALMISTUSTAVAN, jakotavan tai mallin käyttötavan mukaan. Kulloinkin jakoperuste määräytyy sen mu-

kaan, mistä näkökulmasta mallia tarkastellaan. Tilatessaan valumallin valimo saattaa ilmoittaa vain kaavaustavan, ja malliveistäjä ratkaisee itse, mistä materiaalista ja millä jakotavalla malli valmistetaan. Paras tulos saavutetaan kuitenkin, kun jo tilatessa tiedetään kaikki neljä mallin valmistamiseen vaikuttavaa osatekijää (Pohjalainen 1997, 6).

Valmistusmateriaalin mukaan jaettaessa on vaihtoehtoina puu-, metalli- sekä muovimallit ja vähemmän käytettyinä vaha-, kipsi- sekä massamallit. Mikäli jako suoritetaan valmistustavan mukaan, vaihtoehtoina ovat esimerkiksi permantokaavaus- ja käsikaavausmallit sekä erityyppiset konekaavausmallit. Jakotyypin määrittelee onko malli yksi-, kaksi- vai useampiosainen ja lisäksi käyttöään tieto, eli onko malli kesto- malli vai käytetäänkö sitä vain kerran (Pohjalainen 1997, 6).

2.3.1 Valumallin valmistamisen työvaiheet

Valumallin valmistaminen voidaan jakaa seitsemään päätyövaiheeseen:

- Piirustukseen tutustuminen
- Työpiirustuksen piirtäminen
 - o Valukutistuman määrittely
 - o Jakopinnan määrittely
 - o Työstövarojen määrittely
 - o Hellityksien määrittely
 - o Keernakantojen määrittely
 - o Valujärjestelmälisäykset
- Malli- ja keernalaatikkorakenteen suunnittelu
- Mallin tai mallien valmistus
- Keernalaatikon tai -laatikoiden valmistus
- Mallien ja keernalaatikoiden pintakäsittely
- Mittatarkastus (Pohjalainen 1997,6).

Koneistuspiirustusta käytetään eniten mallitilausten yhteydessä. Yleisesti kappale pyritään piirtämään kolmelta eri suunnalta käännettyinä, joten piirustuksesta selviävät kappaleen mitat, muodot ja koneistettavat pinnat. Myös valukappalepiirustusta voidaan käyttää, yleensä silloin kun kyseessä on suuri sarja. Tässä piirustuksessa esi-

tetään vain valumallin valmistuksen kannalta tärkeät mitat, muut lisätiedot ovat samoja kuin koneistuspiirustuksissa. Valukappalepiirustuksen tekeminen vaatii suunnittelijalta hyvää valimotekniikan tuntemusta (Pohjalainen 1997, 7).

Työpiirustuksen eli uloslyönnin piirtäminen on ensimmäinen ja tärkein varsinaiseen mallinvalmistukseen liittyvä työvaihe ja piirustuksen piirtää käytännössä aina mallin valmistava työntekijä. Työpiirustukseen määritellään mallin mitat perustuen tapahtuvaan metallin kutistumiseen, jakopinta perustuen käytettävään valumenetelmään sekä hellitykset helpottamaan mallien irtoamista muotista. Myös koneistusta varten tarvittavat työstövarat määritellään tässä vaiheessa, siten että ulkopuolisilla mitoilla ne kasvattavat perusmittaa, kun taas sisäpuolella vastaavasti pienentävät sitä. Lopuksi työpiirustukseen määritellään tarvittavien keernojen sekä muiden valujärjestelmäsien paikat (Pohjalainen 1997, 8-30).

Työpiirustuksen pohjalta valumalli valmistetaan yleensä joko sorvaamalla tai jyrsimällä, myös porausta joudutaan usein käyttämään. Samoja menetelmiä sovelletaan myös keernalaatikoiden valmistuksessa. Koneistettuihin malleihin sekä keernalaatikoihin joudutaan vielä usein lisäämään muita varusteita, kuten ohjaus-, ja jakopintatuppeja, nostolaattoja, mallikirjaimia ja – numeroita sekä erinäisiä kiinnityskoukkuja sekä solkia (Pohjalainen 1997, 31 - 81, 85).

Valmiille valumalleille sekä keernalaatikoille täytyy suorittaa mittatarkastus, joka voidaan suorittaa koordinaatti- eli 3D-mittauskoneella tai manuaalisesti käsimittavälineillä. Malleista ja laatikoista tarkastetaan päämitat, eli pituudet, leveydet ja korkeudet, jonka jälkeen tarkastetaan osamitat. Tarkastetut mitat raportoidaan mittapöytäkirjaan ja arkistoidaan (Pohjalainen 1997, 82 – 84).

Ennen kuin valimo voi ottaa valmiit valumallit sekä keernalaatikot tuotantoon, tulee niille suorittaa pintakäsittely, joka onkin yksi vaikeimmista mallien valmistuksen ongelmista. Tuleehan valumallien ja keernalaatikoiden maalin kestää mekaanista rasitusta, kuten kulumista, iskuja sekä laahausta ja fysikaalista rasitusta, kuten lämpöä ja liuottimia. Näiden lisäksi malleihin ja laatikoihin kohdistuu vielä kemiallista rasitusta emäksisten sideaineiden ja hartsien muodossa. Parhaiten edellä mainittuja rasituksia kestävätkä kaksikomponenttiset eli maalin sekä kovetteen omaavat epoksihartsimaalit,

mutta niiden käyttö on hankalaa ja kustannukset korkeita. Tästä syystä lähes samat ominaisuudet omaavat, nopeasti kuivuvat polymeeriset maalit ovat saavuttaneet vankan aseman mallien pintakäsittelymaaleina (Pohjalainen 1997, 95 – 96).

2.4 Hiekan valmistus

Hiekkaa tarvitaan valimoprosessissa jatkuvasti, joten osa käytettävästä hiekasta kiertää valimolla jatkuvana virtana hiekankiertojärjestelmässä valmistuksesta kaavaukseen, sieltä valun ja tyhjennyksen kautta elvytykseen ja jälleen valmistukseen. Kiertohiekan lisäksi valimo käyttää kertakäyttöhiekkää, jotka poistuvat valimosta yhden käyttökerran jälkeen (Meskanen, Höök n.d. c, 27).

Pääsääntöisesti raakahiekka tulee valimoihin kuivana, mutta mikäli valimolle saapuu kosteaa hiekkaa, on se kuivattava ennen sekoitusta joko kiinteällä tai pyörivällä, tavallisesti öljylämmitteisellä kuivaimella. Kuivauksen jälkeen hiekka on jäähdytettävä, ennen kuin se voidaan käyttää (Meskanen, Höök c, 27).

Hiekkaseokset koostuvat raeaineista sekä side- ja lisäaineista. Raeaineet ovat joko uutta tai vanhaa hiekkaa tai niiden seosta, tavallisin raeaine on kvartsihiekkä. Kromiittihiekkaa käytetään teräsvalimoissa ja tällä hiekalla valukappaleiden pinnanlaatu ja puhdistettavuus saadaan paremmiksi muihin hiekkalaatuihin verrattuna. Kromiittihiekalla on kvartsihiekkään verrattuna huomattavasti parempi kestävyys. Lisäksi se lisää muotin painoa noin 75 % ja se on huomattavasti kalliimpaa (Meskanen, Höök n.d. c, 27).

Sideaineiden tehtävänä on liittää hiekan yksittäiset rakeet toisiinsa siten, että valmistettu muotti tai keerna kestää käsittelyn ja sulan metallin aiheuttaman rasituksen. Tyypillisesti sideaine on joko jauhemainen, kuten bentoniitti, joka tarvitsee sitoakseen lisäksi vettä tai nestemäinen kuten hartsi. Hiekka ja bentoniitti eivät kuivana muodosta lujaa seosta, vaan vasta seokseen lisätty vesi tekee bentoniitin sitomiskykyiseksi. Hartsisideaineilla kovettuminen tapahtuu joko kovetinkaasun tai hiekassa olevien aineiden keskinäiseen reaktioon. Eräs valimoilla tyypillisesti käytettävä hartsisideaine on furaanihartsi (Meskanen, Höök n.d. c, 27).

Erityisesti bentoniittihiekoissa käytetään lisäaineita, joiden tehtävänä on parantaa valupinnan laatua ja estää eräiden valuvikojen syntyminen. Eräänä esimerkkinä voidaan mainita kivihiilijauhe, jota käytetään muodostamaan kiiltohiiltä. Hiekkarakeiden pinnalle muodostuva kiiltohiilikalvo pienentää metallin penetraatiota hiekan huokosiin ja estää kvartsin ja mahdollisen rautaoksidin välisen reaktion vähentäen hiekan kiinnipureutumista (Meskanen, Höök n.d. c, 28).

Hiekan sulloutuvuudella on merkitystä kaavauksen onnistumisen kannalta eteenkin automaattikaavauksessa, jossa kaavauskoneiden pienestä puristusvarasta johtuen sulloutuvuus ei saisi olla yli 35 %. Mikäli sulloutuvuus ylittää tuon rajan, ei kone pääse suorittamaan puristusta täydellä voimalla. Käsinkaavauksessa, jossa voidaan toimia yksilöllisesti muuttamalla valmistettaessa, ei sulloutuvuudella ole niin suurta merkitystä (Autere ym. 1986. 222).

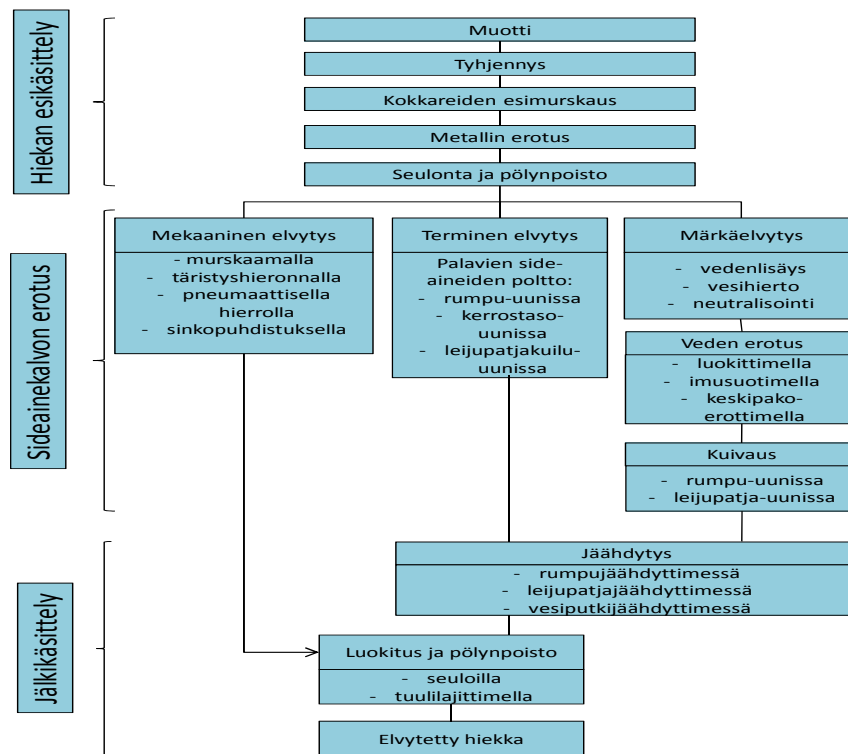
2.4.1 Hiekan elvytys

Hiekanvalmistuksen aikana muodostavat sideaineet ohuen kalvon hiekkarakeiden pinnalle ja tämän kalvon plastisuuteen tai niiden kemialliseen kovettumiseen perustuu rakeiden välinen kiinnevoima. Valumetallien aiheuttama kuumuus murtaa rakeiden välisiä kiinnesiltoja osittain, mutta sidekalvot jäävät paikoilleen rakeiden päälle joko vain kidevetensä menettäneenä, sintraantuneena tai kokonaan sulaneena. Rakeet voivat myös iskostua yhteen ja muodostaa ylisuuria rakeita ja kokkareita. Mikäli hiekkaa halutaan käyttää uudelleen, estävät nämä rakeiden pinnalla olevat kalvot uuden sideaineen tehokkaan vaikutuksen ja sideainekulutus tämän johdosta kasvaa (Autere ym. 1986. 222).

Hiekan kulutuksen muodostuessa valimolla suhteettoman suureksi on harkittava, olisiko taloudellista ryhtyä elvyttämään vanhaa hiekkaa. Kannattavuuslaskelmassa on otettava huomioon mitkä ovat elvytyslaitoksen hankinta- ja käyttökustannukset, käytettävän uuden hiekan hinta ja kuljetuskustannukset, jätehiekan kuljetuskustannukset ja rajoitukset kaatopaikalla sekä mahdolliset sideainesäästöt (Autere ym. 1986. 222).

Hiekan elvytyksellä eli regeneroinnilla tarkoitetaan kaavaus- ja keernahiekan käsitteilyä siten, että rakeiden päällä oleva sideainekalvo rikkoontuu ja poistuu muiden hiek-

kaan kuulumattomien ainesten keralla. Elvytyksessä käytettävät menetelmät voidaan jakaa mekaaniseen, termiseen ja märkäelvytykseen. Elvytykseen liittyvät työvaiheet tapahtuvat kolmessa jaksossa alkaen hiekan esikäsitteystä jatkuen varsinaisen sideainekalvon poistolla ja päättyen jälkikäsitteelyyn. Elvytysmenetelmät sekä niiden vaiheet on alla olevassa kuviossa 5 (Autere ym. 1986. 223-224).



KUVIO 5. Hiekan elvytyks. (Autere ym. 1986, 223).

Koska bentoniittihiekat ovat aina kiertohiekoja, niiden osittainen elvyttäminen voi tulla kysymykseen vain, jos hiekan määrä jostain syystä kasvaa liian suureksi ja jos raakahiekka on liian arvokasta. Bentoniittihiekkamuoteissa kuumenevat lähellä pintaa olevat rakeet niin paljon, että rakeiden pinnalla oleva bentoniitti menettää kidevetensä ja kykynsä sitoa uudelleen vettä itseensä. Tällaisen perkipalaneeksi kutsutun bentoniitin sideainekuoret kiinnittyvät lujasti rakeisiin, eivätkä irtaannu hiekan tavanomaisen käsittelyn aikana (Autere ym. 1986. 229).

Kun hiekkaa jatkuvasti kierrätetään, saavat rakeet pinnalleen uuden sideainekalvon, joka voi jälleen perkipalaa kerta toisensa jälkeen. Tässä tilanteessa rakeen sanotaan olevan oolitisoitunut ja voimakkaasti oolitisoitunut hiekka aiheuttaa valuu huonon pinnanlaadun sekä mahdollistaa valuvirheiden synnyn. Hiekan liiallinen oolisoituminen pidetään tasapainossa lisäämällä hiekkajärjestelmään jatkuvasti uutta hiekkaa ja tämän lisäksi huolehditaan siitä, että kappaleiden pintaa lähimpänä oleva hiekka ei joudu takaisin kiertohiekan joukkoon. Vaikka oolitisoitunut hiekka voidaankin elvyttää pneumaattisella hierrolla, ei sitä käytetä yleensä kuin hiekkamäärän liiallisen kasvun ja suuren keernahiekan tarpeen aiheuttaman kannattavuuden johdosta. (Autere ym. 1986 229).

Hartsihiekkojen elvytysmenetelmän valinta riippuu ratkaisevasti sideaineen laadusta ja hiekan uudelleen käytettävyydestä. Yleisintä on kylmähartsihiekkojen elvytys, joita voidaan murskauksen ja seulonnan jälkeen käyttää uudelleen kaavaushiekoissa 70-90% ja keernahiekoissa 50-60%. Furaanihartsipitoisissa kiertoehiekoissa on kiinnitettävä huomio eteenkin niiden tyyppipitoisuuteen, jonka johdosta elvytettävissä furaanihartsihiekoissa pyritään käyttämään mahdollisimman niukatyyppisiä hartseja (Autere ym. 1986. 230).

2.5 Keernojen valmistus

Keernat (kuvio 6) ovat muotin osia, jotka valmistetaan erillisinä ja lisätään muottiin sen kokoamisvaiheessa. Keernojen käyttö luonnollisesti lisää muotin tekokustannuksia, mutta ne ovat välttämättömiä, koska niillä saadaan aikaan valukappaleisiin sellaisia muotoja kuten reikiä ja onteloita, jotka kaavaamalla eivät ole mahdollisia tai eivät kestä valamisesta syntyviä rasituksia. Valutekniikan kehittymisen myötä keernoja on alettu käyttää myös muullakin tavoin kaavauksen apuna (Keskinen. 1987. 8).



