



Mikko-Alexi Reijasalo

**JATKUVAVALUKONEEN SEKTIORULLIEN LAAKERIPESIEN
MATERIAALIN JA VALMISTUSTEKNIIKAN TUTKIMINEN**

**JATKUVAVALUKONEEN SEKTIORULLIEN LAAKERIPESIEN
MATERIAALIN JA VALMISTUSTEKNIIKAN TUTKIMINEN**

Mikko-Alexi Reijasalo
Opinnäytetyö
Syksy 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotanto ja logistiikka

Tekijä: Mikko-Alexi Reijasalo

Opinnäytetyön nimi: Jatkuvavalukoneen sektiorullien laakeripesien materiaalin ja valmistustekniikan tutkiminen

Työn ohjaajat: lehtori Jukka Säkinen, kunnossapitopäällikkö Pekka Virsiheimo

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2013

Sivumäärä: 63 + 6 liitettä

Työssä tutkittiin jatkuvavalukoneen sektiorullien laakeripesille soveltuvia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä. Nykytilanteessa on ilmennyt ongelmia, joiden takia laakeripesien valuaihiot ovat olleet hiekkaisia ja huokoisia, mikä on aiheuttanut pesien hylkäämisen koneistuksen yhteydessä. Työn tavoitteena oli tutkia ja löytää vaihtoehtoisia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä, joita voitaisiin hyödyntää laakeripesien valmistuksessa aiempaa kustannustehokkaamman ratkaisun saavuttamiseksi.

Työ aloitettiin kartoittamalla nykyisen valmistusmenetelmän eli valamisen eri menetelmiä ja valumetalleja. Valumenetelmiä ja -materiaaleja tutkittiin laakeripesiltä vaadittavien ominaisuuksien näkökulmasta. Menetelmien tutkimisessa otettiin huomioon pesien materiaali, seinämänpaksuus, paino ja erä koko. Valumetalleja tarkasteltiin korroosionkestävyyden, hitsattavuuden, valettavuuden ja lastuttavuuden näkökulmasta. Työssä tutkittiin hiekkaisuuden ja huokoisuuden aiheuttamia valuvikoja ja niiden syntymisen syitä. Valulaadun parannuskohteita etsittiin valimoalan eri lähdemateriaaleista ja valimoiden asiantuntijoiden haastatteluista. Vaihtoehtoisena valmistusmenetelmänä tutkittiin levy materiaalista leikattavien pesien mahdollisuutta. Levymateriaaleja tarkasteltiin korroosionkeston, aihion valmistuksen ja leikkauksen näkökulmasta.

Tutkimuksesta saaduista tuloksista selvisi, että nykyisen menetelmänä käytetty valaminen ja vaihtoehtona ollut levy materiaalista leikattu laakeripesä tulevat olemaan valmistuskustannukseltaan lähes samanhintaisia. Oletuksena kuitenkin on, että levy materiaalista leikatut pesät ovat tasalaatuisempia ja käyttöikänsä pidempiä kuin valumenetelmällä valmistetut pesät. Valmistusmateriaalin tulee olla kauttaaltaan ruostumatonta terästä molemmalla valmistusmenetelmällä. Valumateriaaleista tehdystä vertailutaulukosta selvisi, että nykyisin valmistuksessa käytetty austeniittinen ruostumaton valuteräs on ainoa valumateriaali, joka täyttää tarpeeksi hyvin laakeripesiltä vaadittavat ominaisuudet. Valuvikojen estämiseksi on keskityttävä valuteknisten toimenpiteiden parantamiseen.

Asiasanat: korroosionkesto, laakeripesä, valaminen, valumateriaali, valuvika

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty syksyn 2013 aikana Rautaruukki Oyj:n Raahen terästehtaan terässulatulolle. Työn ohjaavana opettajana toimi Oulun seudun ammattikorkeakoulun Oulun tekniikan yksiköstä lehtori Jukka Säkkinen. Työn tilaajana toimi terässulaton kunnossapitopäällikkö Pekka Virsiheimo, jota haluan erityisesti kiittää työn edetessä saaduista tärkeistä tiedoista.

Lisäksi haluan kiittää hyvästä yhteistyöstä Raahen terästehtaan korjaamon työsuunnittelija Mikko Ilmolaa, haastatteluja antaneita konepajojen ja valimoiden asiantuntijoita sekä kaikkia opinnäytetyön edistämässä mukana olleita ihmisiä.

Oulussa 17.12.2013

Mikko-Alexi Reijasalo

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
MERKKIEN SELITYKSET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 RAUTARUUKKI OYJ	9
2.1 Liiketoiminta-alueet	9
2.2 Raahen terästehdas	10
2.2.1 Terässulatto	11
2.2.2 Jatkuvaluprosessi	12
3 LAAKERIPESÄT	14
3.1 Käyttökohde	14
3.2 Pesien mitat ja painot	15
3.3 Kulutus	15
3.4 Valmistuksen historia	16
3.5 Valmistuksen nykytilanne	17
3.6 Valmistusvirheet	17
4 VALAMINEN	19
5 LAAKERIPESILLE SOVELTUVIA VALUMENETELMIÄ	20
5.1 Hiekkavalimon valimoprosessi	20
5.2 Kertamuottimenetelmät	23
5.2.1 Käsini- ja konekaavaus	23
5.2.2 Jäykkämuottikaavaus	24
5.2.3 Kehyksetön kaavaus	24
6 VALUMATERIAALIT	25
6.1 Valuraudat	25
6.1.1 Suomugrafiittivalurauta (GJL)	25
6.1.2 Pallografiittivalurauta (GJS)	26
6.1.3 Adusoitu eli tempervalurauta	27
6.1.4 Valkoinen valurauta	27
6.1.5 Austeniittinen valurauta	28

6.2 Valuteräkset	28
6.3 Korroosionkestävät valuteräkset	29
6.3.1 Martensiittiset valuteräkset	29
6.3.2 Austeniittiset valuteräkset	30
6.3.3 Täysin austeniittiset valuteräkset	30
6.3.4 Austeniittis-ferriittiset valuteräkset	30
7 VALUVIAT	32
7.1 Hiekkaisuus valukappaleessa	32
7.2 Imuontelot ja imuhuokoisuus	33
7.3 Kaasuhuokoisuus ja rakkulat	34
8 VALUN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	36
8.1 Suunnattu jähmettyminen	36
8.2 Kaasukanavien vaikutus laatuun	37
8.3 Muotin valujärjestelmän vaikutus laatuun	37
8.4 Sulankäsittely	38
8.4.1 Injektointi	38
8.4.2 AOD-käsittely	39
8.4.3 VODC-käsittely	39
9 LAAKERIPESIEN KONEISTUS	41
10 VAIHTOEHTOISET VALMISTUSMENETELMÄT	44
11 VAIHTOEHTOISET VALUMATERIAALIT	47
12 VALMIIDEN LAAKERIPESIEN VALMISTAJAT	48
13 TUTKIMUKSEN TULOKSET	50
13.1 Valmistusmateriaalin valinta	50
13.2 Valmistusmenetelmän valinta	50
13.3 Toimenpiteet valulaadun parantamiseksi	53
13.4 Tutkimuksen jatkotoimenpiteet	55
14 YHTEENVETO	57
LÄHTEET	59
LIITTEET	63

MERKKIEN SELITYKSET JA SANASTO

C	hiilen kemiallinen merkki
Cr	kromin kemiallinen merkki
Deoksidointi	tiivistäminen, jolla alennetaan terästen happipitoisuutta
Fe	raudan kemiallinen merkki
GJL	suomugrafiittivalurauta
GJS	pallografiittivalurauta
JVK	jatkuvavalukone
Kaavaus	työvaihe, jossa valumallien avulla muotoillaan kaavaushiekasta kertamuotti kappaleen valamista varten
Konverterteri	happipuhallusprosessissa käytettävä reaktioastia
Mellotus	mellotuksella alennetaan rautaseoksen hiilipitoisuutta happipuhallusta käyttäen
Ni	nikkelin kemiallinen merkki
Si	piin kemiallinen merkki
Sektio	jatkuvavalukoneessa oleva ala- ja ylärullasarjoja sisältävä segmentti

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia jatkuvavalukoneiden sektorullien laakeripesien materiaaleja ja valmistustekniikkaa. Työ tehdään Ruukki Metals Oy:n Raahen terästehtaan terässulatolle.

Ruukki tilaa laakeripesät alihankintana yritykseltä, joka hoitaa pesien koneistuksen. Koneistaja valitsee myös sopivan valuaihioiden valmistajan. Nykytilanteessa laakeripesien valmistuksessa ilmenee ongelmia, joissa valun jäljiltä olevissa pesissä on hiekkaa ja huokosia. Laakeripesien huono valulaatu tulee esiin vasta koneistuksen yhteydessä. Tästä seuraa, että pesiä joudutaan hylkäämään liian suuri määrä. Se aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia, työtunteja ja toimitusaikojen viivästymisiä.

Työn tavoitteena on selvittää nykytilanteen ongelmiin johtavat syyt ja tarkastella niiden vaikutusta valmistuskustannuksiin. Lisäksi tutkitaan eri materiaaleja ja valmistusmenetelmiä, joita voitaisiin hyödyntää laakeripesien entistä kustannustehokkaamman valmistuksen saavuttamiseksi.

Opinnäytetyön aikana haastatellaan Ruukin omia asiantuntijoita sekä tehdään yritysvierailuja konepajoille ja valimolle. Yritysvierailujen tarkoituksena on selvittää nykytilanteen ongelmien syyt, hylkäysten määrä ja niistä aiheutuvat kustannukset.

2 RAUTARUUKKI OYJ

Rautaruukki oyj on teräkseen ja teräsrakentamiseen erikoistunut yritys, joka aloitti liiketoimintansa vuonna 1960. Alun perin yritys hyödynsi kotimaisia malminvarantoja ja turvasi telakka- ja muun metalliteollisuuden raaka-ainehuoltoa. Rautaruukin perustamisessa oli mukana Suomen valtion lisäksi mm. Outokumpu, Valmet, Wärtsilä, Rauma-Repola ja Fiskars. Liiketoiminnan alkuvaiheessa yritys työllisti vain kuusi henkilöä, mutta jo 1960-luvun lopulla henkilöstömäärä oli yli 1 700. (1.)

Vuosikymmenten kuluessa Rautaruukki on keskittynyt teräksen jatkojalostukseen ja jalostusasteen nostamiseen. Yhtiö on kasvanut perinteisestä terästuottajasta kansainväliseksi teräs- ja konepajateollisuuden yritykseksi. Vuonna 2004 yhtiön markkinointinimeksi muutettiin Ruukki. Nykyisin Ruukilla on noin 9 000 työntekijää lähes 30 maassa ympäri maailmaa. Liikevaihto vuonna 2012 oli 2,8 miljardia euroa. (1.)

2.1 Liiketoiminta-alueet

Rautaruukki Oyj on jaoteltu kolmeen liiketoiminta-alueeseen. Vuoden 2013 toukokuusta alkaen rakentamisen liiketoiminta on jaettu kahdeksi erilliseksi liiketoiminta-alueeksi: rakentamisen tuotteet ja rakentamisen projektit. Koko rakentamisen liiketoiminnan liikevaihto vuonna 2012 oli 740 miljoonaa euroa. (2.)

Rakentamisen tuotteisiin erikoistunut Ruukki Building Products ja rakentamisen projekteihin erikoistunut Ruukki Building Systems tarjoavat asiakkailleen teräsrakenneratkaisuja liike-, toimitila- ja teollisuusrakentamiseen, pientaloihin sekä satama- ja väylärakentamiseen. Rakentamisen liiketoiminta työllistää noin 3 300 henkilöä ja tarjoaa palveluja suunnittelun tuesta asentamiseen asti. (2.)

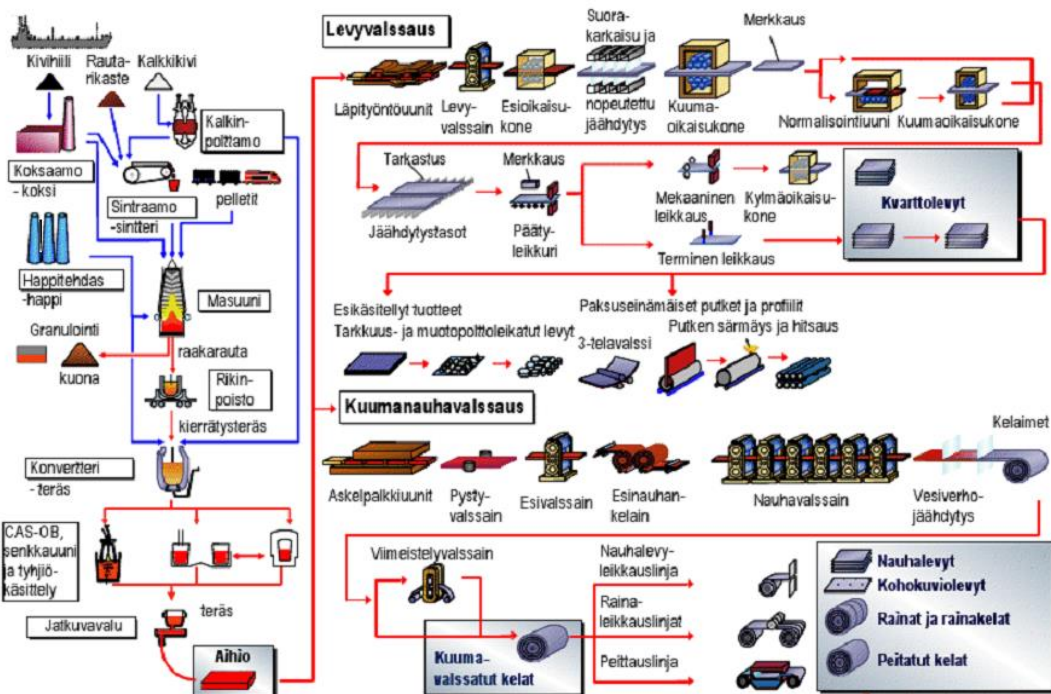
Ruukki Metals on kansainvälisesti toimiva erikoisterästuotteiden valmistaja. Se on suurin Ruukin liiketoiminta-alueista. Teräслиiketoiminnan liikevaihto vuonna 2012 oli noin 1,79 miljardia euroa. Sen palveluksessa työskentelee noin 5 200 henkilöä. Teräслиiketoiminta on erikoistunut yhä enemmän erikoislujien rakennerästen, kulutusta kestävien terästen ja erikoispinnoitettujen terästen valmista-

miseen. Ruukki Metalsin alaisuudessa toimivat teräspalvelukeskukset toimittavat terästuotteiden lisäksi niihin liittyviä esikäsittely-, logistiikka- ja varastointipalveluja. Ruukki Metalsin suurimmat toimipisteet sijaitsevat Raahessa ja Hämeenlinnassa. (2.)

2.2 Raahen terästehdas

Ruukki Metals Oy:n Raahen terästehdas on suurin toimipiste Ruukin teräsliekkitoiminnassa, ja omaa henkilöstöä tehtaalla on noin 2 400. Tehdas aloitti rautatuotannon vuonna 1964, jolloin käytössä oli vain yksi masuuni. Vuonna 1967 otettiin käyttöön toinen masuuni, jolloin aloitettiin teräksen ja kuumavalssattujen levyjen tuotanto. Nykyään tehdas valmistaa rauta- ja terästuotteita raaka-aineista valmiiksi komponenteiksi asti. (3.)

Raahen tehtaan kehittämisen pääpaino on erikoisterästuotteissa, joista päätuotteina voidaan mainita kuumavalssatut kelat ja levyt. Kuvassa 1 on esitetty Raahen tehtaan tuotantoprosessi. Prosessi sisältää useita eri vaiheita tavoitteenaan saavuttaa oikeat teräsominaisuudet asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. (3.)



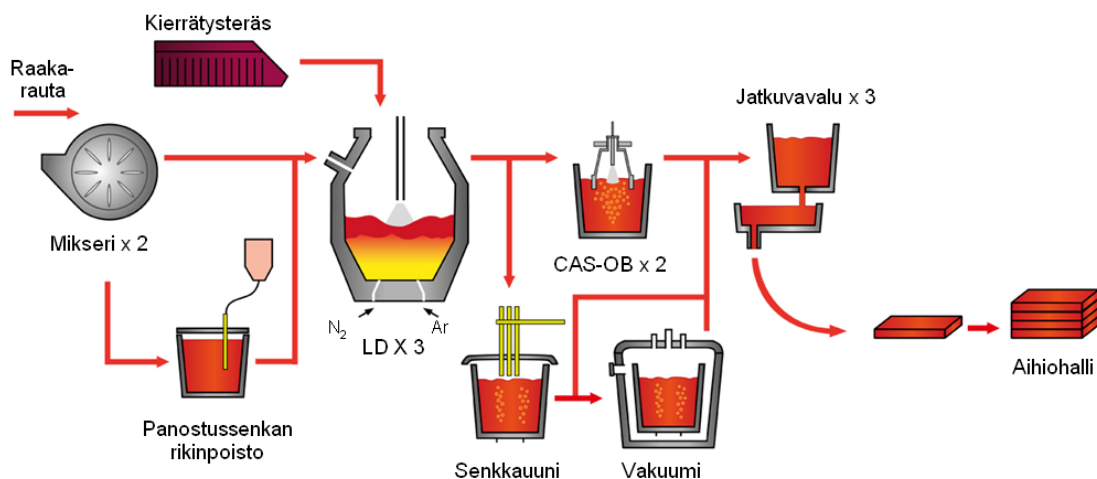
KUVA 1. Raahen terästehtaan prosessikaavio (3)

2.2.1 Terässulatto

Raakarauta tuodaan masuuneilta rikinpoiston kautta terässulatolle, jossa siitä valmistetaan terästä. Sulatolla raakaraudasta poistetaan kuona, minkä jälkeen se varastoidaan tulenkestäviin varastosäiliöihin eli miksereihin. Mikseri tasaa raudan koostumusta ja lämpötilaa sekä toimii eräänlaisena puskurina masuunin ja sulaton välillä. Mikseristä rauta viedään uudelleen rikinpoistoon, jossa se saavuttaa halutun rikkipitoisuuden. Rikinpoiston jälkeen raakarauta panostetaan teräksenvalmistuskonvertertiin. (4.)

