



SULAN SYÖTTÖLAITTEEN
ESISUUNNITTELU
HARKKOVALUKONEELLE

Jari Ranta-Tilus
2011
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

SULAN SYÖTTÖLAITTEEN
ESISUUNNITTELU
HARKKOVALUKONEELLE

Jari Ranta-Tilus
Opinnäytetyö
1.6.2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka	Opinnäytetyö Insinöörityö	Sivuja + Liitteitä 63 + 5
Suuntautumisvaihtoehto Tuotantotalous	Aika 2011	
Työn tilaaja Boliden Kokkola Oy	Työn tekijä Jari Ranta-Tilus	
Työn nimi Sulan syöttölaitteen esisuunnittelu harkkovalukoneelle		
Asiasanat Valaminen, koneen suunnittelu, sula, sinkki		

Työssä esisuunniteltiin Boliden Kokkola Oy:n harkkovalukoneelle uusi sulan sinkin syöttölaite. Laitteen tarkoitus oli vähentää roiskeiden määrää ja kuonan pääsyä valumuottiin harkkovalukoneella. Tällä tavalla saataisiin aiempaa parempi pinnanlaatu tuotteelle ja poistettaisiin kolme toimilaitetta. Työssä sovellettiin Boliden Oddan yksikön sulan syöttölaitteen mallia.

Työ tehtiin esisuunnitteluna, joka tarkoitti laitteen rakenteellista suunnittelua, sulan virtauksen ja valunopeuden tutkimista ja vaikutusta. Lisäksi määritettiin laitteen toimintatapa ja laitteen liikuttamiseen tarvittavat voimat. Rakenteesta laadittiin mittapiirustukset Catia-ohjelmalla. Muut piirustukset tehtiin Microsoft Wordillä. Voimien määrittäminen tehtiin pistekuormien mukaan.

Työn tuloksena saatiin laitteen valukaukalolle ja ränneille rakenteelliset mitat ja laitteen liikuttamiseen tarvittavien voimien suuruudet, jotka olivat 4,2 kN sivuttaisuuntaan ja 8 kN pystysuuntaan. Lisäksi määritettiin sulan virtauksen säätötapa, joka oli pystysuuntaan säädettävät levyt laitteen rännien yläosissa. Laitteelle määritettiin myös nelivaiheinen toimintatapa, joka sisälsi laitteen liikuttamisen sivuttaissuunnassa ja pystysuunnassa. Laitteen toimivuuden kannalta kriittiset kohdat ovat valunopeuden muutos ja sulan virtausmäärän tasainen annostelu valumuotteihin.

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia opinnäytetyötäni tukeneita osapuolia. Olen erittäin kiitollinen Boliden Kokkola Oy:n antamasta mahdollisuudesta opinnäytetyön tekoon. Projekti on antanut erittäin arvokkaan kokemuksen monin eri tavoin.

Opinnäytetyön ohjaajana on toiminut lehtori Hannu Päätaalo ja yrityksestä työn asettajana on toiminut valimon osastomestari Raimo Ahola. Haluan kiittää teitä kiinnostuksesta ja avusta työn valmiiksi saattamisessa.

Oulussa 1.6.2011

Jari Ranta-Tilus

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 VALAMINEN	9
2.1 Valumateriaalit.....	9
2.2 Sinkki.....	10
2.3 Valumenetelmät	11
2.4 Kestomuottimenetelmät	11
2.5 Sula metalli.....	12
2.6 Viskositeetti	13
2.7 Valukoneen teknisiä asioita.....	15
2.8 Valun suoritus.....	16
2.9 Metallien sulatus.....	17
2.10 Sulan annostelu	17
2.10.1 Valokenno-ohjaukseen perustuva annostelu	17
2.10.2 Punnitsemiseen ja paine-eroon perustuva annostelu	17
2.10.3 Tilavuuteen ja aikaan perustuva annostelu.....	18
2.10.4 Käsien annostelu.....	18
2.11 Valujärjestys	18
2.12 Metallin jähmettyminen.....	18
2.13 Valuviat.....	19
2.14 Valamisen taloudelliset näkökohdat	19
3 KONEENSUUNNITTELU.....	21
3.1 Intuitiivinen luova työ	21
3.1.1 Rikkianalyysi	21
3.1.2 Intuitiivisen luovan työn prosessi.....	21
3.2 Systemitekniiikan etenemisaskeleet	22
3.3 Konstruoinnin työnkulku	24
3.3.1 Tehtävänasettelun selvitys.....	25
3.3.2 Luonnostelu	25
3.3.3 Kehittely	26
3.3.4 Viimeistely	26