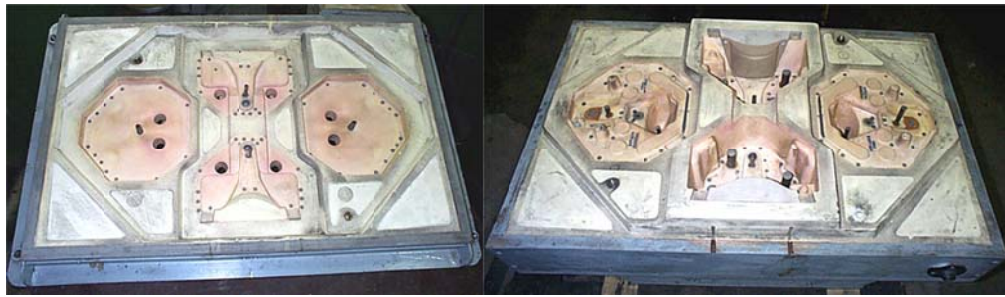
KUVIO 6. Vaihdelaatikon kotelon keerna.

Keernojen tulee olla lujasta ja hyvin tulenkestävästä hiekkaseoksesta valmistettuja, koska muotin täyttyessä sulalla metallilla ne rasittuvat ja kuumenevat enemmän kuin varsinainen muotti joutuessaan sulan metallin ympäröimiksi usein lähes kokonaan. Samasta syystä johtuen on keernojen kaasunkehitys voimakkaampaa kuin vastaavien muottihiekkojen, joten kaasukanavien pitää olla huolella tehtyjä (Keskinen. 1987. 8).

Usein muotissa on kohtia, joiden pitää olla erikoisen tarkkamittaisia tai hyväpintaisia, lisäksi muotti saattaa sisältää ohuita kohtia, joilla on suuri riski rikkoontua kun mallia irrotetaan muotista. Ohuet kohdat voivat myös kuumentua sulan metallin vaikutuksesta muottihiekan tulenkestävyyttä korkeampaan lämpötilaan, jolloin hiekka sintraantuu valukappaleeseen kiinni. Nämä kaikki edellä mainitut ongelmat voidaan välttää muottiin asetettavilla keernoilla (Keskinen 1987. 9).

Mikäli keerna itsessään on monimutkainen, voidaan se koota useammasta osakeer-nasta, jolloin muodostuu keernapaketti. Paketissa olevat keernat liitetään toisiinsa joko liimaamalla ne tulenkestävällä liimalla tai suurissa paketeissa hitsaamalla keernat tukirangoistaan yhteen (Keskinen. 1987. 9).

Keernojen valmistus tapahtuu yleensä keernalaatikoiden (kuvio 7) avulla, jotka voivat olla pienehköissä sarjoissa puisia ja suurissa joko muovisia tai metallisia (Keskinen. 1987. 18).



KUVIO 7. Keernalaatikko halkaistuna. (Meskanen, Höök n.d. a, 29).

Keernalaatikot voidaan täyttää kolmella eri tavalla:

- käsin sullomalla tai paineilmasurvimen avulla.
- jatkuvatoimisen sekoittimen avulla, jolloin itsekovettu hiekka putoaa keernalaatikkoon ja sullomista ei juuri tarvita.
- puhaltamalla tai ampumalla paineilman avulla (Keskinen. 1987. 36).

Käsintäyttöä käytetään hitauden vuoksi yleensä yksittäistuotannossa tehtäessä tuorehiekkakeernoja. Jatkuvatoimisia sekoittimia käytetään keskisuurten ja suurten keernojen valmistukseen sekä yksittäis- että sarjatuotannossa, kun puhaltaminen ja ampuminen sopii lähes kaiken kokoisille keernoille ja sarjasuuruksille sen nopeuden vuoksi (Keskinen. 1987. 36).

Sarjavalmistuksessa yleisin tapa on täyttää keernalaatikko paineilmalla, esimerkiksi ampumalla niin sanotulla keernatykillä (kuvio 8) (Keskinen. 1987. 37 - 38).



KUVIO 8. Keernatykki. (Meskanen, Höök n.d. c, 30).

Keernatyössä on painesäiliö, johon varastoidaan tietty ilmamäärä, joka päästetään venttiilin kautta tykin puhalluspäähän. Keernahiekka työntyy tällöin puhalluspäästä ammuksen tavoin keernalaatikkoon (Keskinen. 1987. 37 - 38).

Kuten muottihiekassa, keernahiekassa on myös sideaineita, jotka kovettavat hiekan keernalaatikkoon. Sideaineena voidaan käyttää kylmähartsia, jolloin keerna kovettuu laatikossa muutaman tunnin kuluessa sen valmistamisesta, tai kaasuhartsia eli cold-box-menetelmää, jolloin keernahiekan läpi puhalletaan kovettava kiihdytinkaasu. Tällöin keerna on saavuttanut riittävän kovuuden ja on valmis peitostettavaksi heti laatikosta poiston jälkeen (Keskinen. 1987. 41-52).

Ennen käyttöä keernat peitostetaan samalla tavoin kuten itse muottikin. Peitostusta on kuvattu tarkemmin seuraavassa osiossa kaavauksen yhteydessä.

2.6 Kaavaus

Kaavaus on työvaihe, jossa valumallien avulla muotoillaan kaavaushiekasta muotti valukappaleta varten. Kaavaus suoritetaan kaavauskehiin, joihin valumallin puolikas sijoitetaan ja hiekka sulotetaan sen ympärille joko koneellisesti tai käsin. Kaavauskehien välinen pinta on muotin ja samalla myös valukappaleen jakopinta (Meskanen, Höök n.d. c, 31)

Kaavattu muotti peitostetaan ennen sen sulkemista, eli muotin sisäpinnat pinnoitetaan ohuella tulenkestävällä kerroksella (kuvio 9). Peitostus muodostaa suojan sulan metallin ja hiekan väliin vähentäen valuvikoja. Peitoste ei saa halkeilla, kuoriutua tai reagoida peitostettavan pinnan kanssa. Lisäksi sen on oltava tarttuvaa, sileää ja halpaa. Peitoste koostuu yleensä tulenkestävästä aineesta, sakkautumista estävästä aineesta, nestemäisestä väliaineesta sekä sideaineista. Peitoste levitetään kappaleeseen upottamalla, ruiskuttamalla tai sivelemällä riippuen muotin koosta sekä sarsuuruudesta. Peitoste kuivataan joko vapaasti ilmassa, uunissa tai polttamalla (kuvio 10) (Meskanen, Höök n.d. c, 32 - 34).



KUVIO 9. Muotin peitostaminen.



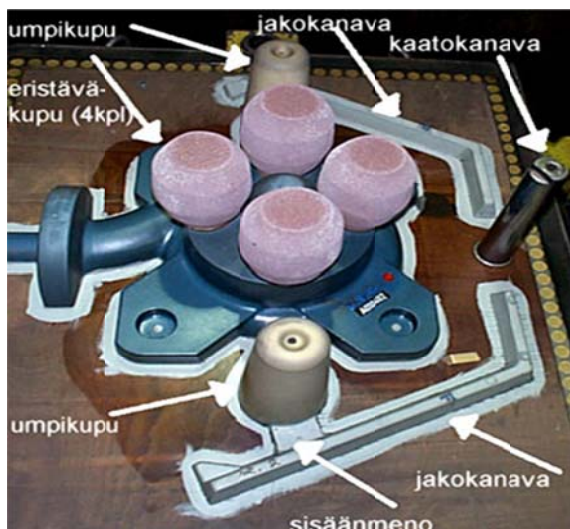
KUVIO 10. Peitosteen polttaminen.

Kaavaus jaetaan siis käsi- ja konekaavaukseen sen mukaan tapahtuuko kaavaus käsi-työnä vai kaavauskoneella, tosin ero on viime vuosina hämärtynyt käsinkaavauksen työvaiheiden mekanisoinnin myötä. Hiekkaa ei enää lapioida muotin sisään, vaan se

voidaan pudottaa syöttösekoittimesta ja kehyksien kääntöön sekä muotin irrottamiseen voidaan käyttää sitä varten suunniteltuja koneita (Meskanen, Höök n.d. c, 32).

Käsinkaavausta käytetään pääasiassa silloin, kun kaavattavien kappaleiden suuren koon vuoksi koneellinen kaavaus on mahdotonta tai määrällisesti kannattamatonta. Pienet ja keskikokoiset sarjaluontoisesti valmistettavat kappaleet kaavataan sen sijaan lähes aina koneellisesti. Käsinkaavauksessa käytetään kylmänä kovettuvia hartsihiekoja, eli muotin kovettuminen tapahtuu kemiallisesti. Konekaavattavan muotin kovettuminen voi tapahtua myös mekaanisesti sullomalla (Meskanen, Höök n.d. c, 32).

Kaavauksen yhteydessä valumuottiin valmistetaan kappaleen valujärjestelmä koostuen täyttö- ja syöttöjärjestelmistä. Täyttöjärjestelmä muodostuu kaatosuppilosta, kaatokanavasta, jakokanavasta ja valukanavasta (kuvio 11). Syöttöjärjestelmän muodostavat metallin jähmettymisessä tapahtuvan kutistumisen kompensointiin tarvittavat syöttökuvut, kaasunpoistokanavat sekä joissain tapauksissa erilliset jäähdytyskappaleet eli kokillit. Täyttöjärjestelmä ja syöttökuvut täyttyvät valun aikana metallilla ja ne on poistettava lopullisesta kappaleesta, jonka johdosta valukappaleen saanto heikkenee. Valurautakappaleilla saanto on tyypillisesti 70-90% (Meskanen, Höök n.d. c, 32).



KUVIO 11. Täyttöjärjestelmä. (Meskanen, Höök n.d. c, 25).

Valimot käyttävät tyypillisesti tietokonepohjaisia ohjelmia jäähmettymisen sekä valun simulointiin, joiden avulla täyttöjärjestelmä, syöttökupujen koko sekä sijoittelu ja kokillien sijoittelu on helpompi määritellä (Meskanen, Höök n.d. c, 32).

2.7 Sulan valmistus ja käsittely

Sulatuksen tapa riippuu sulatettavasta metallista, käytettävistä raaka-aineista, sekä valimolla käytössään olevasta uunista. Raaka-aineista kootaan määrältään sopiva, koostumukseltaan lähellä haluttua sulan metallin koostumusta oleva ja käytettävään uuniin sopiva panos. Tämän jälkeen uuni panostetaan ja sulattaminen aloitetaan (kuvio 12). Kun sula alkaa valmistua, siitä voidaan ottaa näyte ja sen perusteella korjata sulan koostumusta, mikäli tämä on tarpeen. Korjaaminen tapahtuu lisäämällä seosaineita suoraan uuniin sulan joukkoon (Meskanen, Höök n.d. c, 4.)



KUVIO 12. Sulattaminen.

2.7.1 Uunityypit

Valurautojen ja terästen sulatukseen käytetään yleisimmin induktio- ja valokaariuuneja, lisäksi valurautojen sulatukseen voidaan käyttää myös kupoliuuneja. Jälkimmäisten käyttö on vähentynyt Suomessa koksen kallista hinnasta ja tiukoista ympäristösuojelunäkökohdista johtuen. Kuitenkin maailman valurautatuotannosta yli 60% valmistetaan kupoliuuneilla (Meskanen, Höök n.d. c, 2)

Kupoliuunit aiheuttavat runsaasti pölypäästöjä, jotka ovatkin valimoiden aiheuttamista ympäristöhaitoista merkittävimmät. Näiden lisäksi myös sulatettavan raudan metallurgiaan liittyvät ongelmat ja erilaiset tuotannonohjaukselliset ongelmat ovat puoltaneet kupoliuunien korvaamista induktiouuneilla. Induktiouunien käyttöä Suomessa puoltaa myös suhteellisen halpa sähkön hinta (Meskanen, Höök. n.d. c, 5).

Induktiouuneissa voidaan sulattaa kaikkia metalleja. Induktiouunissa on upokkaan ympärillä induktiokela, jossa kulkee keski- tai matalataajuuksista vaihtovirtaa, joka indusoi pyörrevirtoja sulatettavaan metalliin. Induktiouunit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: induktioupokasuuneihin ja induktiokouru-uuneihin, joista jälkimmäisiä käytetään kuparin ja kevytmetallien sulatukseen, sekä valuraudan kuumanapituuksina (Meskanen, Höök n.d. c, 5).

Teräksen sulatuksessa etupäässä käytettävissä valokaariuuneissa sulatus tapahtuu grafiittielektrodin ja sulatettavan panoksen välillä palavan valokaaren avulla. Vaikka valokaariuunilla saavutettaisiin parempi laatutaso teräksen valmistuksessa, on alle 10 tonnin uuneissa siirrytty mieluummin käyttämään induktiotekniikkaa, sillä valokaariuunien hyötysuhde huononee panoskoon pienentyessä. Lisäksi valokaariuuneilla on vaikeuksia noudattaa tiukkeneviä ympäristövaatimuksia, sillä niiden savunmuodostus aiheuttaa suuria sisäisiä ja ulkoisia ympäristöhaittoja (Meskanen, Höök n.d. c, 5).

Upokasuuneissa on keraaminen tai muusta materiaalista valmistettu upokas tulenkestävällä materiaalilla vuoratun uunirungon sisällä. Upokkaan ulkopintaa kuumentetaan öljy- tai kaasuliekillä tai sähkövastuksilla. Sähkövastuskuumennus sopii vain ei-rautametalleille, rautametallien sulatukseen sähkövastukset ovat liian tehottomia (Meskanen, Höök n.d. c, 6).

Lieskauunit ovat tulenkestävällä vuorauksella varustettuja altaita, jossa öljy- tai kaasupolttimesta tuleva liekki on suoraan kosketuksissa sulatettavan metallin kanssa (Meskanen, Höök n.d. c, 6).

2.7.2 Sulankäsittely

Aina ei sulatusuunista saatu metalli ole sitä mitä halutaan, vaan tarvitaan erilaisia sulankäsittelytoimenpiteitä. Sulasta vähennetään ei-toivottuja seos- tai epäpuhtausaineita (mm. rikki pallografiittivaluraudoissa) sekä siihen lisätään joitain muita seosaineita (kuvio 13). Aineiden poiston sekä lisäyksen jälkeen sulan analyysi tarkistetaan, eli onko valussa sellaiset aineet kuin reseptin mukaan kuuluisi olla. Myös metallin kiderakenteeseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi magnesiumkäsittelyllä, jolla saadaan pallomaista grafiittia, tai ymppäyksellä eli kiteytymisytimien lisäyksellä (Meskanen, Höök n.d. c, 6).



KUVIO 13 Sulan käsittely. (Componenta Oy 2009).

Ymppäyksellä tarkoitetaan tehoainelisäystä, jonka seurauksena kiteytymisytimien määrä lisääntyy. Seosaineen lisääminen rautaan voi olla ymppäystä vain siinä tapauksessa, että seosaineen mukana seuraa kiteytymisytimiä muodostavia alkuaineita. Ymppäyksen avulla voidaan estää karbidiin muodostuminen, lieventää särmäkovuutta, parantaa mekaanisia lujuusominaisuuksia sekä tasoittaa kovuuden vaihteluita eripaksuisissa seinämissä (Autere, Ingman, Tennilä. 1982. 259)

2.8 Valu ja muotin purkaminen

2.8.1 Valu

Sula metalli kuljetetaan senkoissa valupaikalle ja kuljetus tapahtuu valimosta riippuen joko trukilla, riippuradalla tai siltanosturilla. Valettavien kappaleiden ollessa suuria, valu tapahtuu suoraan siltanosturista riippuvasta käsin kallistettavasta kuljetus-senkasta (kuvio 14), kun pieniä kappaleita yksittäis-tuotannossa valettaessa voidaan metalli kaataa kuljetus-senkasta erilliseen valusenkkään. (Meskanen, Höök n.d. c, 7).



KUVIO 14. Muotin täyttö.

Valu tapahtuu usein käsin myös kokilli- ja kuorimuottivalussa. Automaattikaavauslinjan ollessa kyseessä muotit valetaan yleisimmin kattokiskon varassa liikkuvalla, osittain automatisoidulla valulaitteilla. Disamatic-linjoilla käytetään täysin automaattisia valu-uuneja (Meskanen, Höök n.d. c, 7).

Valussa on tärkeää muistaa, ettei muottiin saa päästä kuonaa, joten senkka on kuonattava, eteenkin kun käytetään kallistettavaa senkkaa. Kuonauksen helpottamiseksi sulan pinnalle lisätään usein erilaisia, kuonaa sitovia aineita. Mikäli kuona pääsee valujärjestelmään, se erotellaan esimerkiksi kuonaloukkujen ja suodattamien avulla. Myös pohjasta tyhjennettäviä valusenkkoja voidaan käyttää, jolloin kuona ei pääse

metallin mukana muottiin ja valutapahtuma on huomattavasti rauhallisempi kallistettavaan senkkaan verrattuna. (Meskanen, Höök n.d. c, 8).

Valusenkkaan kaadetun sulan lämpötila mitataan ennen valua, yleisimmin tähän käytetään uppopyrometreja. Lisäksi valun yhteydessä valmistetaan usein myös laadun tarkastamiseksi tarvittavia näytteitä. Näiden avulla voidaan tarkastella rikkovan aineenkoetuksen menetelmillä valumateriaalin ominaisuuksia tai kemiallista koostumusta analyysin avulla (Meskanen, Höök n.d. c, 8).