Raahan terässulatolla on kolme konvertertia, joista kunkin panostuskoko on 125 tonnia. Konvertterikäsitelyssä ylimääräinen hiili puhalletaan pois hapen ja argonin avulla. Sulan liiallisen ylikuumentumisen estämiseksi siihen lisätään kierätysterästä. (4.)

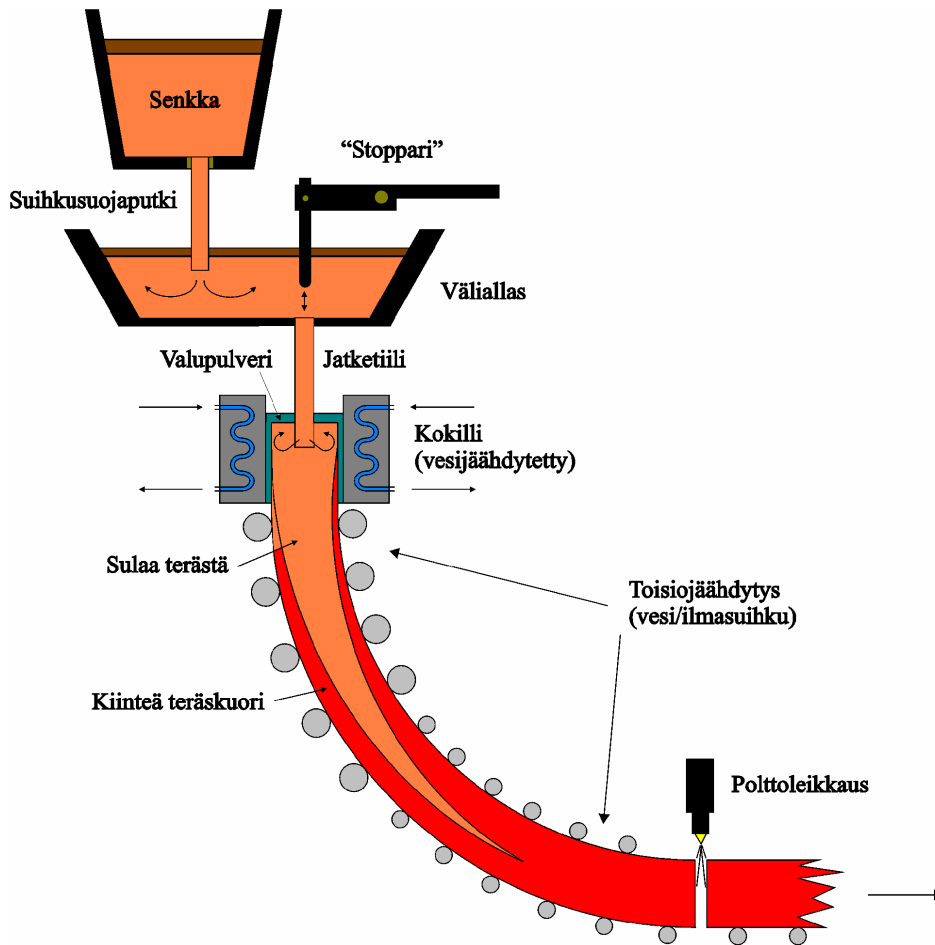
Konvertterista teräs kaadetaan terässenkkään jatkokäsittelyä varten. Jatkokäsittely tapahtuu joko senkkauunissa ja tyhjäkäsittelyssä tai CAS-OB-aseamalla. Jatkokäsittelyn tavoitteena on koostumukseltaan ja lämpötilaltaan tasalaatuinen sula, puhtaus haitallisista kaasuista ja epäpuhtauksista sekä seostus. Teräs on käsittelyjen ja seostuksen jälkeen valmis jatkuvavaluun, jossa siitä valetaan aihioita. (4.) Kuvassa 2 on esitetty teräksenvalmistusprosessi.



KUVA 2. Teräksenvalmistusprosessi (4)

2.2.2 Jatkuvavaluprosessi

Seostettu sula teräs on saatava jähmettymään kiinteään muotoon. Tämä tehdään jatkuvavaluna, jossa sula teräs valetaan aihioiksi (kuva 3). Jatkuvavalussa teräs lasketaan senkasta suihkusuojausputken läpi välialtaan kautta vesijähdytteiseen kokilliin. Kokillissa sulan pintakerros ehtii jähmettyä ja aihio saa halutun leveyden ja paksuuden. (5, s. 34.)

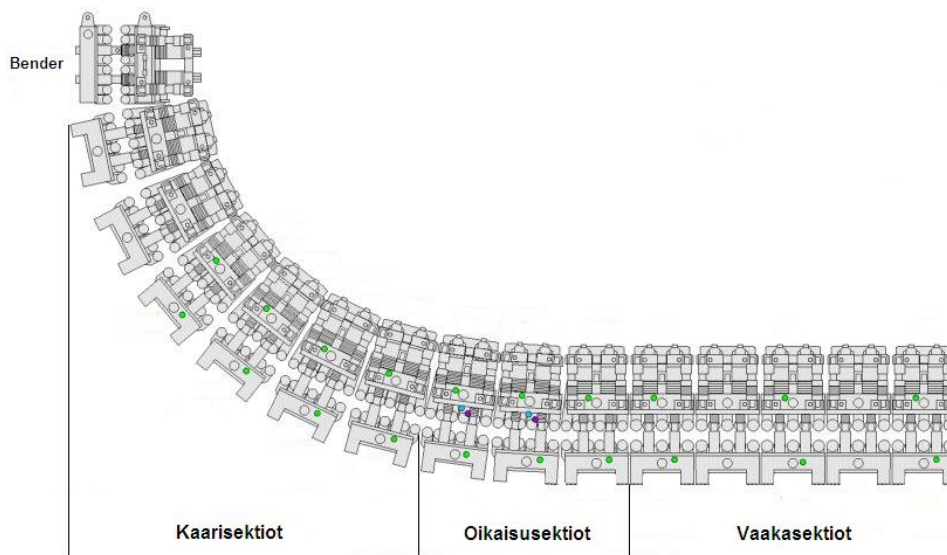


KUVA 3. Jatkuvavaluprosessi (4)

Osittain jähmettynyttä valunauhaa vedetään alaspäin sektioiden vetorullien ja kylmäaihioiden avulla. Lopullinen jähmettyminen tapahtuu kokillin alapuolella olevassa toisiojäähdytyksessä, jossa aihion pintaan ohjataan vesi- tai ilma- ja vesisuihku. Aihion pintaan muodostunut kuori ja sektioiden rullat estävät aihion pullistumisen tai puhkeamisen terässulan hydrostaattisen paineen vaikutuksesta. Toisiojäähdytyksen jälkeen valunauha polttoleikataan halutun pituisiksi esiaihoiksi. (5, s. 34.)

Raahan terässulatolla on kolme jatkuvavalukonetta, joista käytetään termejä JVK 4, JVK 5 ja JVK 6. Näistä kolmesta JVK 4 ja JVK 5 ovat yksinauhaisia kaarevia jatkuvavalukoneita. JVK 6 on yksinauhainen suora-taivutusvalukone. Kokillin voiteluaineena käytetään valupulveria, jonka syöttö jatkuvavalukoneissa tapahtuu automaattisesti. Kaikkien sulatolla olevien jatkuvavalukoneiden valunopeus on maksimissaan 1,8 m/min. (4.)

JVK 4 ja 5 koostuvat kokillista ja sektioista. Sektioita on yhteensä 16 ja ne jaetaan nolla-, kaari-, oikaisu- ja vaakasektioihin. JVK 6 poikkeaa hieman rakenteeltaan kahdesta aiemmasta. JVK 6:ssa on pystytaivuttava kokilli ja yhteensä 16 sektiota, joista 01-sektiota kutsutaan vertikaaliksi ja ensimmäistä taivuttavaa sektiota benderiksi. Muut sektiot jaetaan kaari-, oikaisu- ja vaakasektioihin (kuva 4). (6, s. 14.)



KUVA 4. JVK 6:n sektiot ilman vertikaalia (4)

3 LAAKERIPESÄT

3.1 Käyttökohde

Tässä työssä käsiteltävät laakeripesät sijaitsevat jatkuvavalukoneen sektioissa. Sektiot sisältävät erikseen vaihdettavia ja kunnostettavia ylä- ja alarullasarjoja (kuva 5).



KUVA 5. Alarullasarja kunnostuksessa (6)

Raahen terässulatolla on käytössä kolme jatkuvavalukonetta, joissa kussakin on 16 sektiota. JVK 6:ssa on 15 sektiota, jotka sisältävät tässä työssä käsiteltäviä laakeripesiä. JVK 4 ja 5:ssä niitä on 14 sektiossa. Rullamäärä vaihtelee jatkuvavalukoneen ja sektiotyyppin mukaan. Jokainen sektiotyyppi sisältää erimäärän laakeripesiä. Pelkästään JVK 6:ssa on paikallaan yhteensä 744 laakeripesää. JVK 4 ja 5:ssä on 664 laakeripesää konetta kohden.

Jatkuvavalukoneissa sijaitsevilta laakeripesiltä vaaditaan hyvää korroosionkestävyyttä. Käytön aikana aihion pintaan kohdistuvista jäähdityssuuttimista tuleva vesi kastelee sektioiden rungot, ja koko rullasarja altistuu jäähditysvedelle. Ilman kaasut ja epäpuhtaudet yhdessä veden kanssa muodostavat pinnoille syövyttäviä yhdisteitä, kuten rikki-, typpi- ja suolahappoja. Lisäksi laakeripesien sisällä kiertävässä jäähditysvedessä on korroosiota aiheuttavia epäpuhtauksia, jotka syövyttävät pesien paineistettuja vesitiloja.

3.2 Pesien mitat ja painot

Laakeripesiä on kolmea kokoa ja kuutta mallia (liitteet 1 - 6). Jokaiseen rullasarjaan tulee päätyihin muodoltaan hieman erilaiset pesät kuin rullien väliin. Taulukossa 1 on esitetty kaikkien käytössä olevien pesien mitat ja paino.

TAULUKKO 1. Laakeripesien tiedot (29)

Sijainti	Rullan halkaisija (mm)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Paksuus (mm)	Paino (kg)
Pääty	230	245	225	105	19,0
Väli	230	240	225	79	12,0
Pääty	250	258	245	114	24,2
Väli	250	260	245	79	15,5
Pääty	300	298	285	114	26,5
Väli	300	305	285	95	25,3

Kaikki laakeripesät ovat käytettävyydeltään, ulkomuodoltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin lähellä toisiaan. Niiden valmistuksessa on huomioitava, että vesitila on riittävän avara jäähdytysveden virheettömän virtauksen saavuttamiseksi ja koneistuksessa porattavat reiät ovat juuri oikeassa kohdassa.

3.3 Kulutus

Rullasarjojen rungot käyvät keskimäärin vuoden välein huollossa, kun niillä on ajettu noin miljoona tonnia. Kunnostuksissa jokainen rungon laakeripesä tarkastetaan. Asentajat mittaavat, ovatko pesät vielä mittatoleranssien sisällä ja asennettavissa runkoihin edelleen. Pesien pohjien vastinpinnat kuluvat kovasta kuormasta, ja tämä aiheuttaa pesien vaihtamisen tarpeen rullasarjoihin. Laakeripesien elinikä on noin 3 - 4 käyttökertaa rungoissa. Taulukossa 2 on laakeripesien tilattu ja kulunut määrä viimeisen 5 vuoden ajalta. (29.)

TAULUKKO 2. Laakeripesien kulutus vuosina 2009 - 2013 (31)

Vuosi	Tilattu määrä (kpl)	Kulunut määrä (kpl)
2013	77	206
2012	106	92
2011	157	130
2010	20	59
2009	153	50
Yhteensä	513	537

3.4 Valmistuksen historia

Laakeripesien valmistukseen on kokeiltu eri materiaaleja. Valmistusmenetelmänä käytetään valamista ja lopullinen mittatarkkuus saadaan koneistamalla. Alun perin pesät valmistettiin normaalista mustasta rakenneteräksestä. Laakeripesät ovat koko käytön ajan alttiita vedelle. Käyttöympäristön olosuhteet aiheuttivat rakenneteräksestä valmistettavien pesien liian nopean ruostumisen. (29.)

Jatkuvavalukoneet on modernisoitu vuosina 1996 - 1997, jolloin niihin asennettiin muodoltaan tämänhetkiset rullasarjat. Silloin laakeripesien valmistuksen toimenpiteenä kokeiltiin pesien pohjien suojausta. Pohjaan hitsattiin kerros yliseostetulla, ruostumattomalla lisäaineella. (29.)

Ensimmäiset rullasarjat tulivat huoltoon noin vuoden päästä käyttöönotosta. Tarkastuksissa huomattiin, että pesien kuluminen oli liian nopeaa. Pesät kuluvat pääosin ruostumalla. Suurimpana ongelmana olivat pesien sivujen ruostuminen, koska niissä ei ollut suojausta korroosiota vastaan. Noin kolmen vuoden käytön jälkeen havahduttiin, että kustannukset nousevat liian suuriksi lyhyen käyttöiän takia. Pidemmän käyttöiän saavuttamiseksi laakeripesien materiaalin tulisi olla kauttaaltaan korroosionkestävää, ja vuosituhannen vaihteessa päädyttiin nykyiseen valmistusmateriaaliin. (29.)

3.5 Valmistuksen nykytilanne

Nykyään laakeripesät valmistetaan edellisten tapaan valamalla, mutta valamateriaalina käytetään austeniittista ruostumatonta valuterästä. Materiaalista valmistusvaiheessa käytetty merkintä GS-X6CrNi134-08 on vanhentunut, ja nykystandardeissa samalle materiaalille käytetään merkintää GX5CrNi19-10. Sen kromipitoisuus on 19 % ja nikkelpitoisuus 10 %.

Valmistusmateriaalin vaihdon myötä korroosio-ongelmat väistyivät, eivätkä korroosiosta johtuvat syyt aiheuta enää pesien uusimistarvetta. Uusimisen syynä on pääasiassa laakeripesien vastinpintojen kuluminen kovan rasituksen takia.

Laakeripesien valumenetelmänä käytetään käsinkaavausta hartsihiekkaan, joka on yleisin tuotantotekniikka suomalaisissa teräsvalimoissa. Valutapahtuman jälkeen pesät koneistetaan tarkkoihin mittoihin ja niihin porataan tarvittavat kierreet ja reiät. Ennen asiakkaalle toimitusta kappaleelle tehdään useita tarkastuksia ja kokeita mahdollisten valmistusvirheiden havaitsemiseksi.

3.6 Valmistusvirheet

Nykyisellä valmistusmenetelmällä on ilmennyt valuvirheitä, joiden takia laakeripesiä joudutaan hylkäämään liian paljon. Valuaihioissa on esiintynyt kauttaaltaan huokoisuutta, joka tulee esiin koneistuksen yhteydessä. Myös kiinnipureutunutta hiekkaa on ilmennyt kappaleen pinnassa. Hiekkaisuus vaikeuttaa koneistusta ja aiheuttaa työkalujen ylimääräisiä rikkoontumisia. Huokoisuus saattaa aiheuttaa valukappaleeseen vesivuotoja tai tuo esiin halkeamia, jotka johtavat usein kappaleen hylkäämiseen riittämättömän laadun takia.

Huokoisuuden aiheuttamat vesivuodot havaitaan lähes aina jo koneistajan tekemässä vesitilan koeponnistuksessa. Satunnaisia poikkeuksia on kuitenkin ilmennyt, jolloin liian huokoinen laakeripesä on päätynyt käyttökohteeseen asti. Huokokset ovat vuosien aikana alkaneet kaivautua esiin kriittisistä kohdista aiheuttaen vesivuotoja.

Laakeripesien valmistuksen eräkoko on yleensä 50 - 60 kappaletta ja keskimääräinen hylkäysprosentti on noin 8 % saapuneesta erästä. Huonoimmassa erissä

hylkäysprosentti on saattanut olla lähes 50 %. (30.) Hylkäykset aiheuttavat aina ylimääräisiä kustannuksia. Mikäli hylkäysten määrät ovat toistuvia, lisäkustannukset tulevat useimmiten asiakkaan maksettavaksi alkuperäisessä hinnassa huomioituna. Keskimääräiset hylkäyksistä syntyneet suorat kustannukset ovat 8 % pesäaihioiden hinnasta. Lisäksi hylkäyksistä syntyneitä kustannuksia tulee koneistuksesta. Ylimääräiset koneistuskustannukset riippuvat siitä, kuinka monta koneistusvaihetta kappaleelle on tehty ennen valuvian havaitsemista.

Tässä työssä tutkitaan vaihtoehtoisia valumateriaaleja, -menetelmiä ja -teknisiä toimenpiteitä, joilla nykyisiä valmistusvirheitä pystyttäisiin vähentämään tai poistamaan kokonaan. Materiaalin valinnassa tulee ottaa huomioon korroosionkeston lisäksi valmistuksen osalta vaadittavat ominaisuudet, kuten valettavuus. Laakeripesät viimeistellään aina koneistamalla, joten materiaalia tulee pystyä koneistamaan. Lisäksi koneistuksen yhteydessä laakeripesään hitsataan vesitiilan kansi, minkä takia materiaalilta vaaditaan hyvää hitsattavuutta.

4 VALAMINEN

Valaminen on vanhin metallien muotoilumenetelmä. Ensimmäisen valukappaleen arvioidaan valmistuneen jo yli 5 000 vuotta sitten. Vuosisatojen edetessä valutaito yleistyi etenkin Kreikassa, Egyptissä ja Roomassa, jossa valmistusmenetelmää käytettiin patsaiden, koriste-esineiden ja aseiden valmistukseen. Nykyisin valamalla valmistetaan paljon koneiden ja laitteiden osia. (7, s. 7.)

Valaminen on nopein valmistusmenetelmä, jossa kappale voidaan valmistaa suoraan raaka-aineesta valmiiksi tai lähes valmiiksi tuotteeksi. Valukappale syntyy, kun sulalla metallilla täytetään halutun muotoista kappaletta vastaava muotiotelo ja annetaan metallin jähmettyä siinä. (8, s. 66.)