3.4 Systemaattinen metodi.....	27
3.4.1 Vaatimuslistan kehittäminen.....	27
3.4.2 Toimintojen käsittely.....	27
4 SUUNNITTELUPROSESSI	30
4.1 Sinkin tuotantoprosessi Boliden Kokkola Oy:ssä	30
4.2 Harkkovalukoneen nykyinen rakenne.....	31
4.3 Ongelmat harkkovalukoneella	34
4.4 Ongelmien syyt harkkovalukoneella.....	34
4.5 Ongelmien ehkäisy uuden laitteen avulla.....	35
5 SULAN SINKINSYÖTTÖLAITTEEN SUUNNITTELU	37
5.1 Suunnittelun rakenne	37
5.2 Vaatimuslista	37
5.3 Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin	38
5.4 Valukaukalon suunnittelu	38
5.5 Valukaukalon mitoitus	39
5.6 Virtausnopeuksien ja virtausmäärien tarkastelua	45
5.6.1 Viskositeetti.....	47
5.6.2 Virtausmäärien tasaaminen ränneissä.....	48
5.7 Valukaukalon massan laskeminen	49
5.8 Laitteen toimintaperiaate	49
5.8.1 Nykyisen mallin soveltamisen	49
5.8.2 Uuden toimintaperiaatteen hahmottelua	50
5.8.3 Esimerkkitapaus uudesta toimintaperiaatteesta.....	50
5.9 Laitteen liikuttaminen eteen ja taakse	52
5.10 Laitteen eteen ja taakse liikuttamiseen tarvittavat voimat	53
5.11 Laitteen kippaaminen ja nostaminen.....	56
5.12 Kippaamiseen ja nostamiseen tarvittavat voimat	57
6 POHDINTA	61
LÄHTEET.....	63
LIITTEET	
Liite 1. Sulan syöttölaitteen rakenne kolmiulotteisena	
Liite 2. Sulan syöttölaitteen rakenne ylhäältäpäin	
Liite 3. Sulan syöttölaitteen rakenne edestäpäin	
Liite 4. Sulan syöttölaitteen rakenne sivultaapäin	
Liite 5. Sulan syöttölaitteen rakenne sivultaapäin	

1 JOHDANTO

Valaminen on metalliteollisuudessa käytettävä muodonantomenetelmä, jossa tuote saadaan haluttuun muotoon sulattamalla raaka-aine, viemällä se muottiin ja antamalla sen jähmettyä muotissa. Teollisuuden ja kaupallisuuden näkökulmasta merkittävien valumetallien määrä on noin kymmenkunta, ja niillä on omia valamiseen liittyviä ominaispiirteitä. Yleisesti kaikki metallit sulatetaan korkeassa lämpötilassa ja ohjataan erilaisten menetelmien tai laitteiden kautta halutun muotoiseen muottiin, josta jähmettynyt tuote poistetaan. Sulan metallin käsittely ja valulaitteiston toiminta on haastavaa ja tärkeää valun onnistumisen kannalta.

Valettavien kappaleiden laatu vaikuttaa asiakkaan tyytyväisyyteen, joten on tärkeää, että tuotteet ja toiminta ovat laadultaan korkeaa tasoa jatkuvan asiakassuhteen ylläpitämiseksi. Näin ollen on tärkeää, että tuotanto on häiriötöntä, mahdollisimman sujuvaa ja tuotteet vastaavat asiakkaan vaatimuksia.

Boliden Kokkola Oy:n valimo-osastolla valetaan 25 kg sinkkiharkkoja harkkovalukoneella. Sula sinkki pumpataan sulatusuunilta valuränniä pitkin harkkovalukoneelle, jossa se ohjautuu jatkuvana virtana koko ajan liikkeessä olevalle kokillikuljettimelle kokilleihin. Nykytilanteessa etenkin kovilla valunopeuksilla valettaessa sula sinkki roiskuu osuessaan kokillin pohjaan ja jakorumpuun kovalla paineella ja aiheuttaa siten sotkua. Lisäksi valettaessa muodostuu paljon kuonaa sulan pinnalle kokilliin, josta se on myöhemmässä vaiheessa poistettava. Kuonan poistamisesta huolimatta se jättää jälkensä tuotteen pinnanlaatuun.