2.8.2 Muotin purkaminen

Kun valu on jähmettynyt ja jäähtynyt tarpeeksi, muotti rikotaan siten, että kappale voidaan erottaa ja puhdistaa muotti- ja keernamateriaaleista. Kuitenkin on muistettava riittävä jäähtymisaika ennen purkua, sillä liian nopea jäähtyminen voi lisätä valun tulevia jännityksiä. Yleensä jäähtymisajan pituus riippuu mm. vaaditusta mikrorakenteesta (Meskanen, Höök n.d. c, 8).

Muotin purkaminen sekä hiekan ja valoksen erottaminen toisistaan on yleensä koneellista, mutta yksittäisten tai suurten, kuoppaan valettavien valujen purku voi tapahtua myös osin tai kokonaan käsityönä. Purkamisessa käytetään erilaisia ulostyöntölaitteita, tärystimiä, rumpuja sekä sinkopuhdistuslaitteita. Tarkoituksena on yleensä samassa yhteydessä myös hajottaa muottihiekassa olevat kokkareet ja muottiin asetetut keernat (Meskanen, Höök n.d. c, 9).

Purkuvaiheessa erotettu hiekka siirretään hiekkakiertoon. Keernahiekka voi erottua eri vaiheissa muotin purkua ja valoksen puhdistusta. Lisäksi riippuu myös keernamateriaalista itsestään, miten keerna hajoaa jo valussa valumetallin kuumuuden vaikutuksesta ja tämän jälkeen muotin purkamisen yhteydessä. Kuinka keernat hajotetaan ja poistetaan vaikuttaa osaltaan myös siihen, miten paljon muottihiekasta poikkeavaa keernahiekkaa ja sen sideainetta joutuu hiekkakiertoon (Meskanen, Höök n.d. c, 9).

2.9 Valukappaleiden puhdistus

Valukappaleen puhdistus on pääosin meluista, pölyistä ja fyysisesti raskasta käsityötä. Kuitenkin se on välttämätön työvaihe ennen kuin kappale on valmis toimitettavaksi asiakkaalle. Kappaleen puhdistus pyritään tekemään mahdollisimman lyhyessä ajassa ja pienillä kustannuksilla, ottaen myös huomioon työ- ja ympäristöystävällisyyden näkökohdat. Puhdistuskustannusten osuus kappaleen kokonaisvalmistuskustannuksista on harmaan valuraudan valimoissa 10 – 20 %, pallografiittivalimoissa 20 – 30 % ja teräsvalimoissa jopa 30 – 50 % (Meskanen, Höök n.d. c, 9).

Valukappaleista irrotetaan kaikki siihen kuulumattomat osat eli valukanavisto ja syötöt joko mekaanisesti esimerkiksi leikkaamalla tai lyömällä, tai termisesti esimerkiksi polttoleikkaamalla. Katkaisumenetelmän valintaan vaikuttavat metalli, valukappaleen koko, sekä leikattavan valukkeen paksuus ja sijoituskohta (Meskanen, Höök. n.d. c, 10).

Valukkeiden poiston jälkeen kappaleelle suoritetaan pintapuhdistus, eli kiinnipalanut hiekka sekä valamisen tai lämpökäsittelyn aikana syntynyt oksidikerros poistetaan joko suihkupuhalluksella tai sinkopuhalluksella. Myös rummutusta voidaan käyttää, rumpuihin mahtuu yleensä 2-4 tonnia valutavaraa kerrallaan (Meskanen, Höök n.d. c, 10).

Kappaleen pinta tasoitetaan esimerkiksi talttaamalla. Talttauksessa poistetaan vielä kiinni olevat syöttökupujen isku- tai leikkauskannat, valupurseet, ulospäin suuntautuvat valuviat tai avataan sisäänpäin suuntautuvat valuviat korjausta varten. Tämän jälkeen kappale viimeistellään hionnalla (Meskanen, Höök n.d. c, 11.)

2.10 Valukappaleiden jälkikäsittelyt

Valun puhdistuksen jälkeen voidaan kappaleille tehdä useita jälkikäsittelytoimenpiteitä. Näitä ovat muun muassa imujen ja huokosten korjaushitsaukset, erityyppiset lämpökäsittelyt ja asiakkaan tilaama pintakäsittely. Asiakkaan toivomuksesta kappale voidaan myös koneistaa joko osittain tai kokonaan (Meskanen, Höök n.d. c, 11).

2.10.1 Korjaushitsaukset

Valujen puhdistuksen yhteydessä havaitut valuviat ovat useimmiten niin pieniä, että valukappale voidaan korjata hitsaamalla. On kuitenkin muistettava, että hitsauksen suorittaminen vaatii aina luvan asiakkaalta. Havaittu valuvika avataan ja täytetään uudelleen hitsaamalla, tehdyn hitsin täytyy olla eheä ja sitkeä, sekä sen tulee olla työstettävissä hyvin ja lujuuden vastattava perusaineen lujuutta (Meskanen, Höök n.d. c, 11).

Valurautojen hitsattavuutta heikentää niiden korkea hiilipitoisuus, jonka johdosta mikrorakenne karkenee liitoksen muutosvyöhykkeellä ja hitsiaineeseen sekä sularaja-alueelle muodostuu hauraita karbideja. On huomattava myös, että hitsauksessa syntyvät sisäiset jännitykset eivät pääse laukeamaan plastisen muodonmuutoksen kautta. (Meskanen, Höök n.d. c, 11)

Koska valujen korjaushitsaukseen ja sen onnistumiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä, ei sitä harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta Moventas Windin valussa sallita.

2.10.2 Valujen lämpökäsittely

Valujen lämpökäsittelyllä (kuvio 15) pyritään muuttamaan materiaalin ominaisuuksia, kuten lujuutta, sitkeyttä tai työstettävyyttä, mutta kustannussyistä johtuen valut pyritään toimittamaan valutilaisena (Meskanen, Höök n.d. c, 15)



KUVIO 15. Valujen lämpökäsittely (Componenta Oyj 2009).

Suomugrafiittivaluraudat toimitetaan yleensä valutilaisena, mutta lämpökäsittelyinä voidaan tarvittaessa käyttää jännityksenpoistohehkutusta eli myöstöä tai pehmeäksi hehkutusta. Suomugrafiittivaluraudoilla jännityksenpoistohehkutusta voi olla tarpeen, mikäli kyseessä on suurehko valukappale, jonka seinämänpaksuudet vaihtelevat voimakkaasti. Esimerkiksi monimutkaiset muodot, jotka estävät valukappaleen kutistumisesta muotissa, lisäävät jännityksiä. Jännitysten poiston tarkoituksena on estää kappaleen muodonmuutoksia työstön tai käytön yhteydessä. Pehmeäsihehkutusta voi olla tarpeen työstettävyyden parantamiseksi, mutta silloin tingitään aina lujuudesta. Tästä syystä pehmeäsihehkutusta ei käytetä niin usein kuin myöstöä (MET 2001, 87 - 89).

Vaikka aikaisemmin pallografiittivalurautojen valmistukseen kuului aina tavallisesti lämpökäsittely, on viime vuosikymmeninä yleistynyt niiden toimitus valutilaisina. Mikäli kappaleelle ei tehdä lämpökäsittelyä, täytyy huolehtia riittävän pitkästä ajasta muotissa tapahtuvalle jäähtymiselle. Suursarjatuotannossa se ei aina ole mahdollista, vaan muotit joudutaan purkamaan melko lyhyen jäähtymisajan jälkeen. Tällöin voidaan tarvita lämpökäsittelyä toivotun rakenteen saavuttamiseksi (MET 2001, 120).

Pallografiittirauodoilla käytetään edellä mainittujen jännityksenpoisto- sekä pehmeäsihehkutuksen lisäksi perlitointia sekä karkaisua ja nuorrutusta. Perlitoinnilla pyritään muuttamaan raudan mikrorakenteen perusmassa eli matriisi perliittiseksi. Tällöin valuraudalle saadaan hyvä sitkeys ja työstettävyys. Karkaisua ja nuorrutusta käytetään lähinnä lujimmilla pallografiittivalurautalajeilla (MET 2001,122).

2.10.3 Valujen pintakäsittely

Viimeisenä työvaiheena ennen asiakkaalle toimitusta valimo suorittaa kappaleille sopivan pohjamaalauksen (kuvio 16), jonka tarkoituksena on antaa kappaleille riittävä korroosiosuoja käsittelyn ja kuljetuksen aikana (Meskanen, Höök n.d. c, 13).



KUVIO 16. Valukappaleiden maalaus.

Pohjamaalin valintaan vaikuttavat kappaleiden jatkokäsittely, maalin levitystapa sekä asiakkaan asettamat vaatimukset. Yksittäiskappaleiden maalaus tapahtuu sivellinmaalauksena, sarjatuotannossa käytetään yksikomponenttimaaleilla upotusmaalauksena, kun taas kaksikomponenttimaalien levitys tehdään ruiskulla. Juuri ennen maalausta kappaleet pintapuhdistetaan suihku- tai sinkopuhdistuksella (Meskanen, Höök n.d. c, 14).

2.11 Valujen tarkastus

Valukappaleen haluttu laatu sekä laadun varmistamiseksi suoritettavat tarkastukset tulee sopia tilauksen yhteydessä. Tilaus voi sisältää esimerkiksi vaatimukset lujuudelle, kovuudelle ja sitkeydelle, sekä sallitut viat ja käytännöt hyväksymisrajojen ylittävien vikojen korjaukseen (Meskanen, Höök n.d. c, 16).

Kappaleen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi valetaan koesauva-aihiot, jotka työstetään ja testataan haluttujen ominaisuuksien varmistamiseksi. Materiaalin analysointi halutun koostumuksen varmistamiseksi suoritetaan nykyisin optisen emissiospektrometrin avulla (Meskanen, Höök n.d. c, 16).

Valukappaleen mitat sekä mahdolliset mittapoikkeamat tarkastetaan mekaanisten mittalaitteiden avulla, sallitut poikkeamat määritellään tilauksessa viittaamalla standardissa olevaan toleranssiasteeseen. Pinnankarheuden toteamiseksi voidaan joko käyttää mittaria tai todeta se silmämääräisesti. Kappaleen sisäisen rakenteen tarkastukseen soveltuvat lähes kaikki ainetta rikkomattomat menetelmät, yleisimpänä varmaankin ultraäänitarkastus (Meskanen, Höök n.d. c, 16).

2.11.1 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastuksessa tutkittavaan kappaleeseen lähetetään ääntä luotaimella, joka toimii myös äänen vastaanottimena. Äänen kohdatessa rajapinnan, osa siitä heijastuu takaisin osan läpäistessä rajapinnan, mutta heijastuen takaisin kappaleen takaseinämästä. Nämä heijastukset johdetaan ultraäänilaitteen näytölle, josta voidaan lukea vian suuruus impulssin korkeutena ja vian etäisyys luotauskohdasta impulssin sijainnista näytön vaakaviivalla (Meskanen, Höök n.d. b, 6; Härkölä, Toivonen, 46).

Ultraäänitarkastusta käytetään eteenkin etsittäessä pinnanalaisia vikoja. Myös radiografiaa eli röntgen-tarkastusta voidaan tähän käyttää, mutta ultraäänitarkastus on huomattavasti halvempi ja turvallisempi tarkastusmenetelmä, lisäksi se soveltuu myös suuremmille aineenvahvuuksille kuin radiografia (Meskanen, Höök n.d. b, 6; Härkölä, Toivonen, 46).

Vaikkakin ultraäänitarkastus on luotettavinta kun se tehdään hienorakeisille teräksille, käytetään sitä kuitenkin myös rautavalujen tarkastukseen. Rautavalujen karkeamman mikrorakenteen johdosta ja raekoon kasvaessa lähelle äänen aallonpituutta, ääniaalto kohtaa raerajat erillisinä rajapintoina ja tästä johtuen tapahtuu ylimääräistä heijastumista ja taittumista, eli sirontaa (Meskanen, Höök n.d. b, 6).

Parhaiten ultraäänitarkastuksessa havaitaan äänikeilaan kohtisuorassa olevat viat, kun taas keilan suuntaisten vikojen havaittavuus on erittäin huono. Koska suurin osa valuvioista on pääsääntöisesti kolmiulotteisia, on keilan suunnalla virheeseen nähden vähäisempi merkitys. Suurempi merkitys sen sijaan on vian pinnanlaadulla, pienten vikojen rosainen pinnanlaatu heijastaa ääntä eri suuntiin heikentäen havaittavuutta, kun taas suurten vikojen rosainen pinta parantaa sitä. Pienet, pyöreät huokokset ovat pienen ääntä heijastavan pinta-alansa johdosta vaikeita havaita ultraäänellä ja eteenkin tällaisten vikojen etsimisessä ultraäänitarkastajan ammattitaito ja kokemus näyttelevät suurta osaa (Meskanen, Höök n.d. b, 7).

3 VALUVIRHEET

Valuvirhe on puute valukappaleen rakenteessa (kuvio 17). Virhe on voinut syntyä valukappaleen suunnittelun, tai muotin sekä mallin suunnittelun aikana. Se on voinut syntyä myös sulattamisen, tai sulan kuljettamisen ja käsittelyn, keernan valmistuksen, muotin kokoamisen tai valamisen aikana. Virheitä voi syntyä siis kaikissa valu-prosessin vaiheissa (Meskanen, Höök n.d. a, 7).



KUVIO 17. Imuhuokoisuutta välilapassa.

Valukappaleissa esiintyvät valuvirheet muodostavat aina, riippumatta siitä johtavako ne romuttamiseen vai ei, suuren kustannustekijän eteenkin valimoille. Varsinaisessa tuotannossa merkitys saattaa olla vähäisempi, mutta hylkäämiset jälkikäsitteilyiden, varsinkin koneistuksen jälkeen, voivat muodostua valimoille hyvin raskaiksi. Tällöin rahallisen tappion lisäksi kuvaan tulevat toimitusaikamyöhästymiset sekä asiakkaan luottamuksen menettämisen riskit (MET 1985.1).

Valuvirheiden tunnistaminen prosessin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa sekä niiden syiden selvittäminen ja eliminointi valimon toiminnasta ovat ensiarvoisen tärkeitä tehtäviä. Tätä työtä auttaakseen, Suomessa on otettu käyttöön valuvirheiden systemaattinen luokittelu ja määrittely (MET 1985. 1.)

Valuvirhe on periaatteeltaan laatuominaisuus. Koska millään menetelmällä ei pysty valmistamaan kiistatta täydellistä tuotetta, on laatutaso määriteltävä tapauskohtaisesti asiakkaan ja toimittajan välillä. Täten on kaikkien etu, että asiakas ilmoittaa laatuksiteerit mahdollisimman täsmällisesti sen sijaan, että pyytää vain valimoa toimittamaan hyvän valun (Meskanen, Höök n.d. a, 2).

Valukappaleen laatu saadaan aikaan valimon ja valukappaleen suunnittelijan välisenä yhteistyönä. Vaikkakin valimosta ja sen mallivarusteet valmistaneesta yrityksestä johtuvia mittavikoja ja materiaalin koostumuksesta juontuvia vikoja esiintyy, iso osa vioista muodostuu osin jo kappaleen suunnittelun aikana. Tyypillisimpiä esimerkkejä ovat eriaisteiset kutistumaviat sekä seinämänpaksuusvaihteluista johtuvat vääntymisviat tai halkeamat. Lisäksi on pieni joukko valuvikoja, joita voi ainoastaan lieventää, mutta ei poistaa kokonaan, kuten kappaleissa aina esiintyvä keskilinjahuokoisuus (Meskanen, Höök n.d. a, 2).

Tilaaajan määritellesä haluamaansa kappaleiden laatutasoa, tulee valimolle kertoa valuvikojen osalta esimerkiksi:

- Ulkonäkövaatimukset: Minkälaista pinnanlaatua vaaditaan eri puolilla kappaletta, kuinka huolellisesti kiinnityskohdat ja jakopinta tulee viimeistellä, saako olla huokosia tai kiinnipalanutta hiekkaa, voiko vikoja korjata hiomalla?
- Lujuusvaatimukset: Kuinka paljon huokoisuutta sallitaan, missä saa olla imuja ja missä ehdottomasti ei, mitkä ovat kappaleen eniten rasitetut kohdat?