Valettujen raaka-aineiden valikoima on hyvin laaja. Valamalla voidaan valmistaa hyvin monipuolisia kappaleita, joiden massat vaihtelevat muutamasta sadasta grammasta muutamaan sataan tonniin. Valukappaleiden viimeistelyyn käytetään usein koneistusta. Työstökeskuksien kehittyessä monimutkaistenkin kappaleiden työstäminen onnistuu vain yhdellä kiinnityksellä. (9, s. 10.)

Suomessa valimoiden toimialaryhmään kuuluu 31 jäsenyritystä, jotka jaotellaan raaka-aineen mukaan valurauta-, teräs- ja metallivalimoihin. Työntekijöitä alalla on noin 2 500 henkilöä. (10.)

5 LAAKERIPESILLE SOVELTUVIA VALUMENETELMIÄ

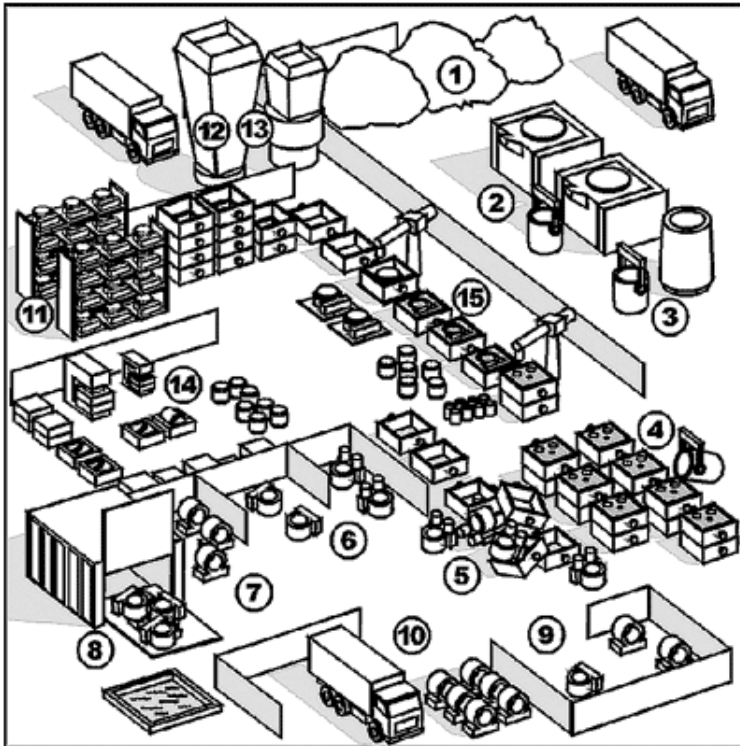
Tässä osiossa esitellään hiekkavalimon valimoprosessi ja valumenetelmiä, joilla on mahdollista tai kustannuksellisesti kannattavaa valmistaa jatkuvavalukoneen sektiorullien laakeripesiä.

Valumenetelmät on jaettu kertamuotti- ja kestopuottimenetelmiin. Valumenetelmän valitsemiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten valettavan kappaleen paino, materiaali, sarjakoko ja mittatarkkuus. Laakeripesien paino vaihtelee 12 - 27 kilogramman välillä ja valettavan sarjan koko on 50 - 60 kappaletta. Myös seinämäpaksuus ja valumateriaalin vaatimukset estävät useimpien valumenetelmien käytön laakeripesien valamisessa.

Laakeripesien valmistukseen haetaan kustannustehokkaampaa valmistustapaa, joten kestopuottimenetelmät eivät ole järkevä valinta niiden valamiseen. Menetelmillä on korkeat malli- ja muottikustannukset, ja näin ollen ne soveltuvat yleensä vain suurille sarjoille ja kevytmetalleille. Siitä syystä tässä työssä ei perehdytä kestopuottimenetelmiin. Kertamuottimenetelmistäkin vain osa soveltuu laakeripesien valamiseen. Jatkuvavalukoneen sektiorullien laakeripesien valuaihioiden toimittajina on käytetty kahta suomalaista teräsvalimoa, joissa molemmissa tuotantotekniikkana käytetään käsinkaavausta hartsihiekkään.

5.1 Hiekkavalimon valimoprosessi

Hiekkavalimon valimoprosessiin kuuluu monta työvaihetta. Valimon koko ja tyyppi vaikuttavat prosessin luonteeseen ja työvaiheiden yhtenäisyyksiin, mutta materiaalin kulku on kuitenkin samanlainen valimoprosessista riippumatta (kuva 6). (11, s. 1.)



KUVA 6. Hiekkavalimon valimoprosessi (11, s. 1)

Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen hiekkavalimon valimoprosessi. Hiekkavalimo sisältää 15 prosessipistettä, jotka luetellaan seuraavasti:

1. Raaka-aineet: "Raaka-aineille on oma varastopaikka."
2. Sulatus: "Raaka-aineseokset sulatetaan sulatusuuneissa. Tässä vaiheessa otetaan näytteet sulasta ja tehdään tarvittavat korjaukset seosaineita lisäämällä."
3. Sulankäsittely: "Sulan ominaisuuksien parantamiseen käytettäviä sulankäsittelyjä ovat esimerkiksi mellotus eli happipuhallus, konvertterikäsittelyt ja deoksidointi eli tiivistäminen."
4. Valu: "Senkoissa oleva sula kaadetaan hiekkamuotteihin. Teräsvalussa käytetään yleisimmin pohjasta tyhjennettäviä valusenkköjä. Myös valuta-
pahtumassa voidaan ottaa näytteitä ja tehdä tarvittavia sulankäsittelyjä."
5. Muotin purku: "Kun sula on jähmettynyt ja jäähtynyt tarpeeksi, muotti voidaan purkaa. Muotti rikotaan joko koneellisesti tai käsityönä."

6. Valukappaleiden puhdistus: ”Kappaleesta poistetaan valukanavista jääneet ylimääräiset ulokkeet sekä suoritetaan pintapuhdistus. Pinta tasoitetaan talttaamalla ja hiomalla.”
7. Jälkikäsitteily: ”Jälkikäsitteilytoimenpiteisiin kuuluvat korjaukset, konstruktiotihitys, lämpökäsitteily, koneistus ja pintakäsitteily.”
8. Lämpökäsitteily: ”Lämpökäsitteilyllä muutetaan materiaalin ominaisuuksia, lujuutta, sitkeyttä ja työstettävyyttä.”
9. Tarkastus: ”Valukappaleen vaatimuksien täyttämiseksi on tarkastettava mahdolliset mittapoikkeamat ja valuvirheet. Valuvirheiden havaitsemiseen soveltuvia menetelmiä ovat mm. magneettijauhe- ja ultraäänitarkastus sekä röntgenkuvaus.”
10. Valujen varastointi ja rahtaus: ”Varastot pyritään pitämään mahdollisimman pieninä. Valukappaleet rahdataan yleensä suoraan kuorma-autoihin.”
11. Mallivarasto: ”Käytettyjen valumallien uusiokäyttöä varten on rakennettu mallivarasto.”
12. Hiekkojen elvytys: ”Valumuoteissa käytettyä hiekkaa voidaan kierrättää ja käyttää uudelleen. Elvytysmenetelminä käytetään mekaanista murskaus- tai täristyshierontakäsitteilyä sekä termistä menettelyä, jossa rakeita peittävät sideainekalvot saadaan poistettua kokonaan.”
13. Hiekan valmistus: ”Hiekkaseokset koostuvat raeaineuksista sekä side- ja lisäaineista. Raeaineukset ovat joko vanhaa elvytettyä hiekkaa, uutta hiekkaa tai niiden sekoitusta.”
14. Keernan valmistus: ”Valukappaleeseen tarvittavien reikien ja onkaloiden valmistamiseen käytetään lujasta hiekkaseoksesta valmistettua keernaa.”
15. Kaavaus: ”Muottien valmistus tapahtuu kaavaamalla. Kaavauksessa käytetään sekä kone- että käsinkaavausta.” (11.)

5.2 Kertamuottimenetelmät

Kertamuottimenetelmissä muotit valmistetaan hiekasta, kipsistä tai keraamista. Valukappale irrotetaan hajottamalla muottiaine pois kappaleen sisältä ja ympäriltä. Hiekkamuotteihin valettaessa tarvitaan valumalli, joka yleisimmin valmistetaan puusta. Myös muovista, vahasta, styroksista ja hartsista sekä metalleista valmistettuja muotteja voidaan käyttää. (12, s. 1.)

Kipsi- ja keraamimuotit valmistetaan tavallisimmin vahamallin päälle. Vahamalli on valmistettu joko valamalla tai jollakin pikavalmistusmenetelmällä. Kipsi- ja keraamimuotteja käytetään etenkin tarkkuusvalumenetelmissä. (12, s. 1.)

5.2.1 Käsini- ja konekaavaus

Käsinkaavaus on vanhin hiekkamuottien valmistusmenetelmistä. Käsinkaavaus on kertamuottimenetelmä eli muotti hajotetaan valun jälkeen. Konekaavaukseen verrattuna käsinkaavaus on kustannustehokkaampi ratkaisu yksittäiskappaleiden ja pienien sarjojen tekemiseen. Käsini- ja konekaavauksen ero ei ole enää kovin yksiselitteinen, sillä suurin osa perinteisessä käsinkaavauksessa käytettäviä työvaiheita on mekanisoitu. (13.)

Kaavaus aloitetaan asettamalla valettavasta kappaleesta tehty mallin puolikas kaavauskehiin. Mallin puolittaminen on välttämätöntä, jotta muotti ei hajoa, kun mallia irrotetaan kaavauksen jälkeen. Kehien rajapinta on samalla valukappaleen jakopinta. Kun mallin puolikkaat on asetettu kahteen erilliseen kehykseen, joista käytetään nimitystä ylä- ja alamuotti, suoritetaan hiekan täyttö. Hiekan täyttö tapahtuu pudottamalla hiekka kaavauskehyksiin. Hiekka sullotaan mallin ympärille joko käsini tai koneellisesti. Konekaavauksessa sullontaan käytetään puristusta, tärinystä, sinkoamista ja puhaltamista. (13.)

Kaavauksen yhteydessä muottiin on valmistettava myös täyttöjärjestelmä ja syöttökuvut, jotka täytetään valun aikana sulalla metallilla. Ne on poistettava valun jälkeen lopullisesta valukappaleesta. Täyttöjärjestelmä muodostuu kaatosuppilosta, kaatokanavasta, jakokanavasta ja valukanavista. Syöttökuvut on

tarkoitettu sulan metallin jähmettymisestä aiheutuvan kutistumisen kompensoimiseen. Myös kaasujen poistoon tarvittavat kanavat on otettava huomioon kaavausta suunniteltaessa. (13.)

5.2.2 Jäykkämuottikaavaus

Jäykkämuottikaavaus on käsin- ja konekaavauksen kaltainen. Erona on vain käytetyn hiekan sideaine. Jäykkämuottikaavauksessa hiekan sideaineena käytetään hartseja ja vesikidesideaineita, jotka aiheuttavat muotin kemiallisen kovettumisen. (14, s. 11.) Kuvassa 7 tapahtuu käsinkaavaus hartsihiekkään.



KUVA 7. Käsinkaavaus hartsihiekkään (15, s. 1)

5.2.3 Kehyksetön kaavaus

Kehyksettömässä kaavauksessa eli pullakaavauksessa kehystä käytetään vain kaavauksen ajan. Kun hiekka on sullottu, kehys irrotetaan muotin ympäriltä ja valu tapahtuu kehyksettömään muottiin. Tunnetuin pullakaavaus menetelmä on ns. disamatic-pullakaavausautomaatti. Disamatic on puhalluspuristusmenetelmä, jossa jokainen kaavattu muotin osa muodostaa edellisen valun ylä- ja seuraavan valun alaosan. (8, s. 80.)

6 VALUMATERIAALIT

Valamiseen voidaan käyttää kaikkia metalleja ja metalliseoksia. Erilaisia ominaisuuksia vaativien valukappaleiden valmistamiseen on kehitetty erityisesti niihin tarkoitettuja valumetalleja. Valumetallit voidaan jakaa rautametalleihin ja ei-rautametalleihin. Rautametalleiksi luetaan valuteräs ja valurauta. Ei-rautametalleihin kuuluvat kevyet valumetallit ja metalliseokset. (8, s. 67.)

Seuraavassa tarkastellaan yleisimmin käytettyjä valumateriaaleja ja niiden ominaisuuksia sekä laakeripesien valamiseen mahdollisesti soveltuvia valumetalleja. Laakeripesien valmistusmateriaalin vaatimuksena on hyvä korroosionkestävyys ja hitsattavuus. Valumateriaaleja tarkastellaan myös valettavuuden ja lastuttavuuden näkökulmasta.

6.1 Valuraudat

Valurauta on rauta-hiiliseos (Fe-C), jonka hiilipitoisuus on yli 2,06 %. Valuraudat eivät kuitenkaan ole pelkästään rauta-hiiliseoksia, vaan niissä on myös 1 - 3 % piitä (Si) ja valuraudan ominaisuuden mukaan muita seosaineita. Valuraudassa hiili esiintyy normaalisti suurina grafiitteina, joiden muoto ja jakauma määräävät valuraudan ominaisuudet. Hiilipitoisuuden kasvaessa seosten sulamislämpötilat alenevat, mikä on valamisen kannalta edullisempaa. (9, s. 58.)

6.1.1 Suomugrafiittivalurauta (GJL)

Suomugrafiittivalurauta tunnetaan myös nimellä harmaarauta, joka on maailman eniten käytetty valumateriaali. Sen käytön laajuus perustuu halpaan hintaan, helppoon valettavuuteen ja lastuttavuuteen, edullisiin kulumis- ja liukuominaisuuksiin sekä hyvään vaimennuskykyyn ja lämmönkestävyyteen. GJL-lajeilla on kohtuullinen korroosionkestävyys ja lujuus. Heikkoutena voidaan pitää vaatimattontaa sitkeyttä. Mikrorakenteensa ansiosta ne eivät sovellu liitoshitsaukseen. (9, s. 56, 85.)

Suomugrafiittivaluraudoilla on pieni tilavuuskutistuma, jonka takia niillä on hyvä valettavuus ja syötöntarve yleensä vähäinen. Suomugrafiittivaluraudoilla on

erinomainen juoksevuus. Valuissa esiintyy vähemmän pintavikoja kuin muissa rautavaluissa. (9, s. 90, 83.)

Suomugrafiittivalurautojen työstämisessä lastu on grafiittisuomujen ansiosta katkeavaa ja lyhyttä. Varsinkin pehmeillä GJL-lajeilla työstettyyn pintaan voi syntyä lovia. Laatu paranee suurempiin lujuusluokkiin siirryttäessä. Valukappaleen ohuissa kohdissa voi esiintyä työstövaikeuksia valkoiseksi jähmettymisen takia. Paksuissa seinämissä suuret grafiittisuomut ja karkea kiderakenne voivat aiheuttaa epätasaisen pinnan. (9, s. 83.)

GJL-lajien korroosionkestävyys on parempi kuin seostamattomilla teräksillä, mutta huonompi kuin pallografiittivalurautoilla. Valuraudan pinnasta syöpyy vain teräsmäinen perusaine, jonka ruoste hidastaa jatkuvaa syöpymistä. Vaikeissa olosuhteissa teräsmäisen perusmassan syöpyminen jättää jäljelle vain hauraan grafiitin. Valurautapinnat eivät kestä happamissa ja pelkistävässä olosuhteissa tai silloin, kun mekaaninen kulutus estää suojaavan ruostekerroksen syntymisen. Syöpymistä voidaan hidastaa korroosionestomaalauksella ja valuraudan runsaalla seostamisella. (9, s. 82.)

6.1.2 Pallografiittivalurauta (GJS)

Pallografiittivaluraudan käyttö on lisääntynyt viimeisten vuosikymmenien aikana. Sen on uskottu korvaavan ennen kaikkea suomugrafiittivalurautaa, mutta myös valuterästä. Pallografiittivaluraudassa yhdistyy monta suomugrafiittivaluraudan ja valuteräksen hyvää ominaisuutta. Valuterästä matalampi valulämpötila on kustannustehokkaampaa ja tuottaa parempia valupintoja. Pallografiittivaluraudan vaimennuskyky, liukuominaisuudet ja työstettävyys ei ole suomugrafiittivaluraudan tasolla, mutta silti selvästi paremmat kuin valuteräksillä. (9, s. 100 - 101.)

GJS-lajien hitsattavuus on parempi kuin suomugrafiittivalurautoilla, mutta huonompi kuin teräksillä. Hitsauksen lisäaineena käytetään runsaasti nikkeliä, joka kykenee liuottamaan itseensä hiiltä. Hitsisauman lujuus on 70 - 80 % hitsattavan valuraudan lujuudesta. (9, s. 119.)

Pallografiittivalurautojen juoksevuus ja valettavuus on huomattavasti parempi kuin valuterästen, mutta huonompi kuin suomugrafiittivalurautojen. Pallografiittivalurautojen valussa on edullista käyttää jäykempiä muotteja, jolloin ei välttämättä tarvita syöttökupuja. Jos muotti antaa myöten, syötöntarve lisääntyy. (9, s. 122.)

GJS-lajien korroosionkestävyys on parempi kuin seostamattomien terästen ja suomugrafiittivalurautojen. Pallografiitti rikkoo metallin rakennetta vähemmän kuin suomugrafiitti eikä avaa syövyttävälle aineille kanavia rakenteen sisään. Teräsmäisestä perusmassasta syntyvä ruoste jää kiinni grafiittiin synnyttäen kuoren, joka ehkäisee lievissä olosuhteissa korroosion etenemisen. Pallografiittivaluraudat kestävät korroosiota kohtalaisen hyvin ilmasto-olosuhteissa, merivedessä ja maahan upotettuna. (9, s. 117.)

6.1.3 Adusoitu eli tempervalurauta

Adusoidun valuraudan rakenne muistuttaa pallografiittivalurautaa. Erona on kuitenkin hiilipitoisuus. Adusoiduilla valuraudoilla hiilen poisto suoritetaan korkeassa lämpötilassa tapahtuvassa lämpökäsittelyssä. (9, s. 136.)