Työn tavoite on yksinkertaistaa ja tehdä häiriöttömämmäksi Boliden Kokkolan valimo-osaston harkkovalukoneen toimintaa ja samalla parantaa koneella valmistettavien tuotteiden laatua. Tämä tapahtuu suunnittelemalla harkkovalukoneelle uusi sulan sinkin syöttölaitteisto, jonka tarkoituksena on vähentää kuona-aineen syntymistä sulan pinnalle kokilliin sekä sulan roiskei-

ta harkkovalukoneen ympäristöön. Samalla parannetaan myös sinkkiharkkojen pinnanlaatua ja yksinkertaistetaan harkkovalukoneen rakennetta vähentämällä siitä osalaitteita kuona-aineen vähäisyyden seurauksena.

2 VALAMINEN

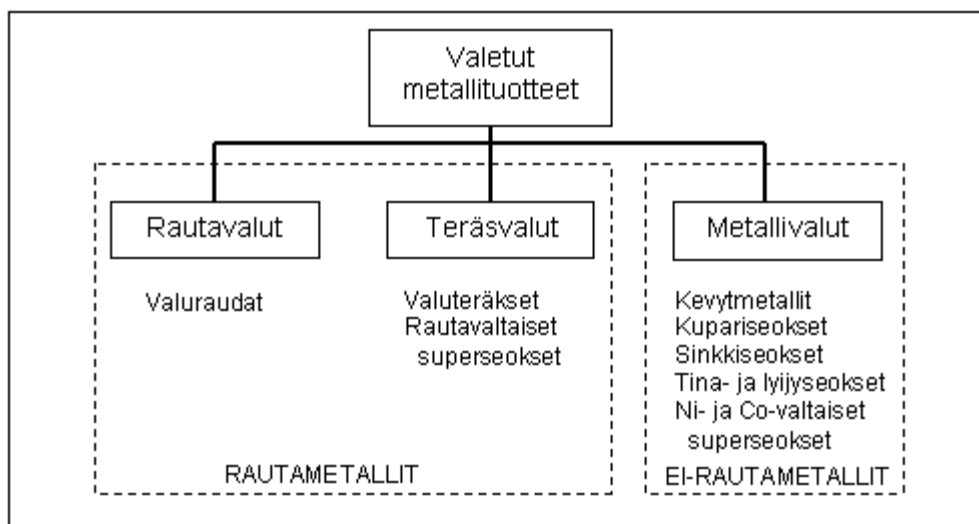
Valaminen on muodonantomenetelmä, jossa tuote saadaan haluttuun muotoon sulattamalla raaka-aine, viemällä se muottiin ja antamalla sen jähmettyä muotissa. Valaminen on lyhin reitti raaka-aineesta valmiiksi tai lähes valmiiksi tuotteeksi. Valaminen on energiataloudellinen valmistustapa, koska raaka-aineen sulattamisen jälkeen ei käytetä enää energiaa tuotteen muodon antamiseen. (1.)

Valamisella on tiettyjä ominaispiirteitä, jotka tekevät siitä merkittävän valmistusmenetelmän (2, s. 66; 6):

- Valaminen on lyhin tie raaka-aineesta tuotteeksi, ja siksi se on nopea ja vähän energiaa vaativa valmistustapa.
- Valaminen soveltuu sekä yksittäis- ja sarjatuotantoon.
- Kappaleen koko ja muoto asettavat vähän rajoituksia.
- Valetuilla kappaleilla on hyvä värähtelyn vaimennuskyky, mikä pienentää rakenteiden värähtelykuormituksia ja melua.
- Valamalla voidaan saavuttaa hyvät mitta- ja muototarkkuusvaatimukset.
- Valamalla on helppoa saada vahva rakenne sellaisiin kohtiin kappaletta, joissa rasitus on suuri.
- Valaminen on mahdollista lähes kaikilla metalleilla ja metalliseoksilla.
- Valumetallien kierrätettävyys on hyvä.