- Koneistettavat pinnat: Missä ne sijaitsevat, saako olla huokoisuutta tai kiinni palanutta hiekkaa?
- Mitat ja muoto: Mikä mitta- ja muototoleranssi on kappaleen eri puolilla, mitkä ovat järkevät toleranssit kappaleen kokoon nähden? (Meskanen, Höök. n.d. a, 2)

Eri valuvirheet on jaettu ryhmiin A – O virheen ulkonäön tai esiintymistavan perusteella riippumatta sen syystä, tämän jaottelun tarkoituksena on helpottaa virheen tunnistamista. Valuvirheitä ovat esimerkiksi:

- A - Mittavirheet: Kappaleessa on mittoja, jotka eivät asetu toleranssialueelle, myös seinämänpaksuus voi olla väärin.
- B - Siirtymävirheet: Muottipuoliskot eivät ole kohdistuneet kunnolla toisiinsa tai keerna on ollut väärällä kohdalla siten, että kappaleeseen on muodostunut porras muotin jakopinnan kohdalle. Kappale voi olla myös muulla tavoin epäsymmetrinen.
- C – Muotovirheet: Valukappaleesta puuttuu jokin piirustuksen mukainen osa, reiän tai muun osan muoto on virheellinen, tai kappale on kiero.
- D – Valukappaleesta puuttuu ainetta: Kappale on vajaa, koska muotti on vuotanut, tai kappaletta puhdistettaessa siitä on lohjennut pala irti.
- E – Ulospäin suuntautuvat pintavirheet: Kappaleen pinta on liian karkea, valukappaleen pinnassa on hiekkaa vielä puhdistuksen jälkeen tai kappaleessa on purseita jakotasossa tai keernojen ympärillä.
- F – Sisäänpäin suuntautuvat pintavirheet: Kuten edellä, mutta viat suuntautuvat kappaleen sisään.
- G – Imuvirheet: Painaumia, onteloita ja huokosia kappaleen pinnassa, jotka johtuvat jähmettymisen aikana tapahtuvista kutistumisilmiöistä.
- H – Kaasurakkulat: Huokosia, jotka johtuvat sulaan sekoittuneesta ilmasta tai reaktiokaasuista.
- I – Sulkeumat: Sulaan sekoittuneita tai sulan kemiallisten reaktioiden kautta muodostuneita muusta aineesta erottuvia ainesosia. Jähmettyvät joko kappaleen sisään tai pintakerrokseen.
- K – Sulautumisvirheet: Ympäröivää muuta ainetta heikompiä, saumamaisina esiintyviä kohtia, jotka ovat liiaksi jäähtyneen metallin aiheuttamia.

- L – Halkeamat: Muodostuvat joko valun aikana tai pian muotista poistamisen jälkeen.
- M – Valuraudan rakennevirheet: Valumateriaalin raerakenne ei vastaa tilattua rakennetta. Kovuus voi olla liian suuri tai pieni, tai grafiittirakenne voi olla väärä.
- N – Muut rakennevirheet: Valukappaleen pinnan hiilipitoisuus voi olla liian korkea tai matala, kappale voi olla hehikutushilsekuonan peittämä.
- O – Puhdistusvirheet: Kappaleessa on liikaa valupurseita tai keernojen jäännöksiä, pinnat voivat olla huonosti hiotut. Myös pintakäsittely voi olla väärä (Meskanen, Höök. n.d. a, 1, MET. 1985. 20-179).

4 TYÖSTÄMINEN

Työstämisellä tarkoitetaan tuoteaihion muokkausta yleisimmin siitä materiaalia poistamalla, tavoitteena antaa aihiolle haluttu muoto, mitta ja pinnankarheus. Tähän vaadittujen toleranssien saavuttamiseen tähtäävään materiaaliopoistoon käytetään työstömenetelmiä ja työstökoneita eli koneistusta, jossa suuren tarkkuutensa sekä toiminta-alueensa vuoksi lastuavalla työstöllä on keskeinen asema (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 1).

Tavallisin esitetty valmistusmenetelmien jaottelu tapahtuu viiden perusmenetelmäalueen mukaan. Kyseisiä menetelmäalueita ovat valaminen, liittäminen, lämpökäsittely ja sintraaminen sekä työstäminen. Näistä työstäminen jaotellaan edelleen menetelmäperusteisesti leikkaamiseen, muovaamiseen, pinnoitukseen, sähköeroosioon sekä lastuaviin menetelmiin, kuten sorvaukseen ja jyrsintään (Aaltonen ym. 1997, 2-3).

Lastuaminen on tärkein työstömenetelmä, joka voidaan jakaa rouhintatyöstöön, jossa työkappaleesta irrotetaan suuria ainemääriä tehokkaasti, sekä hyvään mittatarkkuuteen ja pinnanlaatuun tähtäävään viimeistelytyöstöön. Koska lastuaminen on

kallis työstömenetelmä, sitä on yritetty korvata ja vähentää tarkempien aihionvalmistusmenetelmien avulla, mutta kasvavien mittatarkkuusvaatimuksien johdosta eivät valaminen tai muovaaminen ole onnistuneet korvaamaan lastuamista (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki, Sihvonen, 2007, 140).

Lastuaminen perustuu työstettävää materiaalia huomattavasti kovemman terän tunkeutumiseen työkappaleeseen, joka plastisen muodonmuutoksen seurauksena irrottaa kappaleesta ainetta, lastuja (Ihalainen ym. 2007, 140).

Terän muodon perusteella voidaan tehdä jako lastuamiseen geometrisesti määrätynmuotoisella terällä, kuten esimerkiksi sorvaaminen ja jyrsintä, tai lastuamiseen geometrisesti epämääräisellä terällä, näitä ovat esimerkiksi hionta ja hienotyöstömenetelmät (Ihalainen ym 2007, 140).

Koska Moventas Windin valuja työstetään pääsääntöisesti sorvaamalla, kuten planeetankantajat sekä laipat, ja jyrsimällä, kuten muotourat sekä vaihde-laatikkojen tasomaiset pinnat, on nämä kaksi lastuamismenetelmää esitelty seuraavassa tarkemmin.

4.1 Sorvaaminen

Sorvaamista pidetään yleisimpänä käytettynä lastuamismenetelmänä, lastuavista työstökoneista noin 30 % on sorveja ja näistä nykyisin käytössä olevista suurin osa on numeerisesti ohjattuja. Sorvauksessa sorviin asetettu työkappale pyörii pituusakselinsa ympäri työkalun eli sorvinterän tehdessä syöttö- ja asetusliikkeet. Sorvaus voidaan jakaa sorvinterän liikeradan mukaisesti lieriö-, taso-, kartio-, muoto- ja sisäsorvaukseen (Ihalainen ym 2007, 150; Aaltonen ym. 1997, 175).

Aikoinaan sorvi tarkoitti käsikäyttöistä kärkisorvia, mutta nykyään konepajoista löytyy usean tyyppisiä sorveja, esimerkiksi monitoimisorvit varustettuna revolverilla ja pyörivillä työkaluilla. Tämän tyyppistä automaattisorvia käytetään eteenkin suurten sarjojen valmistuksessa. Lisäksi konepajasta voi löytyä pystysorveja, joilla pystytään edullisesti valmistamaan suuria, laippamaisia kappaleita (Ihalainen ym 2007, 151,157; Aaltonen ym. 1997, 175).

Sorvaus voidaan jakaa rouhintasorvaukseen, jossa käytetään kookkaita sekä tukevia työkaluja tarkoituksena irrottaa työstökappaleesta ainetta mahdollisimman tehokkaasti. Toinen sorvauksen osa on viimeistelysorvaus, jossa käytetään pientä lastuamissyvyyttä sekä syöttönopeutta tavoitteena saavuttaa hyvä pinnanlaatu sekä kappaleelle asetetut tarkat mitta- sekä muototoleranssit (Aaltonen ym. 1997, 177).

Työstettävät kappaleet kiinnitetään sorviin yleensä leuallisilla kiinnitystukoilla, mikäli kappale on lieriön muotoinen tai säännöllisen kulmikas. Epäsymmetristen kappaleiden kohdalla käytetään tasolaikkoja ja pitkien, hoikkien akseleiden kiinnitys tapahtuu usein suoraan sorvin kärkien väliin (Aaltonen ym. 1997, 187-189).

Sorvaustyökaluissa terämateriaalina käytetään pääsääntöisesti kovametalleja, pinnoitettuna juuri kyseistä työstettävää materiaalia ja käyttötarkoitusta varten. Eteenkin valuraudan koneistus onnistuu kovametalliterällä hyvin. Viimeistelysorvauksessa voidaan käyttää pikaterästä tai keraamisia paloja, mutta tällöin koneen sekä kappaleen kiinnityksen on oltava tukeva (Aaltonen ym. 1997, 183-184).

4.2 Jyrsintä

Edellä käsitellyn sorvauksen ohella toinen yleisesti käytetty työstömenetelmä on prismaattisten kappaleiden jyrsintä. Jyrsimisessä työkalu pyörii akselinsa ympäri kappaleen ollessa kiinnitettynä paikoilleen. Työstettävän kappaleen sekä jyrsimen keskinäisen asennon mukaisesti jyrsintä jaetaan otsajyrsinnäksi, jossa työkalun akseli on kohtisuorassa työstettävään pintaan nähden, sekä lieriöjyrsinnäksi, jossa työkalun akseli on työstettävän pinnan suuntainen. Lisäksi eräänä merkittävänä lieriöjyrsinnän muotona voidaan mainita hammaspyörien valmistuksessa käytetty vierintäjyrsiminen (Ihalainen ym 2007, 163; Aaltonen ym. 1997, 205).

Jyrsimällä valmistetaan tyypillisimmin prismaattisia koneenosia, esimerkiksi muotouria, kiilauria sekä kierteitä ja nousullisia uria. Tyypillisinä jyrsittyinä osina voidaan mainita vaihdelaatikkojen suuret tasomaiset pinnat, runkojen jalustat sekä kiilauralliset voimansiirtoakselit (Aaltonen ym. 1997, 207).

Konepajojen yleisimpiä jyrsinkoneita ovat polvityyppiset jyrsinkoneet, joissa kara on vaakasuora tai vaihtoehtoisesti pystysuora sekä eteenkin pitkien kappaleiden jyrsin-tään tarkoitettu runkotyyppinen jyrsinkone. Polvityyppisissä jyrsinkoneissa pöydän korkeutta voidaan yleensä säätää, kun runkotyyppisessä se ei ole mahdollista. Kun vaakakaraiseen runkotyyppiseen koneeseen lisätään työkaluvarasto, automaattinen työkalunvaihtaja sekä useampi pöytä, on kyseessä koneistuskeskus. Pitkälti automa-tisoituja koneistuskeskuksia käytetään yleensä suurten sarjojen valmistukseen (Iha-lainen ym 2007, 166-171; Aaltonen ym. 1997, 210).

Kappaleet kiinnitetään työpöydälle hakarautojen tai ruuvipuristimen avulla, mutta suurten sarjojen kyseessä ollessa on syytä rakentaa juuri kyseistä kappaletta varten suunnitellut erikoiskiinnittimet tai käyttää hydraulikäyttöisiä kiinnittimiä. Kiinnittä-valittaessa on otettava huomioon työstön helpottaminen, eli yhdellä kiinnityksellä tulisi olla mahdollista koneistaa kappaletta monesta suunnasta (Ihalainen ym 2007, 173; Aaltonen ym. 1997, 209).

Työkaluina jyrsinässä käytetään perinteisesti pikateräksisiä lieriö-, tappi- ja muoto-jyrsimiä, jotka kiinnitetään jyrshintuurnan avulla jyrsimen karalle. Kuitenkin kovame-talliset kääntöteräjyrsimet, kuten otsa-, tappi-, ja siilijyrsimet ovat syrjäyttämässä perinteisemmät jyrsimet (Aaltonen ym. 1997, 207)

5 VALUKAPPALEIDEN SUUNNITTELU

5.1 Suunnittelun periaatteet

Työstettävien kappaleiden aihiot valmistetaan yleensä valamalla, hitsaamalla tai ta-komalla. Aihioita voidaan myös valmistaa levynmuovauksella, mikäli kyseessä on ohutlevystä valmistettavat massatuotantokappaleet, tai jauhemetallurgisilla mene-telmillä, jos metallin lastuaminen tai valaminen on vaikeaa, kuten esimerkiksi volfra-mi, niobi ja molybdeeni. (Meskanen, Höök. n.d. d, 1).

Vaikka useimmat koneenrakennuskomponentit voidaankin valmistaa millä tahansa menetelmällä, voivat vaadittujen ominaisuuksien saavuttamisen kustannukset poiketa toisistaan hyvin paljon. Siksi valmistusmenetelmän valinnassa on otettava huomioon:

- materiaalivaatimukset (lujuus, sitkeys ja kovuus)
- materiaalivaihtoehdot
- kappaleen koko- ja muotovaatimukset
- sallitut toleranssit
- haluttu pinnanlaatu ja muut laatuvaatimukset
- sarjasuus (Meskanen, Höök. n.d. d, 1).

Valumenetelmien joukosta löytyy sopiva vaihtoehto niin erikokoisille sarjoille, kuin myös eri materiaaleille. Myöskään kappaleen eri kokoluokat tai edellä luetellut konstruktiiviset vaatimukset eivät ole esteenä valumenetelmän valinnassa. (Meskanen, Höök. n.d. d, 1).

Koska valukomponentin valmistukseen liittyvät erityispiirteet ovat riippuvaisia valumenetelmän ja – materiaalin perusratkaisuista sekä valimon toimintatavasta ja tuotantokapasiteetista, on valukappaleen tilaajan huomioitava että kullakin valimolla on käytössään:

- tietyt valumenetelmät ja rajoitettu materiaalivalikoima
- tietyt rajatut panoskoot
- tietyt kehäkoot sekä mallivarusteet (Meskanen, Höök. n.d. d, 1).

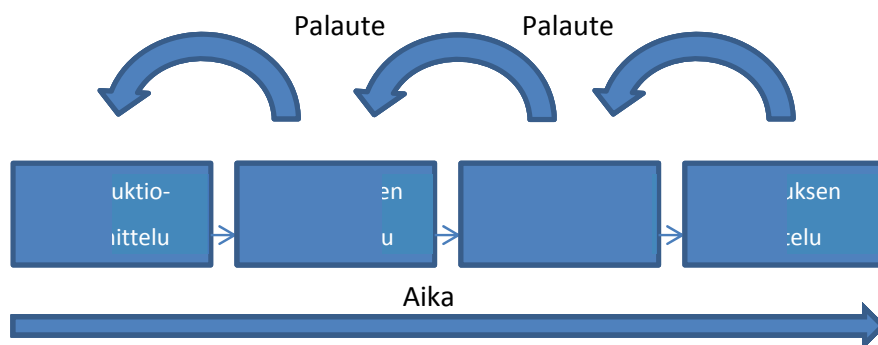
Tästä johtuen valukappaleen ja sen valutavan suunnittelu tapahtuu parhaiten yhteistyössä valimon suunnittelijoiden kanssa, josta johtuen valukappaleen lopullinen suunnittelu voi riippua merkittävästikin valitusta valimosta. Täten valun tilaajan ja valmistajan sekä mallivarusteiden valmistajan on tarpeen tehdä yhteistyötä jo kappaleen suunnitteluvaiheessa. Parhaiten ja nopeimmin tämä yhteistyö tapahtuu niin sanotun simultaanisuunnittelun kautta, jolloin eri osapuolien ja osa-alueiden asiantuntijat osallistuvat yhdessä valuratkaisun kehittämiseen riittävän aikaisessa vaiheessa (Meskanen, Höök. n.d. d, 2).

5.2 Rinnakkaissuunnittelun periaatteet

Valukomponentti käy yleensä läpi neljä tuotesuunnitteluvaihetta:

- konstruktivinen suunnittelu
- valutekninen suunnittelu
- valumallin tai kestopuotin suunnittelu
- konepajan valmistuksen suunnittelu (Meskanen, n.d. a, 1).

Perinteisesti suunnittelu tapahtuu tekemällä eri suunnitteluvaiheet peräkkäin, eli kun edellinen vaihe on saanut työnsä valmiiksi, voi seuraava tehdä omat ratkaisunsa. Tämän toimintamallin seurauksena on jo kehitystyön alkuvaiheessa tehty tärkeitä, seuraavia vaiheita sitovia ratkaisuja ilman, että nämä ovat voineet esittää omia ehdotuksiaan. Mahdollisesti kustannuksia on päässyt kertymään jo melkoisesti ja jälkikäteen tehtävät pakolliset muutokset aiheuttavat niitä lisää (Meskanen, n.d. a, 1).

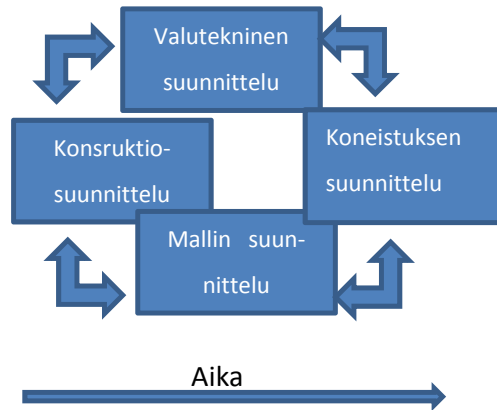


KUVIO 18. Perinteinen suunnittelu. (Meskanen n.d. a, 1).

Seurauksena tästä toimintatavasta ovat pitkät kehittäjäajat ja suuret kehittäjäkustannukset, sekä suuri muutosten tarve ja tämän johdosta muutosvastarinnan lisääntyminen (Meskanen, n.d. a, 1).

Parempi tapa on tehdä suunnittelutyö rinnakkain –”simultaanisesti”- niin, että työvaiheet ovat limittäin ja sisäkkäin. Näin päästään tilanteeseen, jossa komponentissa otetaan paremmin huomioon kaikkien osapuolten vaatimukset ja täten laadun paraneminen, sekä uusi tuote saadaan nopeammin tuotantoon, koska ongelmia ei tarvitse enää selvittää tuotantohallissa. Onnistuneella suunnitteluyhteistyöllä voidaan siis

saavuttaa merkittäviä kilpailuetuja, sillä yli puolet tuotteen kustannuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa (Meskanen, n.d. a, 1 - 2).