Adusoituja valurautoja on kahta tyyppiä, valkoydin- ja mustaydinvalurauta. Tyyppi määräytyy käytetystä hehkutusilmakehästä. Valkoydinvaluraudoilla saavutetaan parempi hitsattavuus kuin millään muulla valuraudalla. Adusoitujen valurautojen ominaisuuksia kuten korroosionkestävyyttä ja kulumiskestävyyttä ei voi parantaa seostamalla. (8, s. 71.)

Adusoitujen valurautojen lastuttavuus on GJS-lajien tasolla, mutta valettavuus on hieman huonompi. Repeämätaipumus on valkoisena jähmettymisen seurauksena suurempi, ja tämä edellyttää yksinkertaisia muotoja. (9, s. 136 - 137.)

6.1.4 Valkoinen valurauta

Valkoisen valuraudan tärkein ominaisuus on kovuus, ja sitä käytetään paljon kulutusosissa. Valkoisen valuraudan rakenne poikkeaa muista valuraudoista sillä siinä ei esiinny ollenkaan vapaata grafiittia. Kulumiskestävät valuraudat ryhmitellään seostamattomiin, niukkaseosteisiin-, kromi-nikkeliseosteisiin- ja

runsaasti kromilla seostettuihin valurautoihin. Seostamattomien valkoisten valurautojen valettavuus paranee hiilipitoisuuden noustessa. (9, s. 143; 7, s. 222.)

Runsaasti kromilla seostetut kulumiskestävät valuraudat sisältävät kromia 11 - 28 %. Ne ovat korroosionkestävyydeltään hyviä. Hiilipitoisuus on 1,8 - 3,6 %, joten hiilipitoisuuden ollessa alarajoilla myös hitsattavuus paranee. Valkoisella valuraudalla on suhteellisen vähän teknistä käyttöä niiden vaikean työstettävyyden takia. (9, s. 144; 8, s. 67.)

6.1.5 Austeniittinen valurauta

Austeniittisen valuraudan mikrorakenne koostuu pääasiassa austeniittisestä perusmassasta ja joko suomuina tai palloina esiintyvistä grafiitista. Austeniittisiä valurautoja käytetään kohteisiin, joissa vaaditaan hyvää korroosion- ja tulenkestävyyttä. Austeniittiset valuraudat ovat runsaasti nikkellillä seostettuja. Muita seosaineita ovat mangaani ja kupari. Lastuttavuus austeniittisillä valurautoilla on edullisempaa verrattuna korroosionkestäviin valuteräksiin. Myös valettavuus on parempi. Austeniittiset valuraudat jaetaan kahteen ryhmään, normaalilajeihin ja erikoislajeihin. (9, s. 147; 7, s. 221.)

Normaalilajeihin kuuluu yksi suomugrafiittinen ja kuusi pallografiittista lajia. Kolmella normaalilajeihin kuuluvalla valuraudalla on hyvä korroosionkestävyys ja vain yksi laji soveltuu tuotantohitsaukseen. Tästä lajista käytetään merkintää EN-GJS-AXNiCrNb20-2. Seosaineina on käytetty mm. nikkeliä, kromia ja niobiumia. (9, s. 147.)

Erikoislajeihin kuuluu yksi suomugrafiittinen ja neljä pallografiittista lajia, joista vain yhdellä on hyvä korroosion-, eroosion- ja tulenkestävyys. Tästä valuraudasta käytetään merkintää EN-GJS-AXNiSiCr30-5-5. Nikkelipitoisuus on 28 - 32 % ja kromipitoisuus 4,5 - 5,5 %. Maksimi hiilipitoisuus on 2,6 %, joka on pienempi kuin pallografiittivaluraudalla. (9, s. 148 - 149.)

6.2 Valuteräket

Valuraudan ja valuteräksen ero on hiilipitoisuus. Kun hiilipitoisuus on alle 2,06 %, on kyseessä teräs. Paitsi hiilen määrä, myös sen esiintymismuoto on olen-

nainen tekijä. Teräksessä hiili sitoutuu aina karbideihin tai se on hajautunut yksittäisiksi atomeiksi rauta-atomien väleihin. Valuraudoissa hiili esiintyy suurina grafiittimaisina erkaantumina. (8. s, 67.)

Valuteräksillä on korkeampi hinta kuin valuraudoilla. Valulämpötilat ovat korkeita. Energian kulutus on suuri paitsi sulatuksessa myös lämpökäsittelyssä, joka on aina välttämätöntä teräsvalun valmistuksessa. Teräkset asettavat korkean sulamispisteensä takia suuret vaatimukset sulatus- ja sulankäsittelylaitteille sekä muottimateriaaleille. Myös valettavuus on huonompi kuin valuraudoilla, mutta valaminen ei kuitenkaan aseta niin suuria rajoituksia valuteräksen valintaan kuin sen muovaus. (9, s. 157; 7, s. 275.)

Jatkuvavalukoneen sektorullien laakeripesien käyttöolosuhteet ovat kosteat ja pesät ovat koko käytön ajan alttiita vedelle. Normaalia rakenneterästä on kokeiltu laakeripesien valmistusmateriaalina, ja se on todettu liian lyhytikäiseksi olosuhteiden aiheuttaman korroosion takia, joten tässä työssä esitellään vain korroosion kestäviä valuteräksiä.

6.3 Korroosionkestävät valuteräokset

Ruostumattomista ja haponkestävistä teräksistä käytetään nimitystä korroosionkestävät teräokset. Korroosionkestävät teräokset ovat aina runsasseosteisia, joiden kromipitoisuus on vähintään 11,5 %. Standardissa määrätyt korroosionkestävät valuteräokset ryhmitellään martensiittisiin, austeniittisiin, täysin austeniittisiin ja austeniittis-ferriittisiin teräslajeihin. (9, s. 174 - 175.)

6.3.1 Martensiittiset valuteräokset

Martensiittiset korroosionkestävät valuteräokset ovat nuorrutettavia. Niitä käytetään kohteissa, joissa tarvitaan hyvin suuria lujuuksia kohtuullisilla hiilipitoisuuksilla. (9, s. 176.)

Alle 20 % kromia sisältävät teräokset saadaan martensiittisiksi lisäämällä hiilipitoisuutta riittävästi. Tavallisesti martensiittiset teräokset sisältävät 12 - 14 % kromia ja hiilipitoisuus on 0,06 - 0,25 %. Alle 0,03 %:n hiilipitoisuuksilla martensiittisten korroosionkestävien valuteräosten hitsaus onnistuu yleensä ilman esiläm-

mitystä. Korroosionkesto on huonompi kuin austeniittisilla ruostumattomilla valuteräksillä. (7, s. 299; 16, s. 148.)

6.3.2 Austeniittiset valuteräket

Austeniittiset teräket ovat eniten käytettyjä korroosionkestäviä teräksiä. Ne ovat sitkeitä, erinomaisesti muovattavia sekä kohtalaisen hyvin valettavia ja hitsattavia. Suuren muokkauslujittumisen takia lastuavassa työstössä on käytettävä teräviä työkaluja, suuria syöttöjä ja tehokasta jäähdystystä. (7, s. 299; 15, s. 145.)

Perinteisin austeniittinen korroosionkestävä valuteräs sisältää 18 % kromia ja 8 % nikkeliä. Standardien mukaisesti teräslajista käytetään tunnusta AISI 304. Austeniittisiksi luokitellut teräslajit voivat sisältää 5 - 20 % deltaferriittiä, joka lisää lujuutta ja pienentää herkistymistä raerajakorroosiolle. Hitsattaessa austeniittinen korroosionkestävä teräs voi herkistyä raerajakorroosiolle, koska mikrorakenteessa tapahtuu muutoksia. Tätä voidaan torjua uusimalla austenointikäsitteily, alentamalla hiilipitoisuutta tai siirtymällä austeniittis-ferriittisiin teräslajeihin. (9, s. 176 - 177.)

6.3.3 Täysin austeniittiset valuteräket

Täysin austeniittiset korroosionkestävät valuteräket poikkeavat austeniittisista niiden sisältämien seosaineiden osalta. Täysin austeniittiset valuteräket sisältävät hieman enemmän kromia, molybdeeniä ja nikkeliä. Ne kestävät myös paremmin piste- ja rakokorroosiota, ja ovat parempia lujuusarvoiltaan kuin tavalliset austeniittiset teräslajit. (9, s. 178.)

6.3.4 Austeniittis-ferriittiset valuteräket

Austeniittis-ferriittisistä valuteräksistä käytetään nimitystä duplex-teräs. Mikrorakenteessa on suunnilleen 50 % austeniittia ja 50 % ferriittiä. Lujuudeltaan ja sitkeydeltään duplex-teräket ovat parempia perinteisiin austeniittisiin valuteräksiin verrattuna. Valettavuus ja hitsattavuus ovat ferriitin ansiosta hieman huonompia kuin austeniittisellä valuteräksellä. (9, s. 179; 7, s. 299.)

Kestävyys pistekorrosiota vastaan korkeammilla kromipitoisuuksilla on samaa luokkaa kuin täysin austeniittisilla teräslajeilla. Rakokorroosion ja jännityskorroosion kesto puolestaan on huomattavasti parempi austeniittisiin teräslajeihin verrattuna. (9, s. 179.)

7 VALUVIAT

Jatkuvavalukoneen sektorullien laakeripesien valamisessa suurimpana ongelmana on valukappaleeseen syntynyt huokoisuus ja hiekkaisuus. Ne ovat valuvikoja, joita voidaan estää tai minimoida erilaisilla toimenpiteillä ja ratkaisuilla ennen valutapahtumaa tai valutapahtuman aikana. Huokoisuus voi esiintyä monella tavalla valukappaleessa ja sen syntyminen voi johtua useista tekijöistä.

Useimmiten huokoisuus syntyy sulaan sekoittuneen ilman tai reaktiokaasujen vaikutuksesta. Seuraavassa esitellään hiekkaisuuteen ja huokoisuuteen johtavia valuvikoja ja niiden syntymisen syitä.

7.1 Hiekkaisuus valukappaleessa

Kiinnipureutunut hiekka ja metallin tunkeutuminen hiekkään ovat molemmat samasta syystä aiheutuvia valuvikoja. Hiekkamuotin pinta on antanut myöten tai alkanut hajoilemaan siten, että sula metalli on päässyt tunkeutumaan hiekkarakoiden väliin (kuva 8). Hajoaminen voi aiheutua siitä, että pinta on huonosti suloutunut ja jäänyt harvaksi. Syy voi olla myös orgaanisen sideaineen ja hiekan epäpuhtauksien liian pitkä altistuminen sulalle metallille. (17.)



Kiinnipureutunut hiekka

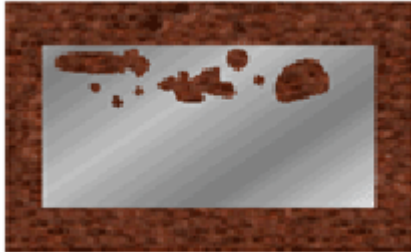


Metallin tunkeuma hiekkään

KUVA 8. Hiekkaisuus valukappaleessa (17)

Hiekkaisuus voidaan välttää valitsemalla koostumukseltaan oikeanlainen hiekka, keskittymällä muotin tasaisempaan sullontaan ja peitostamalla muotti hyvin ennen valutapahtumaa. Myös valunopeus ja valumateriaalin koostumus vaikuttavat pinnankarheuteen. (17.)

Hiekkasulkeuma syntyy, kun muotin palasia tai yksityisiä hiekkarakeita on päässyt sulkeutumaan valukappaleen pinnan alle (kuva 9). Hiekkasulkeumat johtuvat puutteellisesta kaavauksesta tai hiekan koostumuksesta. (17, s. 19.)



KUVA 9. Hiekkasulkeuma (17, s. 19)

7.2 Imuontelot ja imuhuokoisuus

Imuviat ovat kappaleen sisään syntyviä onteloita (kuva 10). Niitä voi syntyä kaikilla valumenetelmillä. Imuontelo muodostuu usein kappaleen paksuihin kohtiin. Imuonteloita ei pystytä poistamaan kokonaan mutta niihin voidaan vaikuttaa valuteknisillä ratkaisuilla. Imuhuokokset ovat pieniä, paljain silmin nähtäviä imuonteloita. Huokoisuutta esiintyy rajoitetulla alueella valukappaleessa, ja se on hankalasti vältettävä ongelma. (17, s. 15 - 16.)



Imuontelo



Imuhuokoisuus

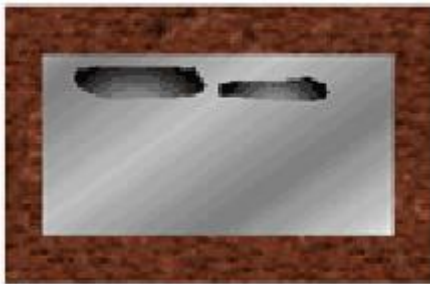
KUVA 10. Imuontelo ja imuhuokoisuus (17)

Imuvikoja voidaan yrittää siirtää jäähdytystä säätämällä ja etsiä kohta, jossa imuista on vähiten haittaa. Suuria ainekeskittymiä ei tulisi suunnitella sellaisiin kohtiin, joita ei pysty syöttämään. Varsinkin monimutkaiset risteyskohdat seinämien välillä täytyy suunnitella huolellisesti. Paksut kohdat jähmettyvät viimeisenä, eikä syöttömetalli pääse täyttämään jähmettymisen aiheuttamaa onteloita,

jos kappaleen muut osat jähmettyvät umpeen ja tukkivat sulan metallin virtausreitit. (17, s. 15.)

7.3 Kaasuhuokoisuus ja rakkulat

Valukappaleessa esiintyvä pintahuukonen on 1 - 100 mm:n kokoinen rakkula, joka voi olla avoin, ohuen metallikuoren peittämä tai metallin täyttämä (kuva 11). Huokoisuus johtuu jonkin hiekassa tai peitosteessa käytetyn aineen kaasuuntumisesta. Vesi on tyypillinen kaasuuntuva aine. Kaasunpoistokanavien huonon suunnittelun tuloksena reaktiokaasut eivät ennätä poistua kappaleesta. Myös liian kylmä valumetalli voi aiheuttaa pintahuokoisuutta. (17, s. 16.)



KUVA 11. Pintahuukonen (17, s. 16)

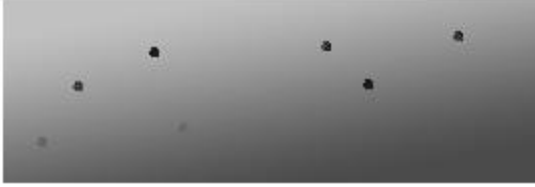
Mikäli valukappaleen valmistuksessa joudutaan käyttämään keernaa, voi huonosta kaasunpoistokanavien suunnittelusta johtuen syntyä keernatukirakkuloita (kuva 12). Keernatukirakkula on pyöreä 2 - 20 mm:n kokoinen rakkula. Jokin muotin osa kehittää kaasua, eikä se pääse poistumaan kaasukanavia pitkin. (17, s. 17.)



KUVA 12. Keernatukirakkula (17, s. 17)

Valukappaleessa voi esiintyä myös pieniä rakkuloita, jotka ovat tasaisesti jakautuneina tai ryhmänä tietyssä kohdassa valukappaletta. Sulassa metallissa voi

olla liuenneita kaasuja, jotka synnyttävät pienoizrakkuloita (kuva 13). Myös muottiin jäänyt kosteus voi aiheuttaa rakkuloiden syntymisen. Valukappaleeseen täytyy suunnitella ilmanpoistoa varten hyvät kohdat. (17, s. 18.)



KUVA 13. Pienoizrakkulat (17, s. 18)

Pistorakkulat ovat pieniä, pisaran muotoisia rakkuloita, joita esiintyy välittömästi valupinnan alapuolella (kuva 14). Pistorakkulat syntyvät sulan ja keerna- tai muottihiekan väärästä koostumuksesta. Sulaan metalliin on liennut kaasua, joka jää muottipinnan tasalle valukappaleen jähmettyessä. (17, s. 18.)



KUVA 14. Pistorakkulat (17, s. 18)

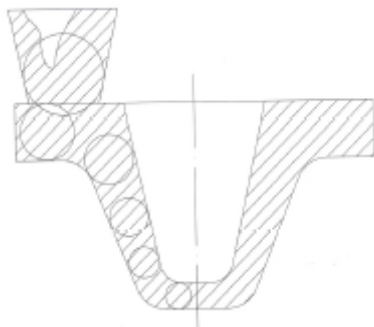
8 VALUN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Valukappaleessa esiintyvä valuvika johtuu valutapahtumaa ennen ja/tai sen aikana tapahtuneista virheistä. Tuloksena on huono valulaatu. Laatutaso täytyy määritellä tapauskohtaisesti asiakkaan ja toimittajan välillä. Ei riitä, että asiakas vaatii vain hyvälaatuisen valukappaleen, vaan laatukriteerit täytyy olla tarkemmin selvillä. (17, s. 2.)

Hyvä laatu saadaan valimon ja valukappaleen suunnittelijan yhteistyönä. Useiden valuvikojen syyt löytyvät yksinomaan valimosta, valumallin suunnittelijan tai muotin valmistajan ratkaisuksista. Näitä vikoja ovat esimerkiksi mallivarusteesta tai muotista johtuvat mittaviat sekä materiaalin koostumuksesta johtuvat viat. Osa vioista muodostuu kuitenkin jo valukappaleen suunnittelun aikana. (17, s. 2.)

8.1 Suunnattu jähmettyminen

Metallin jäähtyessä tapahtuu jähmettymiskutistuma. Mitä suurempi on jähmettymiskutistuma, sitä tärkeämpää on suunnatun jähmettymisen toteutuminen. Suunnatulla jähmettymisellä varmistetaan, että kappaleen sisään ei jää ainekeskittymiä. Ainekeskittymien jähmettyessä viimeksi niihin syntyy helposti imuhuokosia tai -onteloita. Suunnattu jähmettyminen voidaan varmistaa ns. Heuversin ympyrämenetelmällä (kuva 15).