2.1 Valumateriaalit

Kaikki metallit ja metalliseokset ovat periaatteessa valettavissa. Teollisuuden ja kaupallisuuden näkökulmasta merkittävien valumetallien määrä on kuitenkin rajoitetumpi. Materiaalinsa perusteella valaminen voidaan luokitella rauta-, teräs- ja metallivaluihin (kuva 1). Valettavat metallit tai metalliseokset voidaan vielä jaotella rauta ja ei-rautametalleihin. Rautametallien pääryhmät muodostavat valuraudat, valuteräkset sekä superseokset. (1.)



KUVA 1. Valumateriaalien luokittelu (1)

Ei-rautametalleista merkittävimpiä ovat kevytmetallit. Kevytmetalleja ovat metalliset materiaalit, joiden tiheys on alle 5 kg/dm^3 . Tärkeimpiä kevytmetalleja ovat alumiini, magnesium ja titaani sekä niiden seokset. Ei-rautametalleja ovat lisäksi kupariseokset, sinkkiseokset sekä tina- ja lyijyseokset. (1.)

Valuraudat ja valuteräkset ovat perusolemukseltaan rauta-hiiliseoksia. Erona näiden kahden ryhmän välillä on niiden hiilipitoisuus ja sen seurauksena mikrorakenteen sekä ominaisuuksien erityispiirteet. (1.)

2.2 Sinkki

Puhdas sinkki (Zn) on vaalean harmaa, sinertävän sävyinen metalli. Sen sulamispiste on $420 \text{ }^\circ\text{C}$ ja tiheys $7,14 \text{ g/cm}^3$. Melkein kaikissa jalostusprosesseissa sinkkisulfidimalmi pasutetaan ensin noin $900 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa, jolloin se muuttuu oksidiksi, minkä jälkeen käytetään joko termistä tai elektrolyyttistä prosessia sinkin erottamiseksi. Elektrolyyttisessä prosessissa sinkkioksidi liuotetaan rikkihappoon ja saostetaan alumiinianodille. (1.)

Sinkkiseokset ovat hyvin valettavia. Niiden sulamispiste on alhainen, noin $380 - 450 \text{ }^\circ\text{C}$. Sinkkiseoksilla on hyvät lujuusominaisuudet, ja ne ovat hinnal-

taan edullisia. Alumiiniseostuksella voidaan parantaa sinkkiseoksen lujuutta ja kovuutta sekä sulan juoksevuuutta. Yli 4 % alumiiniseostus tekee kuitenkin rakenteesta hauraan. Jos seoksessa on yli 0,10 % rautaa, muodostuu rakenteeseen kovia rauta-alumiinikiteitä, jotka vaikeuttavat työstöä. (3; 1.)

Valulämpötila sinkki-alumiiniseoksilla on 470 - 560 °C. Ylikuumenemisen välttämiseksi sulan lämpötilaa tarkkaillaan lämpötilamittareilla. Ylikuumenemisen takia seokseen saattaa liueta rautaa, minkä seurauksena sulan pinnalle muodostuu kuonaa, joka on poistettava. Sinkki-alumiiniseokset sopivat hiekkavalettaviksi samoin kuin kokilli- ja painevaluun. (4, s. 384 - 387.)

Tärkeimmät sulan sinkin laatuun vaikuttavat tekijät ovat epäpuhtauksien välttäminen, lämpötilan seuranta ja oksidinmuodostuksen (kuonan) rajoittaminen. Matala valulämpötila kuitenkin vähentää kuonan muodostumista, mutta syntynyt kuona päätyy helposti valukoneelle ja siitä edelleen muottiin tai kappaleeseen asti. Kuona nousee sulan pinnalle, josta se sitten täytyy poistaa mahdollisuuksien mukaan. Sulaa voidaan myös suodattaa kuonan määrän vähentämiseksi. (1.)