KUVIO 19 Rinnakkaissuunnittelu. Meskanen n.d. a, 2).

Rinnakkaissuunnittelun ensimmäisessä vaiheessa suunnittelija määrittelee valukomponentin toiminnalliset mitat ja hahmottelee kappaleen muodon pääpiirteissään. Suunnittelun toisessa vaiheessa valusuunnittelija muotoilee ”vapaat muodot”, jotka mahdollistavat valutuotteen taloudellisen valmistettavuuden. Tämän jälkeen suunnitelma palaa suunnittelijalle, joka tarkastaa edellisten vaiheiden esittämät muotoilu ehdotukset ja tekee kappaleelle tarvittavat lujuuslaskelmat. Samalla aikaa valimon valusuunnittelija suunnittelee kappaleelle valujärjestelmän. Pyrkimyksenä on, että tätä toimintamallia käyttämällä saavutetaan mahdollisimman hyvä kokonaistaloudellisuus, joka kattaa valutuotteen koko valmistusketjun. (Meskanen, n.d. a, 2).

Vaikkakin CAD/CAM-järjestelmät yhdistettynä sähköiseen tiedonsiirtoon antavat tehokkaat, valukomponentin läpimenoaikaa lyhentävät työkalut, eivät nämä tekniikan suomat mahdollisuudet korvaa yhteisiä tilaisuuksia, joissa asiantuntijat tapaavat kasvotusten. Parhaan lopputuloksen aikaansaamiseksi tarvitaan siis myös henkilökohtaisia kontakteja (Meskanen, n.d. a, 2).

Nykyisin useat valimot tarkastavat valusuunnitelman toimivuuden simuloinnin avulla. Täyttymisen simuloinnilla saadaan informaatiota kanaviston ja muottitilan täyttymi-

sestä, kun taas jähmettymisen simuloinnilla varmistutaan jähmettymisen kulusta, ja tämän lisäksi kuinka syötöt toimivat ja onko riskiä, että kappaleessa esiintyy imu- ja huokostyyppisiä vikoja. Käyttämällä näitä saatuja tuloksia hyväksi valun menetelmäsuunnittelussa, saadaan valujärjestelmä optimoitua ja valimossa tapahtuvaa suunnittelua nopeutettua (Meskanen, n.d. a, 2).

Kun simulointia käytetään tehokkaasti jo suunnitteluprosessin alkuvaiheessa, saadaan mahdollisuus vaikuttaa valukomponentin syötettävyyteen konstruktivisin muutoksin. Tällä mahdollistetaan valukomponentille yksinkertainen ja toimivan valujärjestelmä sekä karsitaan imuperäiset viat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Simuloinnilla voidaan myös havainnollisesti arvioida vaihtoehtoisia suunnitelmia ja nähdä mahdollinen tarve muuttaa komponentin geometrista muotoilua valuystävällisempään suuntaan (Meskanen, n.d. a, 3).

Simultaanisuunnittelun esteinä voi olla valuhankkijan pelko sitoutumisesta yhteen toimittajaan tai pelko kustannusten kasvamisesta kilpailuttamisen vähentyessä. Lisäksi tietämättömyys valun valmistusprosessista ja valumuodon vaikutuksista syntyyiin kustannuksiin ja kykenemättömyys nähdä valun suunnittelu ja valmistus oman valmistusprosessin osana voi estää tehokkaan suunnitteluprosessin. Kuitenkin on muistettava, että parhaassa tapauksessa onnistunut rinnakkaissuunnitteluprosessi lujittaa yhteistyötä eri osapuolten välillä, kasvattaa luottamusta, parantaa kaikkien osapuolten taitoja sekä helpottaa ja nopeuttaa käytännön valutyötä merkittävästi (Meskanen, n.d. a, 3).

5.3 Valukomponentin suunnittelun perusteita

Koneenrakennusteollisuudessa eräs tärkeimmistä tehtävistä ja myös monimutkaisimmista on suunnittelu. Sen onnistumisesta riippuu kaiken muun onnistuminen. Suunnittelu pyritään toteuttamaan johdonmukaisesti ja tehokkaasti, siksi se on pyritty rationalisoimaan ja systematisoimaan vaikka siihen liittyy myös aina välttämättömänä osana runsaasti luovuutta ja innovatiivisuutta. Systemaattista tuotesuunnittelua tukemassa käytetään arvoanalyysiä, jonka avulla osan valmistuskustan-

nukset ja muut ominaisuudet pystytään asettamaan vertailukelpoiseksi (Meskanen, n.d. b, 1).

Suunnittelussa vertaillaan ja huomioidaan suurta määrää tarjolla olevia mahdollisuuksia ja reunaehtoja. Mekaaninen kestävyys on otettava huomioon, sillä koneen osan on kestävä ja hoidettava oma osuutensa koneen kokonaistoiminnasta koko arvioidun käyttöikänsä ajan. Ympäristövaikutukset ja kierrätettävyys tulee huomioida. Massa sekä tilantarve pyritään minimoimaan, eli hyödyntämään täydellisesti käytettävien materiaalien ominaisuudet ja kappaleen muotoilumahdollisuudet. Luotettavuus optimoidaan, että konetta ei tarvitsisi korjata käyttöikänsä aikana. Turvallisuus on tärkeää, tuote ei saa normaalin käytön yhteydessä, poikkeustilanteiden satuessa tai käytön päätyttyä aiheuttaa käyttäjilleen tai ympäristölle hallitsemattomia riskejä (Meskanen, n.d. b, 1).

Valukomponentin suunnittelija tarvitsee tietoa millainen on valukappaleen valmistusprosessi, eli kuinka tämän voi ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Tarjolla olevista valumenetelmistä ja niiden asettamista mahdollisuuksista sekä rajoituksista, kuten kustannuksista, sarja- ja kappalekoosta, materiaalivaihtoehdoista sekä kaa-vaustekniikan ja mallivarusteiden asettamista rajoituksista saatu tieto vaikuttaa suunnittelun onnistumiseen. Yhtä tärkeää on tieto tarjolla olevista valumateriaaleista ja niiden käyttäytymisestä valusta, valuvioista sekä simuloinnin tarjoamista mahdollisuuksista vikojen ennakoinnissa (Meskanen, n.d. b, 2)..

5.3.1 Systemaattinen tuotesuunnittelu

Yrityksessä tapahtuva tuotesuunnittelu kattaa yleensä tuotteiden ja niiden eri sukupolvien suunnittelun. Täten yksittäisen tuotteen tai komponentin suunnittelu edustaa siis osaa laajemmasta, mahdollisimman johdonmukaisesta ja tehokkaasti johdetusta systemaattisesta tuotesuunnittelutoiminnasta. Tuotekohtaisten ja tapauskohtaisten teknisten näkökohtien ohella systemaattinen tuotesuunnittelu ottaa huomioon myös pitemmän aikavälin näkökohdat ja ulkoiset tekijät kuten markkinat, kysynnän sekä kilpailutekijät ja näiden lisäksi sisäiset tekijät, kuten yrityksen toiminta-ajatuksen ja tuotepolitiikan, osaamisen ja tuotantokapasiteetin sekä ulkoisen alihankinnan edellytykset (Meskanen, n.d. b, 4).

Lähtötilanne yksittäisten tuotteiden tai komponenttien suunnittelussa voi olla vaihteleva. Tuote voi olla esimerkiksi kokonaan uusi, toiminnallisesti muutettu versio vanhasta tuotteesta tai vain paranneltu versio vanhasta komponentista. Tällöin myös tuotesuunnittelun kulku voi olla oleellisesti erilainen, mutta kaikissa tapauksissa tulee kuitenkin yhdistää parhaalla mahdollisella tavalla uusien ideoiden synnyttäminen, kattava olemassa olevien vaihtoehtojen vertailu ja näiden systemaattinen arviointi, sekä ratkaisujen teko ja niiden edelleen kehittäminen kustannustehokkaan ja tarkoituksenmukaisen tuotteen kehittämiseksi annettujen reunaehtojen puitteissa (Meskanen, n.d. b, 4 - 5).

Yksittäisen tuotteen tuotesuunnitteluprosessin läpiviemiseen on esitetty lukuisia erilaisia systemaattisia menetelmiä ja apuvälineitä, sisältäen ainakin taustaselvitysvaiheen ja uusien ideoiden kehittelyvaiheen, jatkuen ratkaisuvaihtoehtojen arvioinnilla ja edelleen valittujen ratkaisujen jatkokehittelyllä. Useimmat tuotekehitysmetodit sisältävät myös iteroivan suunnittelun periaatteen. Tällä tarkoitetaan sitä, että suunnitteluprosessissa voidaan aina palata taaksepäin suunnittelun lähtökohtien uudelleen määrittelyyn ja aloittaa prosessi uusituin tai tarkennetuin lähtökohdin ((Meskanen, n.d. b, 5).

Iteratiivisen prosessin tarkoituksena on varmistaa se, että alkuvaiheessa tehdyt rajoitukset tai valinnat eivät estä optimaalisen ratkaisun löytämistä ja toteuttamista. Lisäksi tarkoituksena on, että prosessin aikana esiin tulevat uudet mahdollisuudet voidaan hyödyntää. Kun esimerkiksi vertaillaan jo suhteellisen pitkälle hahmoteltuja eri suunnitteluvaihtoehtoja, voidaan huomata uusia materiaali- ja valmistusmenetelmien yhdistelmiä, joita ei osattu ottaa huomioon aiemmin. Vertailussa voidaan myös havaita turhia rajoituksia, jotka ovat tarpeettomasti rajanneet käyttökelpoisia ja huomion arvoisia vaihtoehtoja (Meskanen, n.d. b, 5).

5.3.2 Arvoanalyysi

Vaikkakin koneenosien ja muiden uusien tuotteiden suunnittelu on luovaa toimintaa, on suunnittelutyö myös kallista ja suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut vaikuttavat määrävällä tavalla tuotteiden valmistuskustannuksiin ja käyttöominaisuuksiin. Niin-

pä on tarkoituksenmukaista pyrkiä tehostamaan ja järkeistämään luovaa suunnittelua (Meskanen, n.d. b, 5).

Laajimman suosion yli 50 kehitetyn luovan työskentelyn ja systemaattista tuotesuunnittelua tukevista menetelmistä on saavuttanut niin sanottu arvoanalyysi, ja siihen liittyvä toimintoanalyysi. Arvoanalyysi on alun perin kehitetty olemassa olevien tuotteiden paranteluun rakenteiden, valmistusmenetelmien ja materiaalinvalinnan kehittämisen kautta, mutta sittemmin se on menestyksellä otettu käyttöön myös uusien tuotteiden kehittämiseen (Meskanen, n.d. b, 5 - 6).

Arvoanalyysi on useasta vaiheesta koostuva työskentelymetodiikka, jossa sopivasti yhdistyy erittelevä ja luova ajattelu. Arvoanalyysin peruskäsite on **arvo**, joka määritellään seuraavasti:

$$\text{arvo} = \text{toiminto} / \text{kustannus}$$

Toiminnolla tarkoitetaan tarkastelevan kohteen ominaisuuksia, ja arvoanalyysissä pyritään aina kohteen arvon parantamiseen. Arvon parantaminen tapahtuu joko toimintoa parantamalla tai vaihtoehtoisesti kustannuksia alentamalla. Mikäli tuote koostuu useammasta osasta, on arvoanalyysissä tavallisesti tarpeen suorittaa ns. toiminto-kustannus-analyysi, jossa tuotteen kustannukset jaetaan toiminnoille ja saadaan hyvä vertailupohja toiminnot suorittavien komponenttien valinnalle (Meskanen, n.d. b, 6).

Arvoanalyysi perustuu alun perin ryhmätyöhön, jossa luovan toiminnan ja ideoinnin osuus on huomattava. Arvoanalyysissä lähdetään liikkeelle kohteen toimintojen ominaisuuksista ja niiden aiheuttamista kustannuksista, mahdollisesti jo olemassa olevasta ratkaisusta jättää huomiotta (Meskanen, n.d. b, 6).

Arvoanalyysissä toiminto määritellään tuotteen ominaisuutena tai ominaisuuksien yhdistelmänä. Toiminto siis tekee tuotteen käyttökelpoiseksi tai hyödylliseksi. Toiminnot jaetaan perustoimintoihin ja sivutoimintoihin siten, että perus- eli päätoiminto on oleellisin asia vastaten kysymykseen, miksi esine on olemassa. Sivutoimintoja ovat kaikki muut toiminnot, jotka antavat kohteelle lisäpiirteitä ja parantavat mahdollisesti sen käyttökelpoisuutta, eli tukevat perustoimintoa. Sivutoiminnot eivät kui-

tenkaan ole täysin välttämättömiä perustoiminnon toteutukselle. Esimerkkinä voidaan mainita sähkölampun perustoiminto ”tuottaa valoa” ja sen sivutoiminto ”kestää tärinää” (Meskanen, n.d. b, 7).

Perus- ja sivutoiminnot voidaan jakaa edelleen osatoiminnoiksi, jotka ovat välttämättömiä kyseessä olevalle perus- tai sivutoiminnolle ja sen toteuttamiselle. Näin kohteen toiminnoista voidaan muodostaa kalanruotokaavio, jossa perus- ja sivutoiminnot jakautuvat yhä yksityiskohtaisemmiksi osatoiminnoiksi. Tämä kaavio noudattelee tuotteen rakennepuuta, jossa tuote muodostuu toiminnallisista kokonaisuuksista, monimutkaisella tuotteella näitä kokonaisuuksien tasoja voi olla useampikin (Meskanen, n.d. b, 7).

Perustavien informaatio- ja analyysivaiheiden yhteydessä on saatu tarkemmin eritellyiksi tarkemman analyysin kohteiksi tulevat toiminnot ja tarvittaessa niiden osatoiminnot. Lisäksi on selvitetty onko tavoitteena kustannusten minimointi vai toimintojen kehittäminen, vai onko mahdollisesti tarkoituksena molemmat. Arvoanalyysin tärkeimmän luovanvaiheen, ideoinnin, lähtökohdaksi otetaan tavallisesti kohteen perustoiminto ja asetetaan aiheeksi millä eri tavoilla tämä toiminto voidaan toteuttaa. Ideointivaiheen tavoitteena on saada aikaan mahdollisimman paljon ideoita ilman, että kritiikki haittaa niiden tuotantoa. Useimmiten ideointivaiheessa käytetään aivoriiheksi kutsuttua luovan työn tekniikkaa, vaikka joskus on aiheellista ottaa avuksi myös muita ideointitekniikoita. Myös hassut ja mahdottomilta kuulostavat ideat on syytä tuoda julki ja käsitellä, sillä ne saattavat olla juuri se kipinä, joka sitten laukaisee lopullisen hyvän idean (Meskanen, n.d. b, 7).

Ideointivaiheen jälkeen selvitetään tuotettujen ideoiden käyttökelpoisuus. Arviointivaiheen lähtökohtana on, että kaikki ideat voivat olla käyttökelpoisia. Perinteinen arvostelumenettely perustuu puhtaasti päättelyyn alkaen esitettyjen ideoiden havainnollistamisesta ja näiden kustannusten arvioinnista, jonka jälkeen valitaan kustannuksiltaan halvin idea ja luetteloidaan sen hyvät puolet ja heikkoudet. Esitettyjä ideoita käsitellään näin tarvittava määrä, kunnes parhaita arvoja edustavat ideat valitaan edelleen kehitettäväksi (Meskanen, n.d. b, 7).

Kappaleen muotoilumenetelmä ratkeaa yleensä jo koneenosien suunnitteluun liittyvän materiaalinvalinnan ja toimintotarkastelun yhteydessä. Takomisen ja hitsaamalla kokoamisen ollessa myös vaihtoehtoina, on valamisen suurin etu muotoilun vapaus, joka mahdollistaa mm. onttojen kappaleiden valmistamisen edullisesti, sekä kappaleen muodon optimoinnin siten, että se on lujuusopillisesti mahdollisimman tarkoituksenmukainen. Toisena etuna voidaan mainita valamisen soveltuvuus lähes kaikille metalleille. Mikäli on mahdollisuus käyttää vaihtoehtoisia menetelmiä, valmistusmäärällä on suuri merkitys. Hitsaamalla kokoaminen on kustannuksellisesti edullista silloin, kun valmistusmäärä on pieni, kun taas takominen tulee kysymykseen hyvin suurilla kappalemäärillä. Menetelmän valintaan vaikuttaa oleellisesti myös kappaleen koko ja rakenteen monimutkaisuus. Joskus saatetaan menetelmiä yhdistämällä päästä parhaaseen lopputulokseen, esimerkiksi valettuja komponentteja voidaan liittää hitsaamalla toisiinsa (Meskanen, n.d. b, 7 - 8).