KUVA 15. Heuversin ympyrämenetelmä (28)

Heuversin menetelmässä kappaleen seinämän paksuus kasvaa syöttökuvun suuntaan siten, että kappaleen jokaiseen kohtaan piirretty ympyrä mahtuu kulkemaan syöttökuvulle asti. (8, s. 101.)

8.2 Kaasukanavien vaikutus laatuun

Valukappaleessa esiintyvä kaasuhuokoisuus on yleisin muottikaasujen aiheuttama valuvika. Kun sula metalli kaadetaan muottiin, se kuumenee voimakkaasti. Sideaineiden palaminen muodostaa suuria kaasumääriä, jotka aiheuttavat huokosia valukappaleen sisään. (20.)

Valun suunnittelussa ja kaavauksessa tulee miettiä tarkkaan sijoitettavien kaasukanavien paikka. Suurin osa muottikaasuista poistuu muotin korkeimpiin kohtiin sijoitettujen nousujen kautta. Nousut ja hiekkarakeiden huokokset eivät kuitenkaan yksin riitä kaasumäärien poistamiseen. Kaavaajan on lisäksi pisteltävä piikillä kaasukanavia, joita pitkin hiekkarakeiden välistä tulevat kaasut pääsevät ulkoilmaan. Reikiä ei tule missään nimessä pistää muottiin asti, koska muuten sula metalli pääsisi täyttämään ne ja reiät menettäisivät merkityksensä. Suurien muottien kaasukanavat voidaan porata pitkällä kovametalliporalla. Jotta reiät eivät menisi umpeen, lisäreikien teko on suoritettava vasta muotin tasoittamisen jälkeen. (20.)

8.3 Muotin valujärjestelmän vaikutus laatuun

Hyvällä valujärjestelmän toteutuksella on suuri merkitys mahdollisimman virheettömän valukappaleen aikaan saamiseksi. Valujärjestelmän tehtävänä on toimittaa sula metalli muottionteloon. Valujärjestelmään kuuluu muotin täyttö- ja syöttöjärjestelmä. Täyttöjärjestelmän tehtävänä on täyttää muottiontelo. Syöttöjärjestelmän tehtävänä on syöttää sulaa metallia valukappaleen jähmettymis- ja kutistumisvaiheessa. (21.)

Täyttöjärjestelmä muodostuu kaatoaltaasta tai -suppilosta, kaatokanavasta, jakokanavasta sekä valukanavista. Kun sula metalli virtaa jakokanavan kautta, muottihiekka kuumenee sen ympäriltä estäen ohuiden kohtien jähmettymisen. Tästä syystä kappale saadaan jähmettymään tasaisesti joka puolelta estäen imuvikojen ja kylmäjuoksujen syntymisen. Muotin täyttöjärjestelmän tehtävänä

on myös erottaa kuona metallista kuonanerottimien avulla ja estää muottikaasujen pääsy sulan sekaan. Täyttöjärjestelmän suunnittelussa tulisi huomioida, että sula metalli pääsee virtaamaan muottiin mahdollisimman pyörteettömänä ja sopivalla nopeudella siten, että metalli täyttää kanavat eikä niihin pääse ilmataskuja. (21.)

Syöttöjärjestelmän huomioiminen valunsuunnittelussa on yhtä tärkeää kuin täyttöjärjestelmänkin. Syöttöjärjestelmän tehtävänä on estää kutistumisen aiheuttamia ainevajauksia. Syötöt on sijoitettava kohtiin, joilla estetään vajavaisesta syötöstä syntyvät imu- ja muotovirheet. (21.)

8.4 Sulankäsittely

Sulatusuuneista tullut metalli ei läheskään aina täytä valujen haluttuja laatuominaisuuksia. Tällöin täytyy tehdä sulankäsittelyjä. Erilaisilla sulankäsittelyillä voidaan vaikuttaa sulan ominaisuuksiin, kuten vähentää ei-toivottujen seos- tai oheisaineiden määrää, lisätä tiettyjä seosaineita, pienentää rae- tai solukokoa, vaikuttaa kiderakenteeseen sekä vähentää sulan kaasupitoisuutta. Sulankäsittelyyn käytettäviä laitteita ovat mm. erilaiset konverterit. (8, s. 76.)

8.4.1 Injektointi

Sulan teräksen injektoinnin tarkoituksena on ehkäistä kuumarepeämien ja kapillaarihuokosten syntyminen sekä parantaa teräksen lujuusominaisuuksia, juoksevuuutta, muovattavuutta, työstettävyyttä ja hitsattavuutta. Injektoinnilla pienennetään teräksen rikki- ja happipitoisuuksia vähentämällä teräkseen jäävien sulkeumien määrää sekä muuttamalla niiden koostumusta ja jakaumaa. (7, s. 325.)

Injektointikäsitelystä käytetään myös nimitystä senkkainjektointi, koska se tapahtuu valusangossa. Sulaan teräkseen puhalletaan useimmiten argonin avulla hienorakeista kalsiumyhdisteistä jauhetta. Puhallus tapahtuu keraamisesti suojatun teräsputken avulla, joka ohjataan lähelle valusangon pohjaa. Kalsium höyrystyy ja reagoi höyrynä teräksen läpi noustessaan tämän sisältämän hapen ja rikin kanssa. (7, s. 325.)

Rikinpoisto on tehokkainta, kun teräksen happipitoisuus on pieni. Kalsium yhtyy ennemmin happeen kuin rikkiin, eikä näin ollen poista rikkiä tarpeeksi tehokkaasti. Teräs on deoksidoitava alumiinilla ennen injektointia, koska rautaoksidipitoisen kuonan pääsy käsittelysankoon on estettävä. Valusangon vuorauksessa tulisi käyttää dolomiittia, joka estää happea liukenemasta käsiteltävään teräkseen. (7, s. 325 - 326.)

8.4.2 AOD-käsittely

AOD-konvertterimenetelmää käytetään etenkin ruostumattomien terästen valmistuksessa. AOD-käsittelyllä saavutetaan monia etuja, kuten halpojen runsashiilisten seosaineiden käyttö, niukkahiilisten ruostumattomien terästen valmistus, terästen kaasua- ja rikkipitoisuuksien pienentäminen sekä valulämpötilojen alentaminen. Varjopuolina voidaan mainita argonin suuri kulutus sekä kalliit imu- ja suodatuslaitteet. (7, s. 328.)

AOD-konvertterissa suoritetaan sulan teräksen mellotus, pelkistys ja rikinpoisto. Konvertterin alareunassa on kaksi tai useampia suuttimia, joiden kautta sulaan teräkseen puhalletaan happea ja argonia. Hapen ja argonin tai muun inertin kaasun seossuhdetta muutetaan mellotuksen edetessä. Inertin kaasun tehtävänä on vähentää seosaineiden, etenkin kromin hapettumista ja joutumista kuonaan. AOD-konvertterissa kromia joutuu vain vähän kuonan sekaan, ja sekin osuus voidaan pelkistää melko helposti takaisin teräkseen. Pelkistyksen jälkeen tapahtuu rikinpoisto argonpuhalluksella sekoittaen. Pinnalle noussut kuona kaadetaan pois konvertteripadassa olevien kääntötappien avulla. (7, s. 328.)

8.4.3 VODC-käsittely

VODC-konvertterimenetelmä on yksi tyhjökäsittelymenetelmistä. Tyhjökäsittelyt ovat monipuolistuneet sen verran, että tyhjössä voidaan suorittaa kaasujenpoiston lisäksi suuri osa teräksen sulatuksen työvaiheista, kuten mellotus, pelkistys ja seostus. Tyhjökäsittelyt soveltuvat etenkin ruostumattomien terästen valmistukseen. (7, s. 330.)

VODC-konvertteria käytetään valmistettaessa terästä sulasta raaka-raudasta happipuhallusmenetelmällä. Mellotusvaiheessa happi puhalletaan ylhäältäpäin

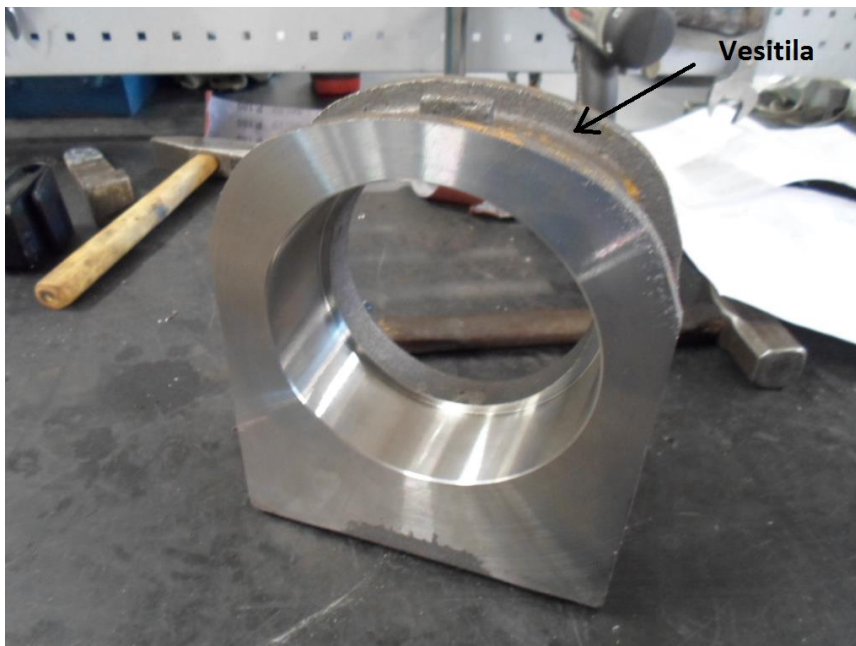
joko vapaasti ilmassa tai tyhökannen läpi alipaineiseen konvertteriin. Tyhökansi on yhdistetty vesijäähdytetyllä ja tiiviillä laippaliitoksella konvertteripataan. Konvertteriin imetään halutunlainen alipaine tyhjäpumppujen avulla. Konvertterin pohjassa on suutin, josta puhalletaan pieni määrä argonia sulan teräksen sekoittamiseksi. VODC-käsittely etenee vaiheittain, jolloin teräksen hiilipitoisuus pienenee. Myös kromipitoisuus laskee aluksi kromin imeytyttyä kuonan sekaan, mutta pelkistysvaiheessa se siirtyy takaisin kuonasta teräkseen. (7, s. 330.)

VODC-menetelmällä saavutetaan paljon samoja etuja kuin AOD-menetelmällä. VODC-menetelmällä voidaan lisäksi pienentää kaikkien kaasujen, rikin ja sulkeumien pitoisuus teräksessä minimiin. (7, s. 331.)

9 LAAKERIPESIEN KONEISTUS

Jatkuvavalukoneen sektorullien laakeripesien valuaihiot kuljetetaan valimolta konepajalle, jossa ne koneistetaan tarkkoihin mittoihin. Samalla niihin tehdään tarvittavat reiät ja kierteet. Tällä hetkellä laakeripesät koneistetaan kahdella eri konepajalla. Koneistamiseen liittyy monia eri työvaiheita, jotka laakeripesien koneistuksessa suoritetaan seuraavasti:

1. sivujen ja laakerireiän rouhinta sorvissa (kuva 16)
2. vesireikien poraus työstökeskuksessa sekä vesitilan koneistus tarvittaessa
3. vesitilan kannen hitsaus
4. ulkopintojen viimeistely koneistamalla ja muiden porausten teko työstökeskuksella
5. vesitilan koeponnistus 10 bar:n vesipaineella
6. laakerireiän viimeistely koneistamalla toleranssimittaan.



KUVA 16. Toiselta puolelta rouhittu laakeripesä

Laakeripesissä ilmenneet valuviat tulevat esiin koneistettaessa valukappaletta. Kappaleen huokoisuutta ei näe ennen kuin pinta on aukaistu ja päästy syvemmälle materiaalin sisään. Kuvassa 17 näkyy, kuinka laakerireiän rouhinnan jäljiltä tulee esiin ensimmäisiä huokosia. Kyseiset huokokset eivät vaatineet vielä korjaustoimenpiteitä, eikä kappaletta hylätty.



KUVA 17. Esiin tulevia huokosia

Teräksestä valetuissa kappaleissa esiintyy lähes aina pientä huokoisuutta, mutta se ei johda automaattisesti kappaleen hylkäämiseen. Lopullinen laatu täytyy määrittellä asiakkaan ja toimittajan välillä. Epäselvissä tapauksissa toimittajan tulee ottaa yhteys asiakkaaseen ja kysyä mielipidettä mahdollisista toimenpiteistä. Hylkäyksen sijaan kappaleelle voidaan tehdä mm. korjaushitsauksia.

Kuvassa 18 on nähtävissä korjaushitsausta vaativa tapaus. Laakeripesässä esiintynyt huokoisuus on aiheuttanut vesitilan ponnistuksen yhteydessä havaittua vuotoa. Kierrereiän pohjassa oleva iso huokonen ja kyljen huokokset päästävät vettä läpi. Porattavien reikien kohdat ja vesitilan ympäristö ovat kriittisiä kohtia, joissa ei saisi esiintyä huokoisuutta.



KUVA 18. Vesitilan koeponnistuksessa havaitut vuotokohdat

Koeponnistusta edelsi monta työvaihetta, ennen kuin huokoisuuden vakavuus tuli esille. Tästä ei seurannut kappaleen hylkäystä, vaan huokoisuuden aiheuttamat vuotokohdat pystyttiin hitsaamaan umpeen. Hylkäykset tuovat aina lisäkustannuksia, mm. uuden laakeripesän valmistus, käytetyt työtunnit ja toimintusaikojen viivästymiset.

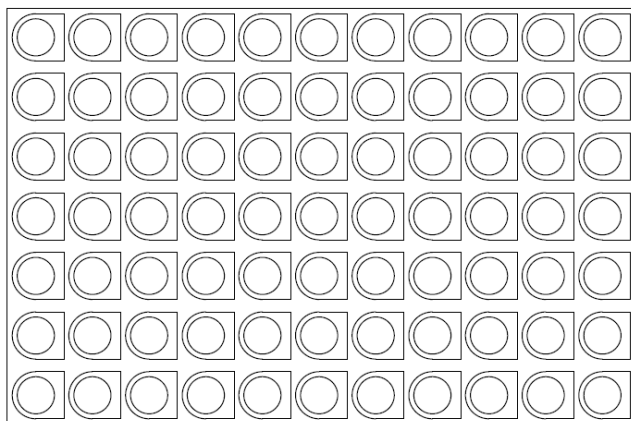
10 VAIHTOEHTOISET VALMISTUSMENETELMÄT

Laakeripesien vaatimat ominaisuudet ja seinämäpaksuudet rajoittavat paljon eri valmistusmenetelmien käyttöä. Nykyisen menetelmän lisäksi voidaan käyttää laadultaan erilaisia teräslevyjä, joista leikataan erilliset pesäaihiot. Levymateriaalina voidaan käyttää rakenneterästä, ruostumatonta terästä tai Toolox-erikoisterästä.

Ruukin oma tuotanto valmistaa rakenneteräksestä kuumavalsattuja kvarttolevyjä. Rakenneteräs ylittää useiden vakioteräslajien vaatimukset, ja se on monipuolinen rakennusmateriaali konepajatuotteisiin ja teräsrakenteisiin. Multisteel-rakenneteräksellä on erittäin tasainen laatu ja hyvä muovattavuus. Ruukilla on suuri valikoima erikokoisia kvarttolevyjä. Saatavissa olevat mitat ovat seuraavat:

- paksuus 5 - 150 mm
- leveys 1 901 - 3 300 mm
- pituus 2 - 5 m. (18.)

Esimerkkinä voidaan käyttää eniten käytettyä laakeripesämallia. Sen halkaisija on 230 mm ja paksuus 79 mm. Ottaen huomioon sivujen rouhinnan koneistusvaran tarvitaan kvarttolevy jonka paksuus on 85 mm. Kun käytetään 2 x 3 m kokoista levyä, saadaan yhdelle levylle sijoitettua 77 laakeripesää mahdollisimman vähällä materiaalihukalla (kuva 19).



KUVA 19. Levylle sijoitettuja laakeripesiä

Kvarttolevyjen muotopolttoleikkaus onnistuu kustannustehokkaimmin Ruukin omilla happi-propaanipolttoleikkaukoneilla. Polttoleikkaukoneilla on mahdollista leikata rakenneterästä jopa 300 mm:n paksuuteen asti. Polttoleikkauksen jälkeen pesäkohtaisille aihioille tehdään viimeistely, jossa poistetaan leikkauksen jäljiltä jääneet aloituskohdat ja sulan roiskeet.

Samalla valmistusmenetelmällä voidaan valmistaa Toolox-erikoisteräksestä valmistettuja laakeripesiä. Toolox on rekisteröity tavaramerkki työkaluteräkselle. Terästä valmistaa ruotsalainen SSAB Öxelösund AB ja Suomessa yhtenä jälleenmyyjänä toimii Sten & Co Oy AB. Toolox 33 on koneiden osien valmistukseen soveltuva nuorrutusteräs. Sillä on hyvä iskutkeys, mittapitävyys, vähäiset jäännösjännitykset ja erittäin hyvä lastuttavuus. Saatavissaa olevien levyjen vakioleveydet ovat 1 700 mm ja 2 100 mm, paksuus 8 - 130 mm ja pituudet väliltä 4 - 5,8 m. (19.)

Rakenneteräokset ja Toolox-erikoisteräokset eivät kestä korroosiota ilman pinnoitusmenetelmien käyttöä. Korroosionkestoa voidaan parantaa tiettyyn rajaan asti suojaamalla laakeripesien pohja runsasseosteisellä korroosiota kestäväällä lisäaineella sekä levittämällä korroosionestomaali pesien muihin pintoihin.

Ruukki valmistaa ruostumatonta terästä 60 mm:n ainevahvuuteen asti. Laakeripesien paksuuden ollessa 79 - 114 mm ilman koneistusvaroja täytyy levyaihiosta ostaa ulkopuolelta. Suomessa mittavaatimukset täyttäviä ruostumattomia teräslevyjä toimittaa ainakin hyvinkääläinen Jacquet. Saatavissa olevien levyjen standardimitat ovat paksuudeltaan 1 - 150 mm ja levykoot 3 x 12 m asti. (22.)