Koneenosien suunnittelussa on oleellisen tärkeitä ottaa huomioon osaan kohdistuva kuormitustapa. Lujuuden ja jäykkyyden kannalta ovat taivuttava, vääntävä tai nurjahduttava kuormitus kriittisiä, kun taas puhdas veto tai puristus on harvemmin ratkaisevia. Mikäli kappale pyritään tekemään mahdollisimman kevyeksi, on kuormitustavan huomioonottaminen välttämätöntä (Meskanen, n.d. b, 8).

5.4 Hiekkavalukappaleen konstruktion mukauttaminen

Koneensuunnittelijan suunnittelema ensimmäinen valukappalekonstruktio ei useimmiten kelpaa sellaisenaan sarjatuotantovaluksi, joten konstruktion täytyy tehdä muutoksia. Se täytyy mukauttaa hiekkavalumenetelmää varten siten, että kaavaaminen olisi valimolle mahdollisimman helppoa, syntyvät mallikustannukset pienet ja valuvikojen esiintymisen todennäköisyys mahdollisimman pieni. Vaikkei valuvikoja ei aina voi välttää, niiden paikkaa voi kuitenkin pyrkiä hakemaan suunnittelun keinoin sellaiseen paikkaan, jossa haitat ovat mahdollisimman pienet – esimerkiksi kohtaan, johon ei kohdistu kuormituksia tai kohtaan, jota ei koneisteta (Meskanen, Höök. n.d. e, 2).

Hiekkavalukappaleen konstruktion mukauttamiseen on olemassa muutama perussääntö. Ensimmäisenä suunnittelijan tulee valita kappaleen valuasento mahdollisuuksien mukaan yhteistyössä valimon kanssa ja mallintaa kappaleen päästöt, jotka muuttavat kappaleen muotoja jonkin verran. Valuasento riippuu monesta tekijästä ja valimoilla on omia mieltymyksiä valuasennon valintaan. Periaatteena voidaan kuitenkin pitää, että paksut osat asetellaan joko ylimmäksi tai sellaisiin kohtiin, joihin voidaan helposti suunnitella riittävän kokoiset syötöt (Meskanen, Höök. n.d. e, 2).

Suunnittelijan on muistettava, että kappaleeseen ei saa jäädä paksuja seinämiä ohuiden ympäröimäksi, koska tällaisia kohtia on hankala syöttää. Kappaleeseen on kuitenkin jätettävä riittävästi kohtia joihin syötöt ja kanavat voidaan liittää. Kanavien kohdat tulisi mieluiten suunnitella jakotasolle (Meskanen, Höök. n.d. e, 3).

On vältettävä suunnittelemasta kappaleeseen muotoja, jotka tuottavat muottiin tai keernaan ohuen hiekkapatsaan. Metallin ympäröimä hiekka kuumentuu voimakkaasti ja täten kappaleen jähmettyminen hidastuu ja kappaleeseen tulee paikallinen kuuma kohta, joka tuottaa useimmiten sisälleen huokosia tai imuja. (Meskanen, Höök. n.d. e, 3).

Kappaleeseen on muotoiltava pyöristettyjä pintoja ja käytettävä kulmissa mahdollisimman suuria pyöristyssäteitä. Tällä tavoin vältetään jäännösjännityksiä, vääntyilyä ja paikallisten kuumien kohtien aiheuttamia imuvikoja. Pyöristykset eivät kuitenkaan saa olla niin suuria, että seinämä paksunee liikaa (Meskanen, Höök. n.d. e, 3).

Kappale on pyrittävä suunnittelemaan siten, että muotin jakopinnasta tulee tasomainen. Kuitenkin suurten tasaisten vaakapintojen välttäminen on suositeltua, sillä ohut ja laaja vaakaseinämiä on hankala valaa. Suuret pinnat on muotoiltava mieluiten kaltevaan asentoon (Meskanen, Höök. n.d. e, 3).

Seinämänpaksuuden äkkinäinen vaihtelu ei kuulu hyvän valukappaleen ominaisuuksiin, sillä suuret vaihtelut aiheuttavat epäjatkuvuuskohtia ja hankaloittavat metallin virtausta. Ainekeskittymien syntymistä on myös vältettävä, sillä ne voivat aiheuttaa imuvikoja, jos syöttömetalli ei pääse virtaamaan niihin esteettä. Tällöin on käytettävä keernoja keventämään ainekeskittymiä (Meskanen, Höök. n.d. e, 4 - 5).

Suunnittelijan on huomioitava valumetallin käyttäytyminen eri seinämäpaksuuksilla, sillä osa valumetalleista on seinämäherkkiä. Tällä tarkoitetaan sitä, että kappaleen ominaisuudet muuttuvat seinämäpaksuuden mukaan, sen tai kappaleen massan lisääminen ei välttämättä paranna kappaleen lujuutta tai laatua. Sen sijaan kappaleen mekaaniset ominaisuudet voivat jopa heiketä, kun seinämäpaksuus kasvaa. Valumetallin kutistuminen on myös huomioitava, sillä se voi vaihdella eri valukerroilla. Kutistumat ovat helpommin hallittavissa, jos seinämäpaksuus ei vaihtele kovin paljon. Tällöin jäähtyminen tapahtuu kaikkialla kappaleessa suunnilleen samassa ajassa (Meskanen, Höök. n.d. e, 6,8).

Mahdollisuuksien mukaan on pyrittävä huomioimaan kappaleen puhdistettavuus, sillä keernahiekka täytyy saada poistettua helposti kappaleen sisältä. Jotta hiekan poistaminen olisi mahdollisimman helppoa, keernatiloihin johtavat aukkokohdat tulee suunnitella riittävän suuriksi. Syöttökupujen ja kanavien sijoitteluun voi pyrkiä vaikuttamaan yhteistyössä valimon kanssa (Meskanen, Höök. n.d. e, 8).

Kappaleen lujuus on maksimoitava. Vetojännitykset on muutettava puristusjännityksiksi. Suurten kappaleiden ulkopuolisiin osiin kohdistuva painosta johtuva rasitus on huomioitava, sillä kappale joutuu suuriin rasituksiin kun sitä nostetaan (Meskanen, Höök. n.d. e, 10).

Suunnittelijan on pyrittävä muotoilemaan kappale siten, että työstäminen sujuu mahdollisimman helposti, työstettävä kohta ei saa olla kappaleen ohuin. Työstön lähtöpintojen tulisi olla samassa muottipuoliskossa, sillä tällöin valun tarkkuus on paras mahdollinen. Kohdat, joista kappale tullaan kiinnittämään työstökoneeseen, on myös ajateltava valmiiksi. Työstettäviin pintoihin on lisättävä työvarat, joiden suuruus riippuu kappaleen maksimimitasta, valitusta valutoleranssista ja valitulle valumenetelmälle mahdollisesta pinnanlaadusta (Meskanen, Höök. n.d. e, 11).

6 NYKYTILAN KUVAUS

Kappaleita tilattaessa Moventas Windin ostaja merkitsee tilaukseen ne laatuvaatimukset, jotka kappaleen tulee täyttää ja tarkastukset, jotka kappaleelle tulee suorittaa ennen sen toimittamista koneistukseen. Nämä vaatimukset ovat pääsääntöisesti yrityksen määrittelemiä yleisiä vaatimuksia, mutta tilausta voidaan tapauskohtaisesti täydentää asiakkaan esittämillä vaatimuksilla. Yrityksen omat vaatimukset pitävät sisällään tiedot NDT -tarkastuksista ja niihin liittyvistä hyväksymisluokista, vaadituista todistuksista sekä viittaukset vastaaviin standardeihin. Asiakkaan vaatimukset voivat pitää sisällään esimerkiksi normaalista poikkeavan pintakäsittelytavan tai pintakäsittelyaineet.

Satunnaisesti, ostajasta riippuen, ostotilaukseen on lisätty maininta, mikäli tilaajan edustajan suorittama vastaanottotarkastus vaaditaan tehtäväksi jo valimolla, vai tulanko se suorittamaan myöhemmässä tuotantovaiheessa. Useimmiten vaatimus vastaanottotarkastuksesta ja sen suorittamisesta nousee esille valmistusprosessin aikaisissa keskusteluissa.

Kun tilatut valukappaleet valmistuvat valimolla, sopii valimon laatuosasto Moventas Windin laatuinsinöörin kanssa kappaleiden vastaanottotarkastuksesta sekä sen suorittamisen ajankohdasta. Yleensä kappaleet tarkistetaan valimolla ennen pintakäsittelyä, kuitenkin siten, että kaikki muut tuotantovaiheet ovat suoritettuina. Tämä ei kaikissa tapauksissa ole mahdollista, esimerkiksi jos kyse on yksittäisistä valukappaleista, jotka tulevat Suomen ulkopuolelta tai jos tarkastuksen suorittajan aikataulu ja toimitusaika eivät kohtaa, ts. tarkastajalla ei ole aikaa vierailta valimolla. Tällöin toimittavan valimon kanssa sovitaan uudesta menettelytavasta, esimerkiksi dokumenttien toimittaminen sähköpostilla laatuinsinöörille ja koneistajan suorittama perusteellisempi tarkastus.

Tarkastuksen yhteydessä valimoa pyydetään esittämään kaikki kyseisiin kappaleisiin liittyvät dokumentit, sisältäen:

- mittapöytäkirjat
- materiaalitodistukset

- rikkomattoman aineenkoetuksen (NDT) tarkastuspöytäkirjat
- simulointitulokset
- mahdolliset muut dokumentit, jotka antavat lisätietoa valun tilasta

Dokumenttien tarkistuksen jälkeen kyseessä olevat valukappaleet tarkistetaan ensin silmämääräisesti mahdollisten valu- tai puhdistusvirheiden varalta. Valukappaleista otetaan pistokokein tarkastusmittoja joko Moventas Windin laatuinsinöörin tai valimon tarkastajan toimesta. Näitä mittoja verrataan kappaleen valupiirustukseen, mikäli tällainen on saatavilla. Jos valupiirustusta ei ole olemassa, kuten vanhoilla tuotteilla ja kappale on tehty koneistuspiirustuksen perusteella, voidaan tarkastus kuitenkin suorittaa, mikäli valimolla on selvästi tiedossa kappaleeseen lisätyt työvarat. Myös kappaleen kovuus tarkistetaan ja verrataan standardin ja piirustuksen vaatimukseen. Lisäksi voidaan pyytää valimon tarkastajaa suorittamaan pistokoetarkastus tietylle kohdalle kappaletta sopivaksi katsomallaan rikkomattoman aineenkoetuksen menetelmällä.

Kappaleen tarkistuksen jälkeen Moventas Windin edustaja antaa valimolle yhteenvedon mahdollisesti havaituista poikkeamisista sekä päätöksen kappaleen jatkoimenpiteistä, eli lähetetäänkö kappale eteenpäin vai tuleeeko se mahdollisesti romuttua. Jälkimmäisessä tapauksessa tarkastaja välittää tiedon vastuulliselle ostajalle, jotta korvaava valukomponentti saadaan tilattua mahdollisimman nopeasti. Satunnaisesti kappaleet joudutaan ”keskeyttämään” eli odottamaan päätöstä esimerkiksi tuotekehitysosastolta, mutta tätä menettelyä käytetään koevalujen kanssa suhteellisen vähän. Tehtyjen tarkastusten tulokset sekä sovitut toimenpiteet kirjataan vapaamuotoisesti ylös, tällä hetkellä ei ole käytössä vakiintunutta lomakepohjaa eikä myöskään tapaa, jolla tarkastuslomakkeet arkistoidaan.

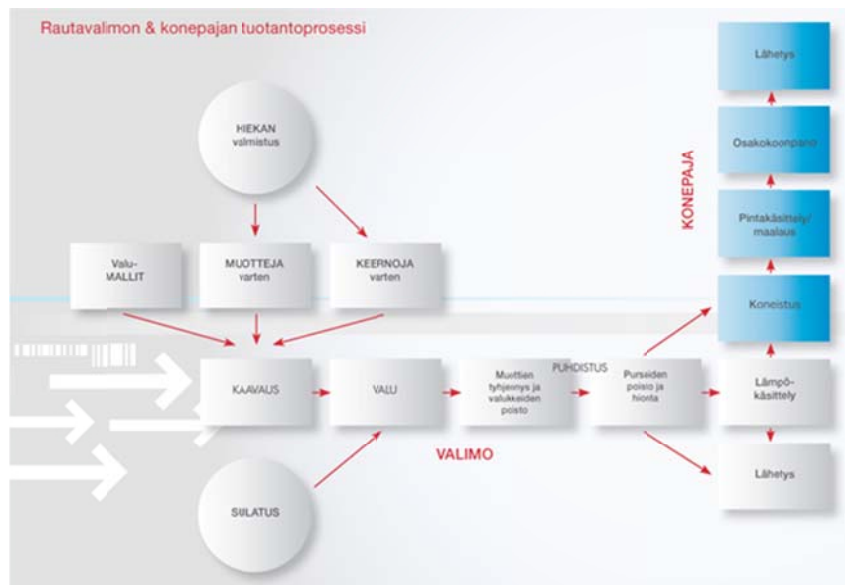
Edellä kuvatun tyyppistä tarkastusta ei tällä hetkellä suoriteta kappaleille niiden koneistuksen aikana Moventas Windin toimesta. Ainoastaan on sovittu, että koneistuksen suorittaja raportoi, mikäli kappaleissa havaitaan mittapoikkeamia tai valuvirheitä. Nämä kommentit raportoidaan yleensä sähköpostin tai puhelimen välityksellä ostajalle tai suoraan kappaleen suunnittelijalle, joten tieto asioista on usein vain yhdellä henkilöllä.

Koneistuksen jälkeen, ennen kokoonpanoa kappaleille suoritetaan ultraäänitarkastus ulkopuolisen tarkastuslaitoksen toimesta, mikäli valmistusaikataulu tämän sallii. Pääsääntöisesti näin toimitaankin, mutta tällä hetkellä valitettavasti tarkastuksista lipsutaan johtuen tiukoista aikatauluista. Suoritettavalla ultraäänitarkastuksella varmistetaan valimon tulosten paikkansapitävyys ja ettei koneistuksen jälkeen ole ilmennyt uusia, kriittisiä valuvirheitä. Kyseisen tarkastuksen raportit toimitetaan laatuinsinöörille, joka arkistoi ne sähköisesti omalle koneelleen mahdollista myöhempää tarvetta varten.

Koska koevalujen valmistumisen ja seuraavan valmistussarjan välillä voi kulua aikaa jopa kaksi vuotta, on muistiin ja mahdollisiin sähköposteihin tukeutuminen epävarmaa. Uuden sarjan käynnistyessä pitäisi tietää tarkasti millaiset koevalut olivat, pitkö niihin tehdä jotain muutoksia vai voiko valimo valmistaa uudet valut samoin kuten ensimmäisen koe-eränkin. Koevalujen valmistamisen yhteydessä puutteellisesti kerätty ja arkistoitu tieto aiheuttaa epäselvyyttä sekä useita puheluita ja viestejä valulaneen valimon sekä koneistajan suuntaan, jotta päästään yhteisymmärrykseen tarvittavista toimenpiteistä. Pahimmassa tapauksessa aikaisemman valmistuserän kanssa toimineet henkilöt (suunnittelijat, ostajat, valajat yms.) ovat siirtyneet uusiin tehtäviin, eikä tietoa täten ole saatavilla. Tällöin uuden valusarjan valmistaminen joudutaan aloittamaan ”musta tuntuu” – pohjalta.

7 LAADUNVARMISTUKSEN KEHITTÄMINEN

Edellä kuvattu lähtötilanne oli siis puutteellinen eteenkin raportoinnin osalta; sen laajuudessa sekä arkistoinnissa on kehitettävää. Kehityksen kannalta oli tärkeää selvittää myös mahdolliset vaatimukset ja toiveet, joita valuja valavilla ja koneistavilla toimittajilla sekä yrityksen sisällä koevalujen kanssa toimivilla henkilöillä olisi. Kuten opinnäytetyön alun teoriaosuudessa kuvattiin, kulkee valettu kappale monivaiheisen tien läpi, ennen kuin se on valmis kokoonpantavaksi (kuviot 20).



KUVIO 20. Rautavalimon & konepajan tuotantoprosessi (Componenta Oyj 2009).

Jokainen näistä useista prosessivaiheista vaikuttaa valukappaleen laatuun, joten kyselyn avulla pyrittiin selvittämään, vaatiiko jokin tietty vaihe erityisen tarkan seurannan ja raportoinnin.

Kesän 2011 aikana lähetettiin lyhyt kyselylomake kotimaisille sekä eurooppalaisille valuja valaville ja koneistaville toimittajille. Näiden toimittajien, joista viisi palautti vastauksensa määräaikaan mennessä, valintaperusteena pidettiin säännöllistä yhteistyötä koevalujen valmistuksessa. Kyseiset yritykset ovat viime vuosina toimittaneet noin 80 % kaikista koevaluista ja niiden koneistuksista, joten vaikkakin vastaajien määrä on pienehkö, otanta on riittävän kattava. Toimittajien lisäksi suoritettiin suullinen haastattelu koevalujen suunnittelusta sekä tuotteen loppulaadusta vastaavien osastojen edustajille. Nämä kyseiset osastot ovat eniten tekemisissä koevaluun vaikuttavien vaatimusten kanssa. Suullinen haastattelu suoritettiin myös yrityksen omalle kotloverstaalle, joka suorittaa viimeistelykoneistuksen pääosalle vaihteistokoteloiden koevaluista.

Suoritettavat kyselyt sekä haastattelut koottiin yhteen ja esitettyjen kommenttien pohjalta laadittiin raportointiohjeet sekä raportointilomakkeet, joita tullaan käyttämään seuraavien koevalutilausten yhteydessä.

7.1 Valimojen haastattelut

Kyselylomake lähetettiin sähköpostilla kahdelle kotimaiselle sekä kahdelle ulkomalaiselle valimolle, joista kolme palautti vastauksensa määräaikaan mennessä. Kyselylomake on liitteessä 1.

Valimot pitivät tärkeänä, että mikäli koneistuksen aikana havaitaan virheitä, nämä raportoidaan valimolle sisältäen tiedon virheen tyypistä, määrästä ja sijaintipaikasta. Tämän tiedon perusteella valimo ennättää tehdä valutuotannossa oleviin kappaleisiin tarvittavat menetelmämuutokset ennen sarjavalmistuksen aloittamista. Kuten aiemmin on käsitelty, osa valuvirheistä on pinnanalaisia tai muodoltaan sellaisia, että ne on vaikea havaita varsinkin karkealta valupinnalta. Huomattavasti helpommin virheet ovat havaittavissa koneistetulta pinnalta tehdyllä ultraäänitarkastuksella tai jopa silmämääräisesti, kun virhe on auennut kappaleen pintaan.

Koneistuksen ja lopputarkastuksen jälkeen valimoille tulisi raportoida toteutuneet työvarat, mikäli vain mahdollista. Tämän tiedon avulla valimo pystyy tekemään mahdollisesti muutoksia malliin ja vähentämään metallia paikoista, jossa sitä on liikaa ja vastaavasti lisäämään sitä tarvittaviin kohtiin. Vaikka valumalli onkin suunniteltu mittojen mukaan annetun piirustuksen perusteella, voi metallin käyttäytyminen valetessa aiheuttaa muutoksia kappaleeseen. On myös mahdollista, että piirustuksessa annetut valutoleranssit ovat olleet väärät ja tämän johdosta työvarojen suhteen on tehtävä muutoksia.

Mikäli mitään muuta tietoa ei jostain syystä ole saatavilla, valimot haluavat vähintään tiedon siitä, kuinka koneistus on kokonaisuutena onnistunut (saatiinko koneistettua valmis kappale vai ei) ja kuinka monta kappaletta on toimitetuista hyväksytyt ja mahdollisesti hylätty. Tämän tiedon perusteella he valmistavat hylätyiden tilalle uudet kappaleet ja osaavat tarvittaessa kysyä tarkentavia tietoja kappaleen laatuun liittyen.

Valimot toivovat, että koevalun hyväksyntä lähetetään sähköpostiviestillä, joka sisältää valimon käyttämän nimiketunnuksen sekä kappaleen yksilöllisen sarjanumeron. Mikäli käytettävissä on tarkentavia tietoja ja kommentteja sisältävä lomake, tätä voidaan myös käyttää. Kehitysehdotuksena mainittiin mahdollisen web-portaalin käyt-

töönottoa, josta kappaleiden mittaustiedot voitaisiin suoraan lukea. Tällöin myös hyväksyntään liittyvät dokumentit olisivat luettavissa samassa web-portaalissa.

Tiedonkulusta kysyttäessä valimot totesivat sen toimivan melko hyvin Moventas Windin sekä valimon välillä, mutta pahoittelivat suoran yhteyden puuttumista heidän ja kappaleen koneistajan välillä. Tällä hetkellä tieto kulkee Moventas Windin kautta ja tätä valimot pitivät kankeana toimintatapana. Valimot toivoivatkin, että he voisivat olla mahdollisuuksien mukaan myös suoraan yhteydessä koneistuksen suorittajaan pitäen kuitenkin Moventas Windin yhteyshenkilöt tietoisena käydyistä keskusteluista.

Tärkeimmiksi parannuskohteiksi valimot nostivat kaksi asiaa. Ensimmäisenä mainittiin, että koneistetun kappaleen kohtalo tulisi raportoida valimolle mahdollisimman nopeasti. Toinen, myös erittäin tärkeä seikka oli Moventas Windin sekä valimon suunnittelijoiden yhteiset suunnittelupalaverit jo ennen kuin valumallin valmistus aloitetaan. Kyseisillä kokouksilla voidaan vaikuttaa merkittävästi valun onnistumiseen, kun valimo pystyy antamaan omat ehdotuksensa valusuunnittelun osalta. Säännöllinen, jatkuva yhteydenpito koko suunnittelu- ja valun valmistusprosessin ajan vähentää tarvetta tehdä valuille tai valumalleille muutoksia esimerkiksi koneistuksen jälkeen.

7.2 Koneistajien haastattelut

Vastaavia kommentteja kuten valimoilta pyydettiin myös kolmelta kotimaiselta koneistajalta, joiden palveluita eniten koevalujen koneistuksessa käytetään. Näistä konepajoista kaksi toimitti vastauksensa määräaikaan mennessä. Kyselylomake on esitetty liitteessä 2.

Valukappaleen työvarat ovat kyselyn mukaan asia, josta koneistajat kipeimmin kaipaavat tietoa, mutta myös mahdollisista jo havaituista valuvioista sekä syöttöjen, valukanavien ja jakotason paikasta ollaan kiinnostuneita. Etukäteen saatuna kyseiset tiedot auttavat koneistajaa suunnittelemaan koneistusprosessiaan paremmin. Lisäksi valimolla mitattu materiaalin kovuus koettiin asiaksi, jolla on vaikutusta prosessin

onnistumisen kannalta. Pienempänä tekijänä konepajat kokivat kappaleen lastaustavan, eli saapuvatko kappaleet lavan vai pukkien päällä, missä asennossa ja kuinka suojattuna. Tämä tieto auttaa konepajoja suunnittelemaan kuinka kappaleita tulee käsitellä ja kuinka ne tulee varastoida odottamaan koneistusta.

Konepajat pyytävät Moventas Windiä raportoimaan koneistuksen jälkeen tiedon kuinka koneistus on vastannut piirustusta sekä muita tarpeita ja informoimaan, mikäli turhia koneistuksia on mahdollisesti tehty. Lisäksi pyydetään selvyyttä henkilöistä, joihin olla yhteydessä, mikäli ongelmia jatkossa esiintyy.

Koneistuksen aikana havaituista ongelmista pyydettiin selvitys valimolta mitä asialle on tehtävissä ja millä aikataululla, sekä kuka vastaa mahdollisesta valumuutoksesta. Koneistajille tulee myös raportoida, vaikuttavatko tehdyt muutokset ja toimenpiteet seuraavien kappaleiden koneistukseen, eli muuttuuko esimerkiksi jokin mitta niin, että koneen asetuksia, koneistuskiinnittimiä tai koneistusohjelmaa joudutaan sen johdosta muuttamaan.

Tiedonkulku koetaan olevan vaihtelevaa, välillä toimii hyvinkin ripeästi, mutta toisinaan tietoa saa odottaa. Koneistajat katsoivat, että suora yhteys kappaleet toimittavalle valimolle olisi myös hyvä saada. On kuitenkin muistettava, että valimon ja koneistajan tulee keskusteluissaan pitää Moventas Windin osalta ainakin ostaja mukana.

Tärkeimpänä parannusehdotuksena molemmat vastanneet konepajat nostivat esiin valimolla havaittujen mittapoikkeamien raportoinnin. Ne tulisi olla selvästi merkittynä sekä kappaleisiin että dokumentteihin, jotta ne voidaan huomioida jo koneistuksen lähtöä haettaessa.

7.3 Moventas Windin osastojen haastattelut

Oman yrityksen sisältä haastateltiin kolmen, lähimpänä koevalujen tuotantoa olevien osastojen edustajia. Haastattelu suoritettiin suullisesti pohjautuen samoihin kysymyksiin kuin valimoille sekä koneistajille lähetettiin. Vaikka saatujen vastausten ja

kehitysehdotusten määrä olikin pienempi kuin toimittajilla, korostuivat oman yrityksen sisällä pääosin samat asiat kuin toimittajaverkostossa.

7.3.1 Tuotekehitys

Valusuunnittelusta vastaavat henkilöt pitivät erittäin tärkeänä tietoa kappaleiden etenemisestä valimolla, eli pitääkö sovittu toimitusaika. Tietoa kaivattiin myös havaituista poikkeamista, eli onko kappaleen valamisessa esiintynyt ongelmia, tai onko kappaleessa jotain tiettyjä haasteellisia paikkoja. Mahdollisista muutostarpeista haluttiin tieto mahdollisimman nopeasti. Kun kappale etenee koneistukseen, koneistustyövarojen suuruus on tärkein raportoitava asia, eteenkin kappaleen pääpinnoilta, kuten esimerkiksi laakeripesät ja otsapinnat.

Tiedonkulkua pidettiin yleisesti ottaen hyvänä eteenkin Suomalaisten toimittajien osalta, ulkomaalaisten kanssa on parannettavaa. Ehdottomasti tärkeimmäksi asiaksi suunnittelu nosti valimon kanssa pidettävät suunnittelupalaverit, joita tulisi olla useammin ja tuotekehitysprojektin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

7.3.2 Koteloverstas

Yrityksen omalla koteloverstaalla koneistetaan vain pieni osa koevaluista, mutta kattavamman tuloksen aikaansaamiseksi haastattelu suoritettiin myös kyseisen osaston edustajalle.

Tärkeimpänä raportoitavana asiana koteloverstas piti koevalun mittoja. Näistä on erityistä hyötyä, kun suunnitellaan koneistusohjelmia sekä kiinnityksiä. Mittojen sekä toteutuneiden työvarojen suuruus vaikuttaa osaltaan myös tarvittavien koneistustyökalujen valintaan, samoin kuin valukappaleen kovuus.

Tämän lisäksi toivottiin, että mikäli valimon tarkastuksessa on havaittu valuvikoja tai on epäily niiden olemassa olost, nämä kriittiset kohdat tulisi merkitä selvästi valukappaleeseen, jotta koneistuksen yhteydessä osataan kiinnittää kyseiseen kohtaan erityistä huomiota.

7.3.3 Tuotteen loppulaatu

Tuotteen loppulaadun sekä asiakasrajapinnan kanssa kosketuksissa olevat henkilöt totesivat yskantaan, että tärkeintä on saada ajallaan kaikki dokumentit, jotka koevaluuihin liittyvät, esimerkiksi materiaalitodistukset, tarkastuspöytäkirjat ja mittaraportit. Lisäksi mahdolliset havaitut poikkeamat tulee välittömästi saattaa asiakasvastuullisen laatuinsinöörin tietoon, jotta hän voi olla edelleen yhteydessä loppuasiakkaaseen, eteenkin jos kaikki piirustuksista ja asiakasvaatimuksista poikkeavat seikat täyttyy loppuasiakkaalla hyväksyttäväksi.

Vaikkei kyseisellä osastolla perusvaatimuksia montaa ollutkaan, on kuitenkin muistettava että jokainen asiakasprojekti ja prototyyppi on yksilö, jonka vaatimukset täyttyy tapauskohtaisesti tarkastaa ennen tilausta. Esimerkkeinä vaatimuksista voidaan mainita mm. valimon tarkastajien pätevyudet, tarvitaanko kolmannen osapuolen hyväksyntä materiaalikokeille sekä poikkeava vaadittu pintakäsittely normaalista käytännöstä.

8 TYÖN TULOKSET

Kappaleen työvarat, kokousten järjestäminen ja tiivis kommunikointi. Nämä kolme asiaa nousivat erittäin voimakkaasti esille suoritetuissa kyselyissä ja haastatteluissa. Kappaleen rakenteellisiin ominaisuuksiin tai tarkastusvaatimukseen ei muutosta haluttu ymmärrettävistä syistä, koska nämä ovat yleensä asiakkaan pöydältä lähteviä vaatimuksia, joihin ei juurikaan voida vaikuttaa.

On siis tärkeää, että kaikista koevaluista on saatavilla tarkat mittatiedot ennen kuin kappaleen koneistus aloitetaan. Jo valukappaletta tilatessa täytyy valimon kanssa keskustella mittauksen järjestämisestä sekä tavasta, miten tulokset raportoidaan. Onko raportti käsin tehty, vain päämittoja koskeva taulukko, vai 3D-koneella tehty monisivuinen kansio, ei ole tärkeää. Tärkeintä on että mittaus tehdään ajallaan ja luotettavasti.

Koko valmistusprosessin aikana, alkaen aivan suunnitteluvaiheen alusta, on tärkeää kaikkien osapuolten välinen tiedonvaihto, jotta kappaleet saadaan valmistettua mahdollisimman vähin ongelmin ja mielellään kerralla valmiiksi. Myös tässäkin oston edustaja on suuressa roolissa. Kun kappaleen alustavat mitat ovat selvillä, voidaan näiden tietojen perusteella päätellä mikä valimo on kappaleen todennäköinen toimitaja. Tällöin voi ostaja toimia yhteyshenkilönä sekä kokousten järjestäjänä, ainakin prosessin alkuvaiheessa.

Jokainen valmistunut koevalu tulee tarkistaa kolmannen osapuolen toimesta ultraäänellä. Jo tilausvaiheessa ostajien tulee varata kappaleelle vähintään yksi päivä enemmän toimitusaikaa, jotta tarkastus poikkeuksetta pystytään suorittamaan. Lisäksi maininta tarkastuksen suorittamisesta kirjataan ostotilausriville, jotta myös logistiikan henkilöt ovat vaatimuksesta tietoisia.

Kaikki valamisen ja koneistamisen aikana havaitut ongelmat, ideat ja kehitysehdotukset tulee dokumentoida ja arkistoida niin, että ne ovat saatavilla vielä vuosienkin päästä, niin kauan kuin kyseistä kappaletta valmistetaan. Dokumentoinnin apuna käytetään koevalujen raportointilomakkeita, jotka arkistoidaan systemaattisesti tiettyyn paikkaan verkkolevyllä.

8.1 Raportointilomakkeet

Haastattelujen perusteella laadittiin koevalujen tarkastukseen ja seurantaan raportointilomakkeet, joihin kerätään tietoa sekä valamisen että koneistuksen jälkeen tehdyistä tarkastuksista, sekä valujen kanssa toimivien henkilöiden muutos-, parannus- ja kehitysideoita. Lomakkeet on esitetty liitteessä 3.

Raportointilomakkeet otetaan käyttöön vuoden 2012 alusta alkaen, kun soveltuva koevaluja tarvitseva projekti käynnistyy. Lisäksi osa vuoden 2011 aikana tehdyistä koevaluista pyritään raportoimaan kyseisille lomakkeille niiltä osin, kun mahdollista. Raportointilomakkeiden sisältöä seurataan raportoitavien projektien edistyessä ja päivitetään aina tarpeen mukaan esimerkiksi lisäämällä raportoitavia asioita. Kyseisten lomakkeiden ja liitteiden sisältämää tietoa niin kappaleiden mitoista kuin mekaa-

nisistakin ominaisuuksia voidaan käyttää tilastollisen prosessinohjauksen apuna, sekä lisäksi auttamaan valimoiden laatutason määrittelyssä. Näillä toimilla pystytään ennistä tehokkaammin valitsemaan parhaimmat toimittajat eteenkin kriittisille komponenteille.

Raportointilomakkeiden käyttämisestä on laadittu raportointiohje. Ohje opastaa vastaanottotarkastuksen sekä valmistuksen aikaisen raportoinnin suorittamisessa, sisältäen muun muassa ohjeen lomakkeen täyttämisen ja arkistointiin. Ohje on esitetty liitteessä 4. Kyseinen ohje on yrityksen intranetissä kaikkien hankinnan piirissä toimivien henkilöiden saatavilla.

8.2 Jatkotoimenpiteet

Asetetun alkuperäisen tavoitteen lisäksi opinnäytetyö poiki kehitysideoita, joiden toteuttaminen tulee parantamaan koevalujen laadunhallintaa. Nämä jatkotoimenpiteet ovat luonteeltaan sellaisia, että ne sitovat toteuttamisvaiheeseen kiinni useamman henkilön yrityksen eri osastoilta, joten niiden toteuttaminen tämän opinnäytetyön yhteydessä ei ollut mahdollista. Ne tullaan kuitenkin viemään eteenpäin mahdollisimman nopealla aikataululla.

Paremmen raportointitavan ohella jatkossa tullaan kiinnittämään enemmän huomiota yrityksen oman tuotekehityksen sekä valimon suunnittelun väliseen kommunikointiin sekä yhteisiin suunnittelukokouksiin. Kokouksia pyritään pitämään mahdollisimman monen projektin tiimoilta sekä usean toimittajan kanssa, joskaan johtuen toimittajien maantieteellisestä sijainnista tämä ei aina ole mahdollista. Myös videoneuvotteluiden mahdollisuutta tullaan tutkimaan. Näitä toimenpiteitä tullaan kehittämään edelleen yhteistyössä tuotekehityksen ja yrityksen asiakasprojekteista vastaavien henkilöiden kanssa.