Ruostumatonta terästä ei pystytä leikkaamaan normaalilla happi-propaanipolttoleikkaukoneella teräksen korkean kromipitoisuuden takia. Vaihtoehdot paksujen ruostumattomien teräslevyjen leikkaamiseen ovat plasmaleikkaus ja vesileikkaus. Jacquet suorittaa myös levyjen esikäsitteilyä. Yrityksen käytössä on plasmaleikkaukone ja vesileikkuri, joka leikkaa ruostumatonta terästä 4 000 bar:n paineella 150 mm:n paksuuteen asti. (23.)

Paras mahdollinen leikkauslaatu paksujen ruostumattomien teräslevyjen leikkaamiseen saadaan vesileikkaukoneella. Leikattavaan materiaaliin ei synny kemiallisia, termisiä tai jännitteisiä muutoksia. Leikkauksessa käytetään veden

lisäksi abrasiivihiekkaa. Leikattava materiaali ei lämpene työstön aikana ja monimutkaistenkin muotojen leikkaus onnistuu helposti. Menetelmällä päästään leikkaustarkkuuteen $\pm 0,1 \dots 0,4$ mm. (32.)

Kun laakeripesät valmistetaan levyateriaalista, täytyy jäähtyäkseen tarkoitettu vesitila koneistaa kokonaan. Muut koneistuksessa tehtävät toimenpiteet pysyvät samoina kuin valuaihioista valmistetuissa pesissä. Vesitilan koneistus ei lisää kiinnitysten määrää, koska se voidaan koneistaa samalla kiinnityksellä vesireikien porauksen kanssa. Levystä leikattuja kappaleita on helpompi koneistaa kuin valamalla valmistettuja kappaleita. Levymateriaalin laatu on tasaisempaa, eikä hiekkaisuuden ja huokoisuuden aiheuttamia ongelmia ilmene. Samalla säästytään ylimääräisiltä teräpalojen vaihdoilta, ja työkalukustannukset vähenevät.

Koneistuskustannukset nousevat vain vesitilan koneistukseen käytetyn ajan mukaan. Koneistajalta saadun arvion mukaan vesitilan koneistukseen kuluva aika tulisi olemaan noin 20 - 30 min/kpl. Useimmat konepajat laskuttavat koneistuksen tuntiveloituksena, joten vesitilan koneistuksen lopullinen hinta määräytyy kuluneen ajan ja konepajakohtaisen hinnaston perusteella.

11 VAIHTOEHTOISET VALUMATERIAALIT

Edellisessä luvussa esiteltujen levy materiaalien lisäksi laakeripesien valmistukseen on mahdollista käyttää eri valumateriaaleja. Varsinkin valurautojen keskinäiset ominaisuudet vaihtelevat valettavuuden, korroosionkestävyyden, hitsattavuuden ja lastuttavuuden mukaan. Ruostumattomien valuterästen kaikilla laaduilla on parempi hitsattavuus ja korroosionkesto kuin valuraudoilla, mutta huonompi valettavuus.

Taulukossa 3 vertaillaan laakeripesien valamiseen parhaiten soveltuvia valumateriaaleja eri ominaisuuksien osalta. Taulukko on laadittu tässä työssä aiemmin esiteltujen valumateriaalien pohjalta. Koska kaikki ruostumattomat valuteräket soveltuvat korroosionkestoltaan laakeripesien käyttökohteeseen, terästen osalta vertailussa on mukana vain austeniittinen ruostumaton valuteräs. Sen sitkeys, muokattavuus, valettavuus ja hitsattavuus ovat paremmat kuin muilla ruostumattomilla valuteräksillä (34). Hinnan osalta on huomioitu materiaalikustannuksen lisäksi materiaalin vaikutus valutoimenpiteiden kustannuksiin, kuten sulatuksen energiankulutukseen.

TAULUKKO 3. Valumateriaalien vertailu: 1 = huono, 10 = erinomainen

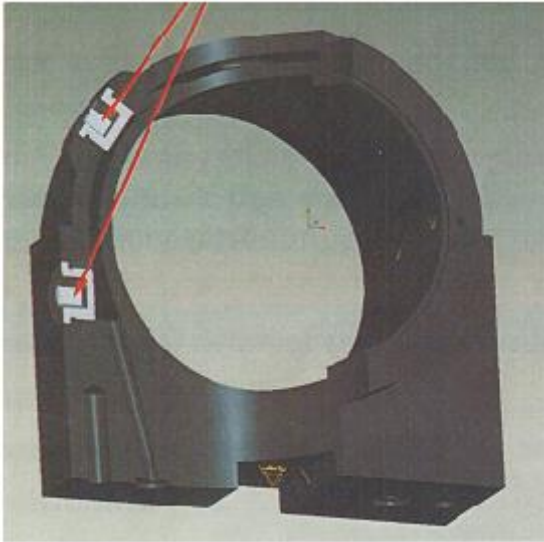
Valumateriaali	Valettavuus	Korroosionkesto	Hitsattavuus	Työstettävyys	Hinta	Pisteet yhteensä
Suomugrafiittivalurauta	8	2	1	8	9	28
Pallografiittivalurauta	7	5	5	7	7	31
Adusoitu- eli tempervalurauta	7	5	6	7	5	30
Austeniittinen ruostumaton valuteräs	5	10	9	6	4	34

Kuten taulukosta 3 voidaan todeta, nykyinen valumateriaali on ominaisuuksiltaan paras vaihtoehto. Etenkin laakeripesien vaatimat ehdottomat ominaisuudet, korroosionkesto ja hitsattavuus ovat austeniittisellä ruostumattomalla valuteräksellä selvästi paremmat kuin valuraudoilla.

12 VALMIIDEN LAAKERIPESIEN VALMISTAJAT

Laakeripesiä on mahdollista saada asennusvalmiina eri toimittajilta. Jatkuvavalukoneen sektiorullien laakeripesät ovat kooltaan hyvin yleisiä. Ne soveltuvat rullille, joiden halkaisija on 230 mm, 250 mm tai 300 mm. Tällaisia laakeripesiä valmistavat muun muassa SKF, FAG ja NSK.

SKF valmistaa ja suunnittelee asiakkaalle räätälöityjä laakeripesiä. Valmistusmenetelmä on valaminen, ja yleisin valumateriaali on harmaa valurauta. Asiakkaan toiveesta on saatavilla myös pallografiittivaluraudasta tai valuteräksestä valmistettuja pesiä. SKF valmistaa jatkuvavalukoneen sektiorulliin laakeripesiä, jotka on valmistettu pallografiittivaluraudasta. Kuvassa 20 näkyy, miten vesitila on sisällytetty suoraan valuaihioon, joten erillistä vesitilan kantta ei tarvitse hitsata. Tämä estää erillisen hitsivyöhykkeen korroosio-ongelmat. SKF:n laakeripesät suojataan korroosiolta erilaisilla korroosionkestomaaleilla. (24.)

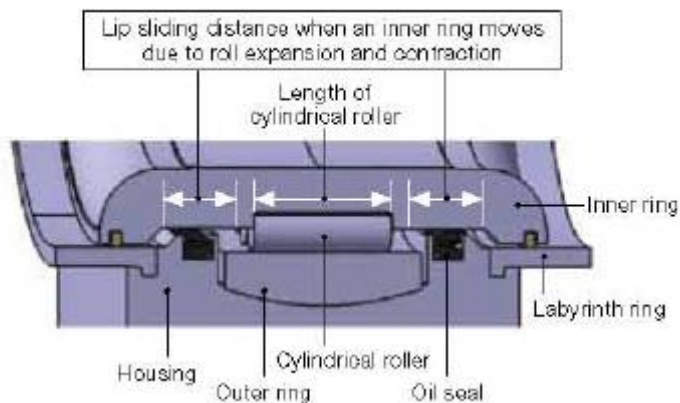


KUVA 20. SKF:n tarjoama laakeripesä, punaisella on merkitty hydraulikkaliittimien paikka (24)

FAG:n laakeripesät valmistetaan myös valamalla. Valumateriaaleina käytetään samoja kuin SKF:n tarjoamissa laakeripesissä. Useimmissa laakeripesissä ei ole jälkivoitelureikiä valmiina vaan pesiin on merkitty valamalla tai muulla tavoin voitelureikien paikat, jotta ne voidaan tarvittaessa porata jälkikäteen. FAG:n laakeripesät suojataan korroosiolta maalaamalla. Maalin päälle voi levittää esi-

merkiksi keinohartsi-, polyuretaani-, akryylilakkoja ja happokovetteisia iskunkestäviä lakkoja. (25.)

NSK on kehittänyt uudentyyppisen laakeripesän jatkuvavalukoneen vetorullille. Uudessa laakeripesässä on keskitytty tiivisteiden ja voitelumekanismiin parantamiseen. NSK lupaa laakeripesille kaksinkertaisen käyttöiän tavanomaisiin laakeripesiin verrattuna. Uusi laakeripesä tarjoaa mahdollisuuden käyttää jopa 30 % pidempiä rullia, ja se pystyy mukautumaan eri voitelumenetelmille. Laakeripesän sisälle suunniteltu labyrinthimainen rakenne säilyttää ja toimittaa riittävästi öljyä voiteluaineeksi laakereille. NSK:n valmistamassa laakeripesässä ei ole ollenkaan vesijäähdytystä vaan laakeripesään on suunniteltu erilliset sisä- ja ulkorenkaat, jotka reagoivat lämpötilavaihteluihin (kuva 21). (26, s. 18.)



KUVA 21. NSK:n laakeripesän rakenne (26, s. 18.)

Lämpötilavaihteluiden aiheuttaman laajenemisen ja supistumisen aikana sisempi rengas liikkuu akselin suunnassa. Näin ollen tiivisteiden ja sisärenkaan ulkopinnan välinen kontaktipinta liikkuu sisärenkaan liikkeen mukana. (26, s. 18.)

Ongelmana valmiiden toimittajien laakeripesissä ovat korroosionkesto, hinta ja vähäiset käyttökokemukset jatkuvavalukoneissa. Pesät on suojattu korroosionestomaalilla. Jatkuvavalukoneiden sektorullien runkoihin on kokeiltu jo korroosionestomaalia, eikä maali pysynyt rungoissa haastavien ja kosteiden käyttöolosuhteiden takia. Myös tarjouskyselyn perusteella saatu hinta on todettu liian kalliiksi verrattuna nykyisiin valmistuskustannuksiin.

13 TUTKIMUKSEN TULOKSET

13.1 Valmistusmateriaalin valinta

Rautametalleista valmistettuja laakeripesiä voidaan suojata korroosiolta erilaisilla pinnoitteilla ja maaleilla. Laakeripesien valmistuksessa on aiemmin kokeiltu mustaa rakenneterästä ja pesän pohjan hitsausta korroosiota kestäväällä lisäaineella, mutta pesän sisällä kiertävä jäähdytysvesi ja sen sisältämät korroosiota aiheuttavat epäpuhtaudet syövyttävät metallia sisältä. Myöskään rullasarjojen runkoihin kokeiltu korroosionestomaali ei ole tarpeeksi riittävä suojaus käyttökohteessa. Jatkuvalukoneen laakeripesien käyttöolosuhteet vaativat siis kauttaaltaan ruostumattoman materiaalin.

Valurautoilla on parempi valettavuus ja tasaisempi laatu kuin valuteräksillä, mutta niille ei saada edes runsaasti seostamalla vaadittavaa korroosionkestoa. Valurauta vaatii erikoismenetelmiä ja -materiaaleja hitsaukseen, eikä saumasta saada yhtä pitävää kuin valuterästä hitsattaessa. Valuteräksiä seostamalla ja kromipitoisuuden ollessa vähintään 11,5 % saadaan aikaan ruostumaton valuteräs.

Kun valmistusmenetelmänä käytetään valamista, vaadittavilta ominaisuuksiltaan parhaaksi Jatkuvalukoneen sektiorullien laakeripesien materiaaliksi taulukossa 3 todettiin austeniittinen ruostumaton valuteräs, joka on laakeripesien nykyinen valmistusmateriaali. Jos valmistusmenetelmäksi valitaan kvarttolevystä valmistettavat laakeripesät, materiaalin on oltava myös ruostumatonta terästä. Levymateriaaleiksi soveltuvat laadultaan joko AISI 304 tai AISI 304L, jotka eroavat hieman toisistaan vain hiili- ja nikkelpitoisuuksiltaan. Rakenneteräs ja Toolox-erikoisteräs eivät täytä vaadittavia ominaisuuksia korroosionkestoltaan.

13.2 Valmistusmenetelmän valinta

Laakeripesien valmistukseen on mahdollista käyttää kahta valmistusmenetelmää. Pesät voidaan valmistaa joko valamalla tai leikkaamalla levyaihiosta. Molemmissa valmistusmenetelmissä laakeripesien viimeistely tapahtuu alihankinnassa koneistamalla.

Levyaihioilla on huomattavasti tasaisempi materiaalin laatu eikä huokosia ilmene samalla tavalla kuin valuaihioissa. Levymateriaalista valmistettuja laakeripesiä voitaisiin valmistaa rakenneteräksestä Ruukin omassa tuotannossa, mutta materiaali ei kestä korroosiota eikä sen käyttö sovellu laakeripesille. Myös Toolox-erikoisteräksellä voidaan todeta sama ongelma.

Ruostumattomasta teräksestä valmistettu levyaihio vaatii leikkaamiseen plasma- tai vesileikkauskoneen. Ruukin omat plasmaleikkauskoneet eivät kykene leikkaamaan niin paksua ainevahvuutta, jonka laakeripesät vaativat. Ruukki valmistaa ruostumatonta terästä vain 60 mm:n paksuuteen asti, joka ei riitä laakeripesille. Levyaihio täytyisi ostaa ulkopuolelta. Levyaihion lisäksi leikkaus on suoritettava alihankinnassa.

Tarjouskyselyn perusteella saatu AISI 304L ruostumattoman teräslevyn hinta on 3,98 €/kg. Tarjouskysely lähetettiin yhdelle suomalaiselle terästuotteiden toimittajalle. Seuraavissa laskelmissa käytetään laakeripesämallia, joka soveltuu halkaisijaltaan 230 mm oleville sektiorullille. Levyn paksuudessa huomioidaan pesien sivujen koneistusvara, joka on 6 mm. Kun sektiorullien laakeripesien tilattava erä koko on 60 kpl, tarvitaan levy, jonka mitat ovat 85 mm x 1 410 mm x 2 600 mm. Levy painaa 2 446 kg ja kokonaishinnaksi saadaan 9 735,08 €.

Pesäkohtaisten leikkauskustannusten selvittäminen onnistuu ainoastaan lähettämällä tarjouskysely leikkausta suorittaville yrityksille. Hinta perustuu jokaisen yrityksen omiin hinnoitteluperiaatteisiin. Vesileikkauksen hinnoittelussa otetaan huomioon monia asioita, jotka tarjouksessa huomioidaan seuraavasti:

- konetunnit / leikkausmatka
- leikattava materiaali ja sen paksuus
- laatuvaatimukset
- kappalemäärät
- toimitusaika
- mahdolliset mallinnus- ja piirtokustannukset
- mahdolliset materiaalikustannukset
- sarjatyöstä johtuvat käsittelykustannukset
- yhtäläisen leikkausradan hyödyntäminen

- muut liikkuvat kulut. (33.)

Suomessa on useita yrityksiä, jotka toimittavat myös valmiiksi leikattuja pesäai- hioita. Toimittaja hankkii tarvittavan kokoisen levyaihion ja leikkaa siitä pesäkoh- taiset aihiot. Taulukossa 4 vertaillaan valumenetelmällä valmistettujen ja ruos- tumattomasta teräslevystä valmiiksi leikattujen laakeripesien valmistuskustan- nuksia. Vertailun pohjana on käytetty nykyisen valmistusmenetelmän kustan- nuksia sekä tarjouspyynnöllä saatujen levyateriaalista valmistettujen pesien kustannustietoja. Pesäaihion hinta sisältää kuljetuksen ja levyateriaalista lei- kattujen osalta pesäkohtaiset leikkauskustannukset. Toimeksiantajan toivomuk- sesta taulukossa ei käsitellä kustannuksia euroissa, vaan prosenteissa.

TAULUKKO 4. Valmistusmenetelmien kustannusvertailu

	Pesäaihion hinta (sis. kuljetuksen)	Työkalukustan- nukset	Koneistuskustan- nukset	Kokonaiskustannus / kpl
Valumenetelmä	X	X	X	X
Levystä leikattu	0.92 X	0.6 X	1.08 X - 1.1 X	0.98 X - X

X = Nykyisen valmistusmenetelmän kustannus

Vaihtamalla laakeripesien nykyinen valmistusmenetelmä valmiiksi levystä leikat- tuihin pesiin pysyy valmistuksen kokonaiskustannus lähes samanhintaisena. Levystä leikatun pesäaihion hinta tulee 8 % ja työkalukustannukset 40 % hal- vemmaksi kuin valamalla valmistetun pesän. Koneistuskustannukset kuitenkin nousevat 8 - 10 %. Koneistus- ja kokonaiskustannuksissa oleva 2 %:n erotus perustuu koneistajan kustannusarvioon vesitilan koneistuksesta. Vesitilan ko- neistukseen kuluvaa tarkkaa aikaa ei pystytä selvittämään ennen ensimmäisen laakeripesän koneistusta.

Työkalukustannukset ovat pienin yksittäinen tekijä kokonaiskustannuksista ja koneistuskustannukset ovat suurin. Sen takia levystä leikattujen laakeripesien valmistuskustannukset nousevat lähes yhtä suuriksi kuin valumenetelmällä valmistettujen.

Levymateriaalista leikattujen pesien laadun oletetaan olevan tasaisempi kuin valamalla valmistettujen. Huokoisuutta ei ilmene niin paljon, ja mahdolliset huokoisuudesta aiheutuvat ennenaikaiset hylkäykset vähenevät tai poistuvat kokonaan. Myös koneistus on helpompaa ja nopeampaa, mikä mahdollisesti vähentää arvioituja koneistuskustannuksia. Levymateriaalista leikattujen pesäaihioiden etuna mainittakoon myös toimitusaika. Levystä leikattujen pesäaihioiden toimitusaika on noin 2 - 3 viikkoa ja valuaihioiden 12 - 14 viikkoa.

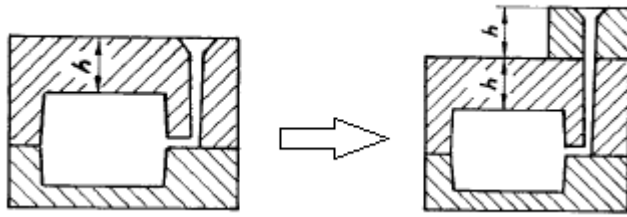
Mikäli valmistusmenetelmänä pidetään valaminen, kustannustehokkaamman valmistuksen saavuttamiseksi on tehtävä korjaavia toimenpiteitä. Valimoiden asiantuntijoiden haastatteluissa selvisi, että laakeripesissä ilmennyttä hiekkaisuutta ja huokoisuutta voidaan vähentää tai poistaa kokonaan erilaisten valuteknisten toimenpiteiden avulla. Tällaisia toimenpiteitä ovat valujärjestelmän ja kaasukanavien suunnittelu sekä sulankäsittely.

13.3 Toimenpiteet valulaadun parantamiseksi

Tässä osiossa esitellään toimenpiteitä, joilla laakeripesien valuaihioiden hiekkaisuutta ja huokoisuutta voidaan vähentää tai poistaa kokonaan. Laakeripesien valamiseen käytetyissä kahdessa valimossa on mahdollista tehdä valulaatua parantavia toimenpiteitä. Kun valulaatu saadaan optimoitua, vähenevät valuvirheistä aiheutuneet kustannukset.

Valuvirheiden estämiseksi tulee kiinnittää huomio valujärjestelmän suunnitteluun. Huonolla valujärjestelmän suunnittelulla muottionteloon pääsee sulan metallin mukana muotista irronnutta hiekkaa ja kaasuja. Valujärjestelmään kuuluvien kanavien paikka ja muoto on ensiarvoisen tärkeää.

Tiiviimmän valun aikaansaamiseksi on metallostaattista painetta lisättävä. Kaatokanavan korkeutta lisäämällä saadaan metallostaattinen paine ja nostevoima kasvamaan kaksinkertaiseksi. (27.) Kuvassa 22 on esitetty kaatokanavan korotus suhteutettuna valukappaleen ja muotin pinnan väliseen hiekkakerrokseen.



KUVA 22. Kaatokanavan korotus tiiviimmän valukappaleen aikaansaamiseksi (27)

Kaatokanava on muotoiltava kartiomaiseksi. Tasapaksuun kaatokanavaan kaadettaessa valusuihkuun sekoittuu ilmaa ja vesihöyryä, jotka aiheuttavat huokoisuutta. Lisäksi teräsvalussa on käytettävä erillistä kaatosuppilaa ja pidettävä huoli, että se on koko valun ajan täynnä.

Kanavistoista on poistettava jyrkät mutkat. Muuten sulan metallin mukaan tempautuisi ilmaa, vesihöyryä ja muottikaasuja. Syöttökanavan ja jakokanavan risteykseen tehdään laajennos, joka vähentää pyörteisyyttä. Myös jakokanavan ja valukappaleen yhtymäkohtaan tehdään pienet pyöristykset.

Jakokanavan sijoittamisella valukappaleen alareunaan varmistetaan muotin rauhallinen täytyminen. Tästä seuraa, että hiekkahuhtoumien määrä on pieni ja metallin hapettuminen vähäistä. Alakanavavalussa on oltava erillinen avosyöttökupu, johon kaadetaan sulaa metallia jähmettymiskutistumisen kompensoimiseksi. Alakanavavalussa ei esiinny putoavan metallin haittavaikutuksia ja kuumin metalli sekä imuontelot sijoittuvat syöttökupuun. Ottamalla käyttöön Heuversin menetelmä saadaan aikaan suunnattu jähmettyminen.

Kaavausvaiheessa hiekkakerrosta ei saa sulloa liian tiiviiksi, koska sen kaasunläpäisevyys heikkenee. Valussa syntyvät muottikaasut eivät pääse poistumaan vapaasti vaan aiheuttavat huokoisuutta valukappaleeseen. Suurin osa kaasuisista poistuu nousujen kautta, jotka on sijoitettava muotin korkeimpiin kohtiin. Nousujen lisäksi hiekkään on tehtävä riittävä määrä kaasunpoistoreikiä.

Valun suunnittelijan on kokeiltava eri vaihtoehtoja parhaan kokonaisuuden saamiseksi. Tähän tarkoitukseen käytetään simulaatiolaitteistoja ja ohjelmistoja. Simuloinnilla huomioidaan jähmettyminen, virtaus ja täytyminen. Jähmettymi-

sen simuloinnilla löydetään syöttöä tarvitsevat alueet ja varmistetaan suunnitelun syöttökuvun toimivuus.

Parannetun valujärjestelmän lisäksi ja virheettömän valulaadun takaamiseksi on tehtävä sulankäsittelyjä. Sula metalli on tiivistettävä ja saatava puhtaaksi huokoisuutta aiheuttavista kaasuisista. Huokoisuutta aiheuttavat sulaan sekoittuneet happi, typpi, vety ja rikki.

Tiivistys tapahtuu lisäämällä sulan sekaan oheisaineena alumiinia, joka sitoo happea ja typpeä. Alumiini reagoi voimakkaasti hapen kanssa, ja se on lisättävä sulan sekaan vasta valusangossa. Alumiinipitoisuuden tulee olla noin 1 - 2 kilogrammaa terästonnia kohden. Täysin tiivistettyä terästä ei saada pelkästään alumiinin avulla vaan lisäksi täytyy olla mangaania ja piitä. Mangaanipitoisuus on pidettävä alle 1,0 %:n, jolloin se toimii oheisaineena sitoen happea ja rikkiä teräksestä. Piipitoisuuden tulee olla 0,2 - 0,5 % toimiakseen oheisaineena mangaanin tavoin.

Vedyn poistamiseen soveltuu parhaiten tyhjökäsittelyt, joissa sulaa metallia huuhdotaan argonilla. Lisäksi vedyn ja vesihöyryjen aiheuttamilta vaaroilta voidaan välttyä, kun huolehditaan että raaka-aineet ja kaikki teräksen kanssa kosketuksissa olevat pinnat ovat ehdottoman kuivia.

Laakeripesien valamiseen käytetyissä kahdessa valimossa on tehty parannuksia valulaadun optimoimiseksi ja huokoisuuden vähentämiseksi. Toinen valimoista on kehittänyt sulankäsittelyä alumiinipitoisuutta muuttamalla ja toinen kaasujenpoistoa syöttöjärjestelmää laajentamalla. Kummassakaan valimossa ei ole käytössä konverttereita, joten sulankäsittely ja tiivistys tapahtuvat valimoiden omilla menetelmillä. Tarkkoja käytössä olevia menetelmiä ei työn aikana saatu selville, koska menetelmät ovat valimokohtaisia liikesalaisuuksia ja pitkän kehitysprosessin tuloksia.

13.4 Tutkimuksen jatkotoimenpiteet

Tässä tutkimuksessa selvitettyjen tietojen perusteella laakeripesien nykyinen valmistusmenetelmä olisi syytä vaihtaa levymateriaalista leikattaviin laakeripesiin. Työssä selvitettiin levymateriaalista leikattavien pesien valmistuskustan-

nuksia lähettämällä tarjouspyyntö kahdelle suomalaiselle teräspalveluja tarjoavalle yritykselle. Toisen yrityksen tarjoukseen sisältyi pelkkä levyaihio ja toisen sekä levyaihion hankinta että pesäkohtainen leikkaaminen. Koneistuskustannusten selvittämiseen käytettiin yhtä suomalaista konepajaa. Koska nykyisen valmistusmenetelmän ja levymateriaalista leikattujen laakeripesien valmistuskustannukset todettiin lähes samanhintaisiksi, jatkotoimenpiteenä ehdotan, että Ruukki kilpailuttaa useita eri konepajoja ja pesäaihioiden toimittajia mahdollisimman alhaisten kustannusten selvittämiseksi. Tarjouspyyntökierroksen jälkeen levyistä leikattuja pesiä voisi kokeilla yhteen tai useampaan sektioon. Mikäli pesät kestävät vähintään yhtä hyvin kuin valetut, koejaksoa tulisi kasvattaa sitä mukaa kun pesiä täytyy uusia.

Mikäli valmistusmenetelmänä pidetään valaminen, valmistusmateriaalien jatkotutkimuskohteena voisi olla nykyaikaisten pinnoitusmenetelmien tutkiminen ja niiden käyttömahdollisuudet jatkuvavalukoneiden sektioiden laakeripesien valmistuksessa. Korroosionkestoa voidaan parantaa tiettyyn rajaan asti erilaisilla pinnoitteilla. Etenkin valuraudat ja rakenneteräs ovat kustannuksiltaan paljon alhaisemmat kuin nykyisin käytetty ruostumaton teräs. Pinnoitusmenetelmien kustannusten selvittämisellä voidaan laskea valmistuksen kokonaiskustannukset ja verrata niitä nykyisiin kustannuksiin.

14 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin jatkuvavalukoneen sektioiden laakeripesien vaihtoehtoisia valmistusmateriaaleja ja -menetelmiä. Laakeripesien nykyinen valmistusmenetelmä on valaminen ja materiaalina käytetään austeniittista ruostumatonta valuterästä. Tutkimustyö tuli tarpeeseen, koska laakeripesien valmistuksen nykytilanteessa on ilmennyt huokoisuutta ja hiekkaisuutta aiheuttavia valuvirheitä, jotka johtavat pesien hylkäämiseen jo ennen käyttökohteeseen asentamista. Työn tavoitteena oli löytää valuvirheisiin johtaneet syyt ja tarkastella valmistuksen vaihtoehtoisia ratkaisuja laakeripesiltä vaadittavien ominaisuuksien ja valmistuskustannusten näkökulmasta.

Jo työn alkuvaiheilla tehdyissä tutkimuksissa kävi ilmi, että työssä käsiteltävien laakeripesien valmistukseen soveltuu ainoastaan rautametallinen rakenne ja valmistusmenetelmäksi joko valamalla tai levy materiaalista valmistettu laakeripesä. Teoriaosuuden tarkasteluun otettiin ensimmäisenä valamalla valmistettu pesä, jota tarkasteltiin laakeripesille soveltuvien valumenetelmien näkökulmasta. Valumateriaalien osalta tarkasteltiin yleisimpiä valumetalleja, joita tutkittiin laakeripesiltä vaadittavilta ominaisuuksiltaan. Jatkuvavalukoneen käyttöympäristö vaatii pesien materiaalilta korroosionkestoa, ja valmistuksessa on otettava huomioon hyvä valettavuus, hitsattavuus ja lastuttavuus. Nämä ominaisuudet estävät useimpien valumateriaalien käytön.

Vaihtoehtoisten valumateriaalien osiossa tehtiin taulukko, jossa vertailtiin eri valumetalleja. Ne pisteytettiin aiemmin työssä esitettyjen ominaisuuksien perusteella. Kun valmistusmenetelmänä käytetään valamista, taulukosta 3 huomattiin, että nykyisin käytetty austeniittinen ruostumaton valuteräs on paras vaihtoehto, eikä löytynyt perusteltua syytä vaihtaa sitä toiseen. Myös nykyinen kertamuottimenetelmä todettiin parhaaksi ja kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi. Kestomuottimenetelmien kalliimmat malli- ja muottikustannukset soveltuvat suuremmille sarjoille.

Laakeripesissä ilmenneet valuvirheet ja niiden syntymiseen johtaneet syyt ovat estettävissä. Hiekkaisuus valukappaleessa on aiheutunut muotista irronneen

hiekan sekoittumisesta sulan sekaan. Huokoisuutta aiheuttavat sulan sekaan päässeet kaasut. Molempiin valuvirheisiin voidaan vaikuttaa oikeaoppisella valunsuunnittelulla.

Vaihtoehtoisten valmistusmenetelmien osiossa esitettiin levymateriaalista leikatavien pesien valmistus. Haasteeksi muodostui laakeripesien paksuus ja leikatavalta materiaailta vaadittava korroosionkesto. Jatkuvalukoneen laakeripesien tulee olla kauttaaltaan ruostumatonta materiaalia. Ruukin oma tuotanto ei valmista eikä leikkaa tarvittavan paksuista ruostumatonta terästä. Levymateriaali täytyy ostaa ulkopuolelta, ja leikkaus sekä koneistus on tilattava alihankinnasta.

Työn aikana lähetettiin tarjouspyyntöjä, joissa pyydettiin tarjoustusta sekä levyaihiolle että valmiiksi leikatuille pesäaihiolle. Valmistusmenetelmien vertailutaulukosta selvisi, ettei valmistuskustannuksissa ole suurta eroa. Levystä leikattujen pesien aihiot ja työkalukustannukset ovat pienemmät kuin valamalla valmistettujen, mutta korkeammat koneistuskustannukset nostavat hinnan lähes samalle tasolle. Levymateriaalista leikattujen laakeripesien etuina ovat tasaisempi laatu ja toimitusaika. Tutkimuksesta selvinneiden tietojen perusteella valmistusmenetelmä tulisi vaihtaa levystä leikattuihin laakeripesiin. Levymateriaalista leikattujen pesäaihioiden valmistajia on useita Suomessa, ja jatkotoimenpiteenä ehdotettiin, että eri toimittajia olisi syytä kilpailuttaa. Näin ollen saataisiin selville halvin mahdollinen ratkaisu.

Työn haasteellisuus tuli ilmi etenkin leikkaus- ja koneistuskustannusten selvityksessä ja valumateriaaleja tutkiessa. Tarkimmat kustannustiedot saatiin lähettämällä tarjouspyyntö valmiiksi leikatuille pesille. Koneistuskustannuksia selvitettiin suoraan koneistajan antamista laskelmista.

Materiaalin valinnassa metalleilta vaadittavat hyvät ja huonot ominaisuudet poikkesivat eri materiaalien kesken, ja lopulta vain ruostumaton teräs täytti vaadittavat ominaisuudet. Myös valimoiden asiantuntijoiden haastatteluissa ilmeni liikesalaisuuksiin vedoten osittaista tiedonannon puutetta. Siksi toimenpiteiden selvittäminen valuteknisten ratkaisujen parantamiseen oli osittain haasteellista. Valimoissa on kuitenkin reagoitu valuteknisten ongelmien parantamiseksi.

LÄHTEET

1. Tietoa yhtiöstä. 2013. Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>. Hakupäivä 3.9.2013.
2. Konzernirakenne. 2013. Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konzernirakenne>. Hakupäivä 3.9.2013.
3. Ruukki Metals - Raahen tehdas. 2013. PowerPoint-diasarja. Sisäinen dokumentti. Ruukki Metals Oy, Raahen tehdas.
4. Teräksen valmistusprosessi. 2012. PowerPoint-diasarja. Sisäinen dokumentti. Ruukki Metals Oy, Raahen tehdas.
5. Teräskirja 2003. 7. painos. Helsinki: Metallinjalostajat ry.
6. Virsiheimo, Pekka 2011. Öljy-ilmavoitelun soveltaminen Ruukki Raahen tehtaalla. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
7. Autere – Ingman – Tennilä 1982. Valimotekniikka 1. Insinööritieto Oy.
8. Ihalainen, Erkki – Aaltonen, Kalevi – Aromäki, Mauri – Sihvonen, Pentti 1998. Valmistustekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
9. Raaka-ainekäsikirja 2. 2001. Valuraudat ja valuteräkset. Metalliteollisuuden keskusliitto. Tampere: Tammer - Paino Oy.
10. Valimotoimialan kuvaus. 2012. Valuatlas. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/valimoala.php>. Hakupäivä 13.9.2013.
11. Meskanen, Seija – Höök, Tuula. Hiekkavalimon valimoprosessi. Valuatlas. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimoprosessi/index.html> linkki Koko teksti yhtenä pdf -tiedostona. Hakupäivä 14.9.2013.
12. Meskanen, Seija – Höök, Tuula 2009. Valumenetelmät. Teoksessa Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo. Suunnittelijan

perusopas. Valuatlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.htm>

]. Hakupäivä 14.9.2013.

13. Meskanen, Seija – Höök, Tuula. Kertamuottimenetelmät. Teoksessa Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Niini, Eero – Orkas, Juhani – Piha, Olavi – Tiainen, Tuomo – Toivonen, Pentti. Valimotekniikan perusteet. Valuatlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimotekniikanperusteet/index.html>

. Hakupäivä 15.9.2013.

14. Hiltunen, Lauri 2009. Valaminen ja valamisessa huomioitavat seikat sekä selvitys teräs- ja rautavaluja tekevistä yrityksistä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. Saatavissa:

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/45065/nbnfi->

[fe200905131448.pdf?sequence=3](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/45065/nbnfi-fe200905131448.pdf?sequence=3). Hakupäivä 22.9.2013.

15. Niemi, Pekka 2009. Muotti- ja valutekniikka. Valuatlas. Saatavissa:

http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/muottijavalu_tao/index.html linkki

Käsinkaavaustapahtuma hartsihiekkään. Hakupäivä 22.9.2013.

16. Koivisto, Kaarlo – Laitinen, Esko – Niinimäki, Matti – Tiainen, Tuomo – Tiilikka, Pentti – Tuomikoski, Juho 2008. Konetekniikan Materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy.

17. Meskanen, Seija – Höök, Tuula 2009. Valuviat. Teoksessa Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo. Suunnittelijan perusopas. Valuatlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.htm>

]. Hakupäivä 4.10.2013.

18. Multisteel rakenneteräkset. 2013. Ruukki. Saatavissa:

<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kuumavalssatut->

[terakset/Rakenneterakset/Multisteel-rakenneterakset](http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kuumavalssatut-terakset/Rakenneterakset/Multisteel-rakenneterakset). Hakupäivä

7.11.2013.