Ostotilauksilla olevat laatuvaatimuksista kertovat lisärivit tullaan päivittämään mahdollisimman nopeasti vastaamaan nykyistä menettelytapaa. Lisärivejä tullaan täydentämään huomattavasti kattavammaksi sisältäen tiedot kaikista tarvittavista dokumenteista sekä niihin sovellettavista standardeista. Koevalutilauksen lisäriveille tar-

kennetaan tieto vaadituista tarkastuksista ja niiden taajuudesta, mainitaan jo ennakoon valujen valmistusprosessin lopulla suoritettavasta vastaanottotarkastuksesta sekä siitä vastaavan henkilön yhteystiedot. Näin valimot pystyvät paremmin varautumaan tulevaan tarkastukseen ajallisesti sekä tarvittavilla resursseilla, kuten usein ongelmaksi osoittautuneen 3D-mittauksen järjestämisellä tarvittaessa ulkopuoliselta palveluntarjoajalta.

Alkuvaiheessa olevan, yhteistyökumppaneille tarkoitetun, extranetin käyttöönottoa sekä sisältöä tullaan tarkastelemaan vuoden 2012 alkupuoliskon aikana. Tavoitteena on, että yrityksen ohjeet ja dokumenttipohjat olisivat extranetissä toimittajien saatavilla aina viimeisimpänä versiona ja että toimittajat voisivat sinne lähettää heiltä pyydetty dokumentit. Tällöin välttyttäisiin dokumenttien hukumiselta yhden henkilön sähköpostiin, sillä dokumentit olisivat niitä tarvitsevien henkilöiden saatavilla välittömästi lisäämisen jälkeen. Kyseisestä toimittajaportalista on myös tarkoitus luoda silta tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmään, jolloin oikein nimetyt ja lisätyt dokumentit siirtyisivät aina oikean vaihteen tietoihin helpottaen dokumenttien arkistointia.

9 POHDINTA

Omasta mielestäni pidän työtä onnistuneena ja koen, että alussa asetetut tavoitteet saavutettiin lähes kokonaan. Vaikka valukappaleiden valmistaminen ja valimoprosessi olikin jo pääpiirteittäin tuttu, toi työn ohessa tehty syvempi tutustuminen teoriaan lisää tietoa sekä herätti mielenkiintoa tutustua tiettyihin prosessin vaiheisiin vielä tarkemmin, lähinnä valimovierailuiden yhteydessä. Tärkeänä pidän myös sitä, että kyseinen työ palvelee koko yrityksen ohella myös omaa päivittäistä työtäni, tuoden juuri tähän käsiteltyyn alueeseen lisää järjestelmällisyyttä.

Vaikka työn otsikkona ja lähtökohtana onkin laadunvarmistuksen kehittäminen, työn aikana en laatutyökaluja käyttänyt tai kajonnut toimittajien suorittamiin tarkastuksiin ja mittauksiin. Sen sijaan panostus on juurikin raportoinnissa, sillä on muistettava että huolellinen raportointi ja tiedonkeruu on laadunvarmistuksen perusta. Kun tie-

toa on tarpeeksi saatavilla pitemmältä aikaväliltä, pystytään sen perusteella ottamaan käyttöön esimerkiksi tilastollinen seuranta tarkkailemaan vaikkapa kovuuden vaihtelua kappaleissa eri valimoiden välillä. Kovuushan oli yksi asia, josta koneistajat olivat erittäin kiinnostuneita.

Kun myös tulevaisuudessa tehtävät jatkotoimenpiteet saadaan vietyä onnistuneesti päätökseen, helpottuu myös suunnittelijoiden työ suuresti, sillä heillä on käytössään enemmän tietoa ja tuloksia aikaisemmista projekteista sekä valimoiden toiveista kappaleiden valmistuksen suhteen.

Osittain yllätyksenä tuli se, ettei toimittajilla kuin myöskään oman yrityksen osastoilla ollut tässä vaiheessa enempää ideoita tai parannuskohteita mielessään. Uskon kyllä, että kun tällä erää esille nostetut toimenpiteet onnistuneesti toteutetaan, poikivat nämä lisää kehityskohteita, joita tullaan sitten jalostamaan eteenpäin.

Ennen kaikkea lähikuukausina käyttöön otettavien raportointilomakkeiden sekä toivottavasti tulevaisuudessa toteutuvan extranetin eli toimittajaportaalin avulla pystyn suoriutumaan omista työtehtävistä nykyistäkin paremmin ja tehokkaammin.

Moventas Windin palveluksessa olen toiminut nyt lähes neljä vuotta, eikä koevalujen määrä ole tänä aikana vähentynyt. Päinvastoin, uusien asiakasprojektien sekä eri puolelta maailmaa tulevien toimittajien myötä koevalujen huolellisen laadunvarmistuksen ja eteenkin sen raportoinnin merkitys on korostunut todella paljon.

LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P., Kauppinen, V. 1997. Koneistustekniikat. Porvoo: WSOY.

Autere, E., Ingman, Y., Tennilä, P. 1982. Valimotekniikka 1. Helsinki: Insinööritieto Oy.

Autere, E., Ingman, Y., Tennilä, P. 1986. Valimotekniikka 2. Helsinki: INSKO ry.

Härkölä, J., Toivonen, J. n.d. Ultraäänitestaus 1 ja 2 –tasolle. AEL NDT-Tekniikka.

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2007. Valmistustekniikka. 13 p. Helsinki: Otatieto.

Keskinen, R. 1987. Keernojen valmistus. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Keskinen, R. 1991 Muotinvalmistustekniikka. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Meskanen, S. n.d. ValuAtlas - Suunnittelijan perusopas. Rinnakkaisuunnittelun periaatteet. Web-oppimateriaali. Viitattu 13.9.2011. Saatavissa:

http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_11.pdf

Meskanen, S. n.d. ValuAtlas - Suunnittelijan perusopas. Valukomponentin suunnittelun perusteita. Web-oppimateriaali. Viitattu 15.9.2011. Saatavissa:

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_13.pdf

Meskanen, S., Höök, T. n.d. ValuAtlas - Suunnittelijan perusopas. Rauta, teräs ja metallivalujen valuviat. Web-oppimateriaali. Viitattu 13.9.2011. Saatavissa:

http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_04.pdf

Meskanen, S., Höök, T. n.d. ValuAtlas - Suunnittelijan perusopas. Tarkastusmenetelmät. Web-oppimateriaali. Viitattu 13.9.2011. Saatavissa:

http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_05.pdf

Meskanen, S., Höök, T. n.d. ValuAtlas - Hiekkavalimon valimoprosessi., Web-oppimateriaali. Viitattu 13.9.2011. Saatavissa:

http://valuatlas.fi/tietomat/docs/hiekkavalimon_valimoprosessi.pdf

Meskanen, S., Höök, T. n.d. ValuAtlas - Suunnittelijan perusopas. Valaminen koneenosan valmistusmenetelmänä. Web-oppimateriaali. Viitattu 15.9.2011. Saatavissa: http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_01.pdf

Meskanen, S., Höök, T. n.d. ValuAtlas - Suunnittelijan perusopas. Hiekkavalukappaleen konstruktion mukauttaminen. Web-oppimateriaali. Viitattu 15.9.2011. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_08.pdf

Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. 2001. Valuraudat ja valuteräkset, raaka-aine käsikirja II. 2. p. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. 1985. Valuvirhekäsikirja syyanalyysin 3/85. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Moventas Oy. 2010. Viitattu 1.9.2011. <http://www.moventas.com/in-short/fin>

Moventas Oy. 2011. Moventas Presentation. Viitattu 1.9.2011.

Pohjalainen, K. 1997. Valumallit. Tampere: Tampereen ammattioppilaitos.

LIITTEET

Liite 1. Valimoille lähetetyt kysymykset

Tervehdys,

Liittyen lopputyöhöni koevalujen laadunvarmistuksen kehittämisestä, pyytäisin Teitä vastaamaan lyhyesti seuraaviin kysymyksiin:

1. Millaista tietoa haluaisitte Moventas Windin teille toimittavan, kun toimittamianne kappaleita koneistetaan?
2. Millaista tietoa haluaisitte Moventas Windin teille toimittavan, kun toimittamanne kappaleet on koneistettu ja lopputarkastus on suoritettu?
3. Minkä tyyppisen hyväksynnän haluatte Moventas Windin lähettävän teille toimittamiinne valuihin liittyen?
 - a. Käyttämämme lomake
 - b. Sähköpostiviesti
 - c. Jokin muu, mikä?
4. Kuinka mielestänne tiedonkulku valuihin liittyvissä laatu-asioissa kulkee
 - a. Teidän ja Moventasin välillä?
 - b. Teidän ja kappaleet koneistavan yrityksen välillä?
5. Mihin asioihin eritoten haluaisitte parannuksen – miksi?
6. Muita kommentteja tai kehitysehdotuksia aiheeseen liittyen – sana on vapaa!

Liite 2. Koneistajille lähetetyt kysymykset

Tervehdys,

Liittyen lopputyöhöni koevalujen laadunvarmistuksen kehittämistä, pyytäisin Teitä vastaamaan lyhyesti seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Mitä tietoa kaipaisitte valimolta valuihin liittyen, ennen kuin aloitatte niiden koneistuksen?
- 2) Mitä tietoa kaipaisitte Moventas Windiltä, kun olette suorittaneet valujen koneistuksen ja kappaleet ovat kokoonpanossa?
- 3) Mitä tietoa kaipaisitte valimolta, kun olette suorittaneet valujen koneistuksen ja
 - a) Havainneet sekä raportoineet jonkin ongelman
 - b) Todenneet valun hyväksi
- 4) Kuinka mielestänne tiedonkulku valuihin liittyvissä laatuasioissa kulkee
 - a) Teidän ja Moventas välillä?
 - b) Teidän ja toimittavan valimon välillä?
- 5) Mihin asioihin eritoten haluaisitte parannuksen – miksi?
- 6) Muita kommentteja tai kehitysehdotuksia aiheeseen liittyen – sana on vapaa!

Liite 3. Raportointilomake

moventas		Sheet 1/2	
PROTOTYPE INSPECTION REPORT - CASTING			
Date:	Report nr.		
Supplier:	Supplier representative:		
Part description:			
Drawing number:			
Casting number(s):			
Material certificates recieved:	Yes	No	Date _____
NDT-inspection reports recieved:	Yes	No	Date _____
Measuring reports recieved:	Yes	No	Date _____
All recieved documents are archived with this inspection document.			
Inspection of prototype casting before coating and machining:			
Simulation reviewed:		Yes	No
Measuring inspection:	Measurements according the drawing:	Yes	No
	Measuring report in attachment:	Yes	No
Hardness:	Hardness according the drawing:	Yes	No
	Hardness needed:		
	Hardness result:		
Visual inspection:	Visual quality according BNIF 359	Yes	No
	Defected areas photographed	Yes	No
Inspected by:	Date:		
Comments and notes (defects, allowances etc.):			

moventas		Sheet 2/2	
PROTOTYPE INSPECTION REPORT - MACHINING			
Date:	Report nr.		
Supplier:	Supplier representative:		
Part description:			
Drawing number:			
Casting number(s):			
Machining number(s):			
Comments and notes (defects, allowances etc.):			
Inspection of prototype casting after coating and machining:			
Ultrasonic inspection:	Fills the requirements:	Yes	No
Hardness:	Needed: #####	Measured:	
Paint film thickness:	Needed: 100 μ	Measured:	
Inspected by:	Date:		
Undersigned ensures that inspected casting fills Moventas requirements as stated in purchase order, quality documents and drawings and is approved by Moventas Wind.			
Signature:	Date:		
Pekka Koskela, Quality Engineer Moventas Wind Oy			

Liite 4. Raportointiohje

moventas

TOIMINTAOHJE 1(2)

Osasto Hankinta
Laitaja PKoOhjeen tunnus WG JKL Q PUR 023
Versio 1.0Tarkastaja EPa
Korvaa
ViittausHyväksyjä JSa
Voimassaoloaika x.x.xxxx – x.x.xxxx
Luokittelu**KOEVALUJEN VASTAANOTTOTARKASTUS JA VALMISTUKSEN AIKAINEN RAPORTOINTI****1. Tarkoitus**

Ohjeen tarkoituksena on kuvata, kuinka koevalujen vastaanottotarkastus suoritetaan, kuinka kerätty tieto tulee viedä eteenpäin ja kuinka se tulee arkistoida.

2. Laajuus

Ohje koskee kaikkia Moventas Wind Oy:n tilaamia koevaluja ja sitä sovelletaan koko valmistusprosessin ajan.

3. Vastuut

Ohjeen laadinnasta ja ylläpidosta vastaa toimittajaverkoston laatuinsinööri. Ohjeen noudattamisesta vastaa Moventas Wind Oy:n hankinta sekä toimittajaverkoston laatu.

4. Menettelytavat ja pelisäännöt

Kuvatulla menettelytavalla varmistetaan, että koevaluista kerätään sellaista tietoa, jota tarvitaan kappaleen laadun varmistamiseen välittömästi sekä käytettäväksi myöhempien tilausten yhteydessä. Kerätty tieto on myös käytettävissä tilastollisten menetelmien apuna toimittajien laatutason seurannassa.

- 1) Koevalut tilataan yrityksen sisäisiin sekä asiakkaan asettamiin laatuvaatimuksiin perustuen. Viittaukset kyseisiin laatuvaatimuksiin on selvästi mainittu ostotilauksessa.
- 2) Koevalutilauksessa on mainittava, että valuille tullaan suorittamaan vastaanottotarkastus valimolla Moventas Wind Oy:n edustajan toimesta kun kappaleet ovat muuten valmiita, mutta pintakäsittely puuttuu.
- 3) Toimittajaverkoston laatuinsinööri sopii valimon laatuosaston kanssa tarkastuksen ajankohdasta hyvissä ajoin, jotta tarpeelliset järjestelyt ehditään tehdä.
- 4) Valimolla tarkastuksen yhteydessä täytetään raportointilomake ja käydään läpi siinä esitetyt kohdat. Lomake täytetään huolellisesti sisältäen tiedon

tarkastetusta kappaleesta, dokumenttien katselmoinnista, mahdollisista havaituista poikkeamista sekä tehdyistä toimenpiteistä. **Kaikki puutteet ja ongelmat tulee ehdottomasti kirjata ylös!**

- 5) Lomakkeen järjestysnumerona käytetään vuotta sekä juoksevaa numeroa. Seuraavan vapaan numeron voi tarkistaa arkistokansioista.
- 6) Lomake arkistoidaan odottamaan koneistuksen valmistumista jäljempänä mainitun kansion "keskeneräiset"-kohtaan.
- 7) Koneistuksen jälkeen lomake täydennetään koneistuksen suorittajan kommentteilla liityen työvarohin, kovuuteen, virheisiin ym.
- 8) Kun kappale on valmis, tilaa toimittajaverkoston laatuinsinööri sille ultraäänitarkastuksen. Tarkastuksen tulokset kirjataan raporttiin sekä uä-raportti lisätään liitteeksi.
- 9) Logistiikkakeskuksen tarkastajat suorittavat kappaleelle maalikalvon paksuusmittauksen, jonka tulos kirjataan lomakkeelle
- 10) Kun kaikki edellä mainitut kohdat on suoritettu, eikä poikkeamia ole huomattu TAI ne on hyväksytyt asiakkaan toimesta, voidaan lomake allekirjoittaa ja arkistoida.
- 11) Allekirjoitettu lomake lähetetään valimon ilmoittamaan osoitteeseen.
- 12) Mikäli kappaleissa olevat poikkeamat estävät hyväksynnän, tallennetaan lomake "hyläty"- kansioon ja uudesta valukappaleesta täytetään uusi lomake.

5. Tiedonvälitystavat ja raportointi

Koevalun tarkastukset sekä niihin liittyvät laatuasiat raportoidaan tarkastuslomakkeelle. Mikäli oleellista tietoa on vaihdettu sähköpostitse, tulee nämä tiedot harkinnan mukaan kirjoittaa joko lomakkeelle tai tallentaa tiedostona lomakkeen liitteeksi.

Lomakkeet liitteinen (valokuvat, materiaalitodistukset, ndt-todistukset ym.) tallennetaan verkkolevyille osoitteeseen:
O:\wpt\Tarkastus\TARK\Asiakkaat ja siellä asiakaskohtaisiin kansioihin.

Jokaisessa kansiossa on alakansio keskeneräisille, hylätyille ja hyväksytyille valuille, johon raportit tallennetaan kulloisenkin tilan mukaan. **Kun kappaleen tila muuttuu, lomake on siirrettävä oikeaan kansioon!**

Hyväksytyt ja hylätyt raportit liitteinen lähetetään tiedoksi vastuulliselle ostajalle sekä asiakasvastuulliselle laatuinsinöörille. **Raportin täyttäjää vastaa edelleenlähettämisestä.**

Mikäli keskeneräisissä raporteissa on sellaista tietoa, joka oleellisesti vaikuttaa kappaleiden valmistusaikatauluun, tulee tieto raportoida välittömästi eteenpäin.

LIITTEET

Liite 1. Raportointilomake