19. Toolox prehardened tool steel. Esite. Sten & Co Oy Ab. Saatavissa:
http://www.sten.fi/sten_fin/tuotteet/toolox/ linkki Toolox 33. Hakupäivä
8.11.2013.
20. Keskinen, Raimo – Niemi, Pekka 2007. Muotin kaasukanavat. Teoksessa
Keskinen, Raimo – Niemi, Pekka. Muotinvalmistustekniikka. Valuatlas. Saa-
tavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/muotinvalm_tao/index.html.
Hakupäivä 10.11.2013.
21. Niemi, Pekka 2008. Valun suunnittelutekniikka. Valuatlas. Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valunsuunnittelu_tao/index.html
linkki Muotin valujärjestelmä. Hakupäivä 10.11.2013.
22. Ruostumaton teräs. MyJacquet Finland. Saatavissa:
<http://www.myjacquet.com/finland/steel/index.php>. Hakupäivä 13.11.2013.
23. Esikäsittely. MyJacquet Finland. Saatavissa:
<http://www.myjacquet.com/finland/process/index.php>. Hakupäivä
13.11.2013.
24. New improved bearing housing concept for ConRo compact. 2007. Esite.
SKF Oy Ab.
25. Laakeripesät. 2013. Schaeffler Finland Oy. Saatavissa:
http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products_services/rotativ_products/bearing_housings/bearinghousings.jsp. Hakupäivä 15.11.2013.
26. Technical & journal motion & control No.23. 2013. Pdf-tiedosto. NSK Ltd.
Saatavissa: <http://www.jp.nsk.com/app01/en/catalog/technical.cgi>. Hakupäi-
vä 15.11.2013.
27. Keskinen, Raimo – Niemi, Pekka 2007. Sulan metallin nostovoima. Teok-
sessa Keskinen, Raimo – Niemi, Pekka. Muotinvalmistustekniikka. Valuat-
las. Saatavissa:
[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_muotinvalmistustekniikka_12_13.pd](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_muotinvalmistustekniikka_12_13.pdf)
[f](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_muotinvalmistustekniikka_12_13.pdf). Hakupäivä 15.11.2013.

28. Niemi, Pekka 2008. Valun suunnittelutekniikka. Valuatlas. Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valunsuunnittelu_tao/index.html
linkki Suunnattu jähmettyminen. Hakupäivä 18.11.2013.
29. Ilmola, Mikko. Työsuunnittelija, Rautaruukki Oyj, Raahen tehdas. Haastattelut syksyn 2013 aikana.
30. Roukala, Olli. Myyntipäällikkö, Miilukangas Oy, Raahen toimipiste. Haastattelut syksyn 2013 aikana.
31. Arttu -kunnossapitojärjestelmä. Rautaruukki Oyj, Raahen tehdas.
32. Vesileikkaus. 2009 - 2012. Turun WaterCut Oy. Saatavissa:
<http://www.watercut.fi/vesileikkaus.html>. Hakupäivä 11.12.2013.
33. Vesileikkaus - Hinta ja työkustannukset. 2009 - 2012. Turun WaterCut Oy. Saatavissa: <http://www.watercut.fi/vesileikkausblogi/vesileikkaus-hinta-ja-ty%C3%B6kustannukset>. Hakupäivä 11.12.2013.
34. Meskanen, Seija. Valuteräkset. Teoksessa Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Niini, Eero – Orkas, Juhani – Piha, Olavi – Tiainen, Tuomo – Toivonen, Pentti. Valimotekniikan perusteet. Valuatlas. Saatavissa:
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimotekniikanperusteet/index.html>
linkki raaka-aineet. Hakupäivä 16.12.2013.

LIITTEET

Liite 1 Keskilaakeripesä 230 mm rullalle

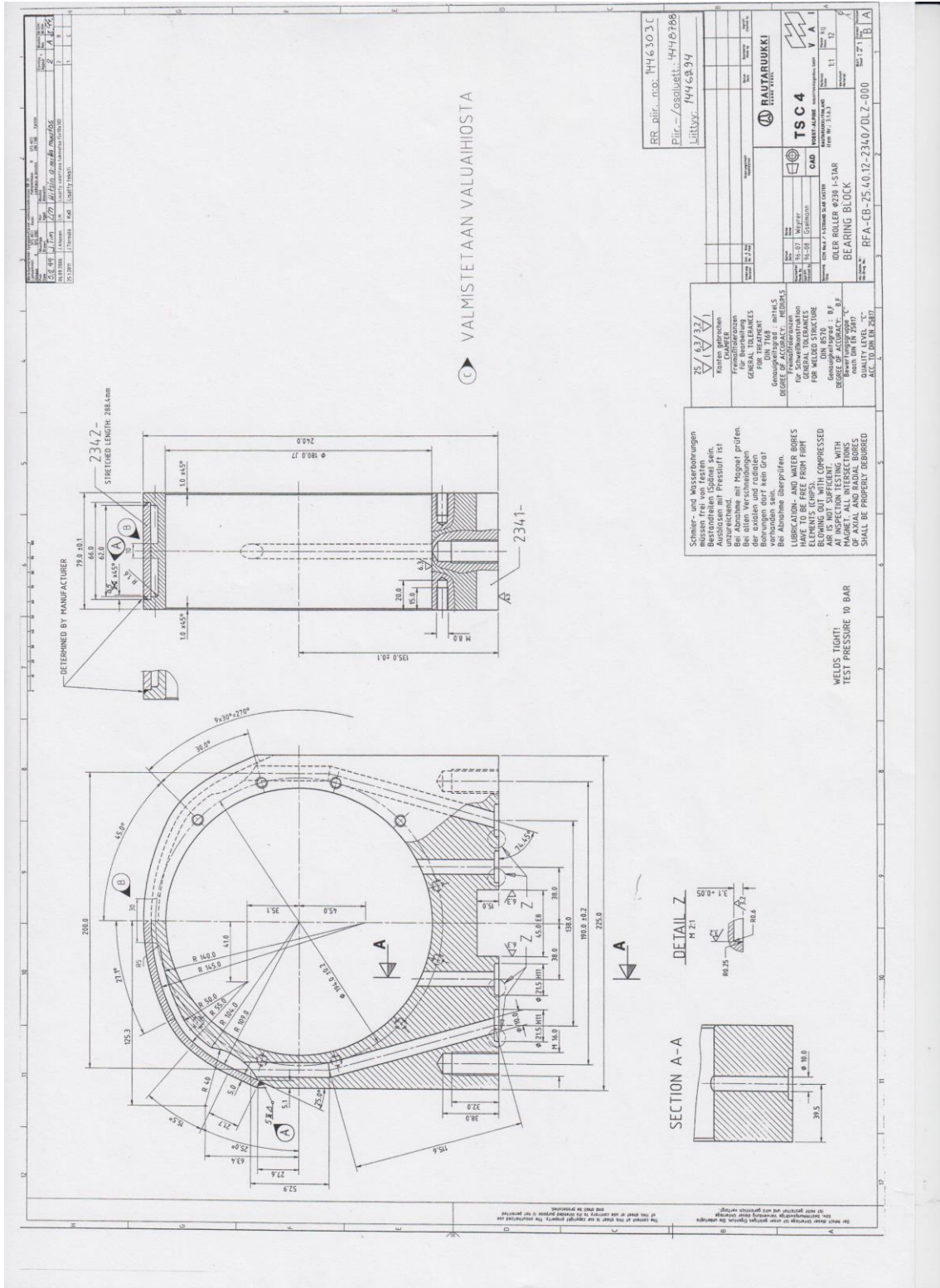
Liite 2 Päätylaakeripesä 230 mm rullalle

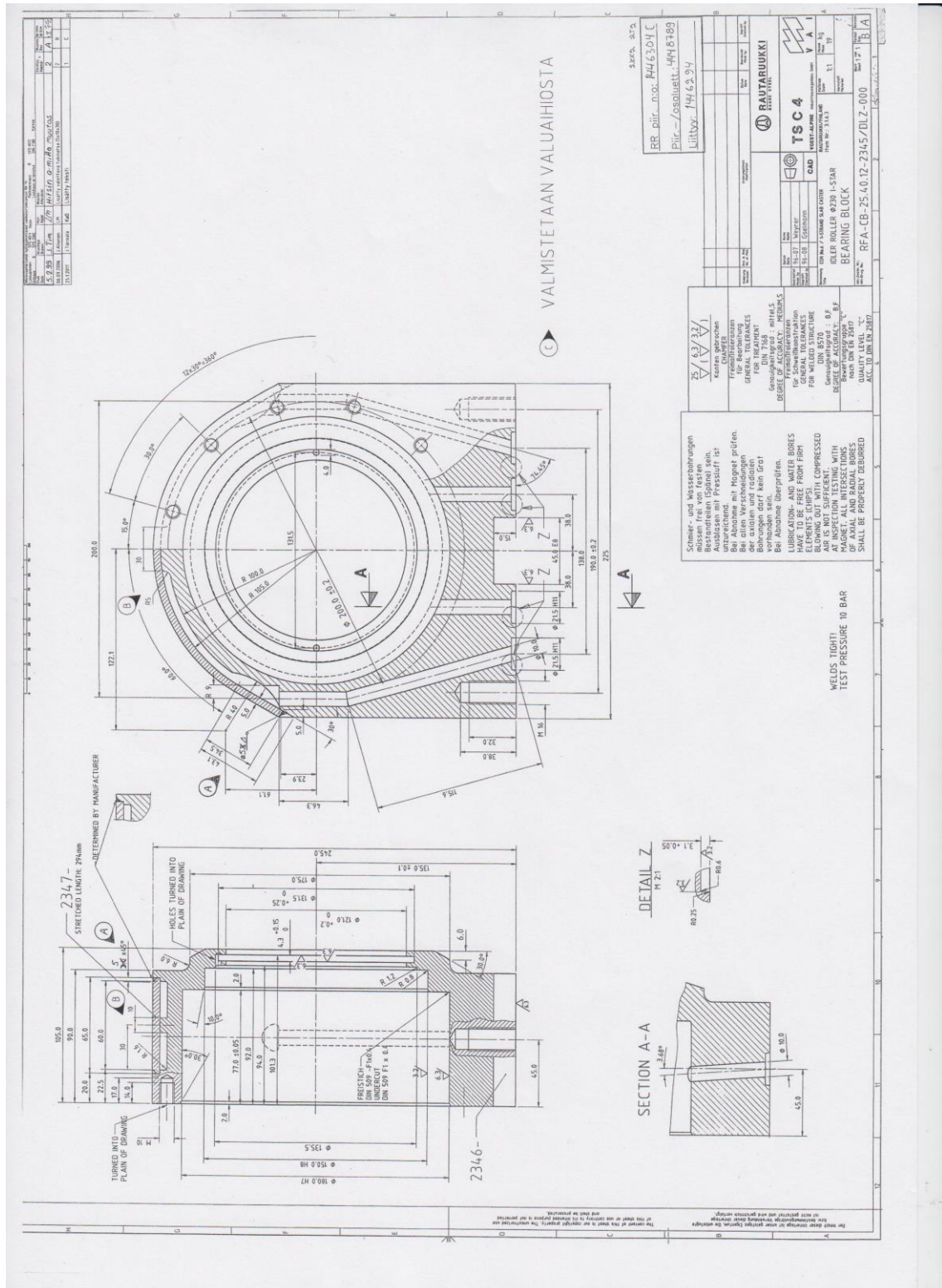
Liite 3 Keskilaakeripesä 250 mm rullalle

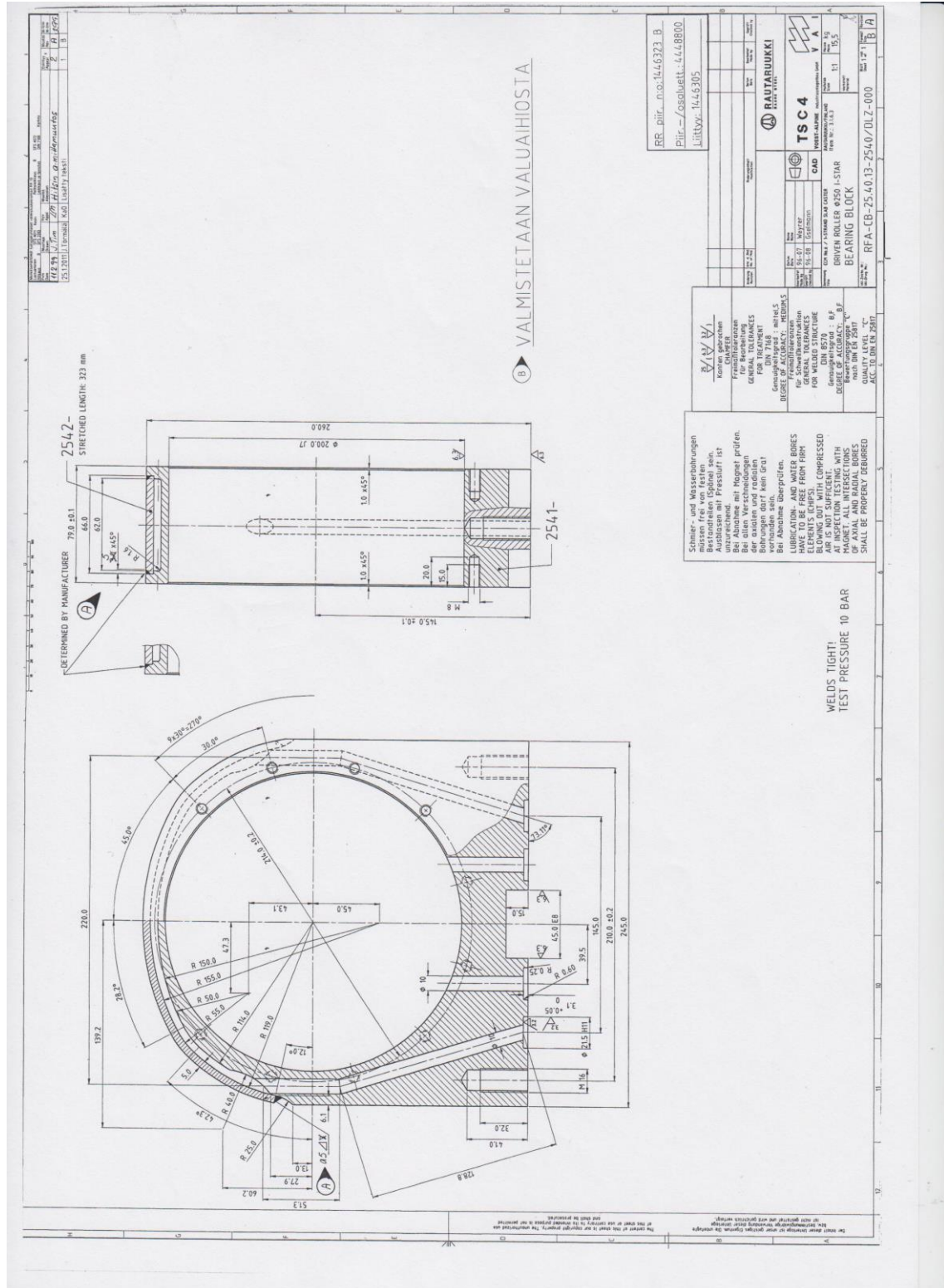
Liite 4 Päätylaakeripesä 250 mm rullalle

Liite 5 Keskilaakeripesä 300 mm rullalle

Liite 6 Päätylaakeripesä 300 mm rullalle







VALMISTETAAN VALUUIHIOSTA

RR_pirr_n:o:IL46323_B
 PIR- / osaluett.: 4448800
 Liittyy: IL46305

AVI
 Kontin gerätens
 Fremdfabrikaten
 Fremdfabrikaten
 GENERAL TOLERANCES
 FOR TREATMENT
 Geseignete Lager : mit NLS
 Fremdfabrikaten
 Fremdfabrikaten

TSC 4
 CAD
 DROVER ROLLER Ø250 I-SIAR
 BEARING BLOCK
 RFA-CB-25.40.13-2540/DLZ-000

Schmier- und Wasserbohrungen
 Bestandteilen (Spindel) sein.
 Auslassen mit Feinstluft ist
 Bei Abnahme mit Magnet prüfen
 Bei allen Verschleißungen
 Bohrungen darf kein Öl!
 Bohrer sind
 Bohrer sind
 Bohrer sind

LIBRICATION AND WATER BORES
 HAVE TO BE FREE FROM FIRM
 SLURRY. CLEAN WITH COMPRESSED
 AIR IS NOT SUFFICIENT.
 MALFUNCTION TESTING WITH
 MAGNETIC PARTICLES AT 100°C
 OF AXIAL AND RADIAL BORES
 SHALL BE PROPERLY DEBURRED

WELDS TIGHT!
 TEST PRESSURE 10 BAR

AVI
 Kontin gerätens
 Fremdfabrikaten
 Fremdfabrikaten
 GENERAL TOLERANCES
 FOR TREATMENT
 Geseignete Lager : mit NLS
 Fremdfabrikaten
 Fremdfabrikaten

TSC 4
 CAD
 DROVER ROLLER Ø250 I-SIAR
 BEARING BLOCK
 RFA-CB-25.40.13-2540/DLZ-000

Schmier- und Wasserbohrungen
 Bestandteilen (Spindel) sein.
 Auslassen mit Feinstluft ist
 Bei Abnahme mit Magnet prüfen
 Bei allen Verschleißungen
 Bohrungen darf kein Öl!
 Bohrer sind
 Bohrer sind
 Bohrer sind

LIBRICATION AND WATER BORES
 HAVE TO BE FREE FROM FIRM
 SLURRY. CLEAN WITH COMPRESSED
 AIR IS NOT SUFFICIENT.
 MALFUNCTION TESTING WITH
 MAGNETIC PARTICLES AT 100°C
 OF AXIAL AND RADIAL BORES
 SHALL BE PROPERLY DEBURRED

WELDS TIGHT!
 TEST PRESSURE 10 BAR

AVI
 Kontin gerätens
 Fremdfabrikaten
 Fremdfabrikaten
 GENERAL TOLERANCES
 FOR TREATMENT
 Geseignete Lager : mit NLS
 Fremdfabrikaten
 Fremdfabrikaten

TSC 4
 CAD
 DROVER ROLLER Ø250 I-SIAR
 BEARING BLOCK
 RFA-CB-25.40.13-2540/DLZ-000