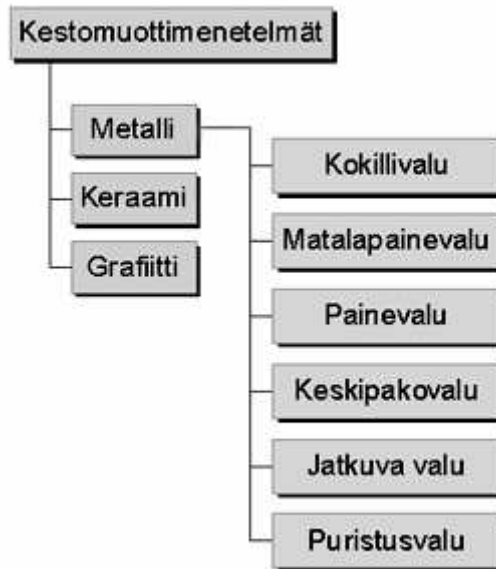
2.3 Valumenetelmät

Valumenetelmät voidaan ryhmittää monin eri tavoin. Yleisesti käytetty jako perustuu valumuotin käyttökertoihin, joiden perusteella valumenetelmät jaetaan kerta- ja kestopuottimenetelmiin. Kertamuotteja käytetään hiekkavalussa ja valettaessa keraamisiin tai kipsimuotteihin. Yleisimmät kertamuottimenetelmät ovat hiekkavalu, kuorimuottivalu ja tarkkuusvalu. Niissä valukappale irrotetaan hajottamalla muottiaine pois kappaleen ympäriltä ja sisältä. Muissa menetelmissä sen sijaan käytetään kestopuotteja. (2, s. 76; 5.)

2.4 Kestomuottimenetelmät

Kestomuottimenetelmässä muotit valmistetaan yleensä metallista (kuva 2), mutta menetelmässä voidaan myös käyttää keraamista tai grafiitista valmis-

tettuja kestopuotteja. Yleisimmät kestopuottimenetelmät ovat keskipakovalu, kokillivalu, matalapainevalu ja painevalu. Kaikissa kestopuottimenetelmissä voidaan puotti varustaa metallisilla, liikkuvilla keernoilla. (3.)



KUVA 2. Kestomuottimenetelmät (1)

Kestomuottimenetelmien edellytyksenä on sarjatuotanto. Metallimuottia käytettäessä sula jähmettyy nopeasti, minkä ansiosta kappaleisiin saadaan hienojakoinen mikrorakenne sekä paremmat mekaaniset ominaisuudet. Metallimuotteihin valetaan titaani-, magnesium-, alumiini-, kupari- ja sinkkiseoksia. (3.)

Kestomuotin käyttöikä riippuu valettavasta metallista ja valumenetelmästä. Valulämpötilan nousun johdosta muotin käyttöikä lyhenee. Käyttöikään vaikuttaa lisäksi muotin raaka-aine, huollot ja valukappaleiden muodot. Esimerkiksi painevalussa muotin käyttöikä on noin 50 000 - 200 000 valukertaa. (3.)

2.5 Sula metalli

Sulalla metallilla on voimakas taipumus hapettua reagoidessaan ilman kanssa. Tätä tapahtuu sekä sulatuksen aikana että sulan annosteltaessa valukoneeseen. Hapettumisen seurauksena muodostuu kuonaa. Matala valuläm-

pötilä vähentää kuonan muodostumista, mutta syntynyt kuona päätyy helposti valukoneelle ja siitä edelleen muottiin tai kappaleeseen asti. Kuonan muodostumista vähentää sulan vähäinen seisonta ja pieni ilmankosteus. Kuonan muodostuessa se nousee sulan pinnalle, josta se sitten täytyy poistaa mahdollisuuksien mukaan. Sulaa voidaan myös suodattaa kuonan määrän vähentämiseksi. Sulan jähmettyessä muotin sisällä se samalla myös kutistuu. Kylmän muottipinnan ja sulan kosketus aiheuttaa myös voimakkaan rasiuksen, joka johtaa nopeaan pinnan säröilyyn. (4, s. 384 - 387; 1; 11.)

Valamisessa ollaan tekemisissä sulan metallin kanssa, mikä tuo suunniteluun kaksi erikoispiirrettä. Sula metalli käyttäytyy olotilansa mukaisesti nesteenä, ja siihen pätevät myös nestevirtauksen lait. Kun muotin täyttänyt metalli alkaa jäähtyä, siinä tapahtuu fysiikan lakien mukaista kutistumista. (2, s. 76.)

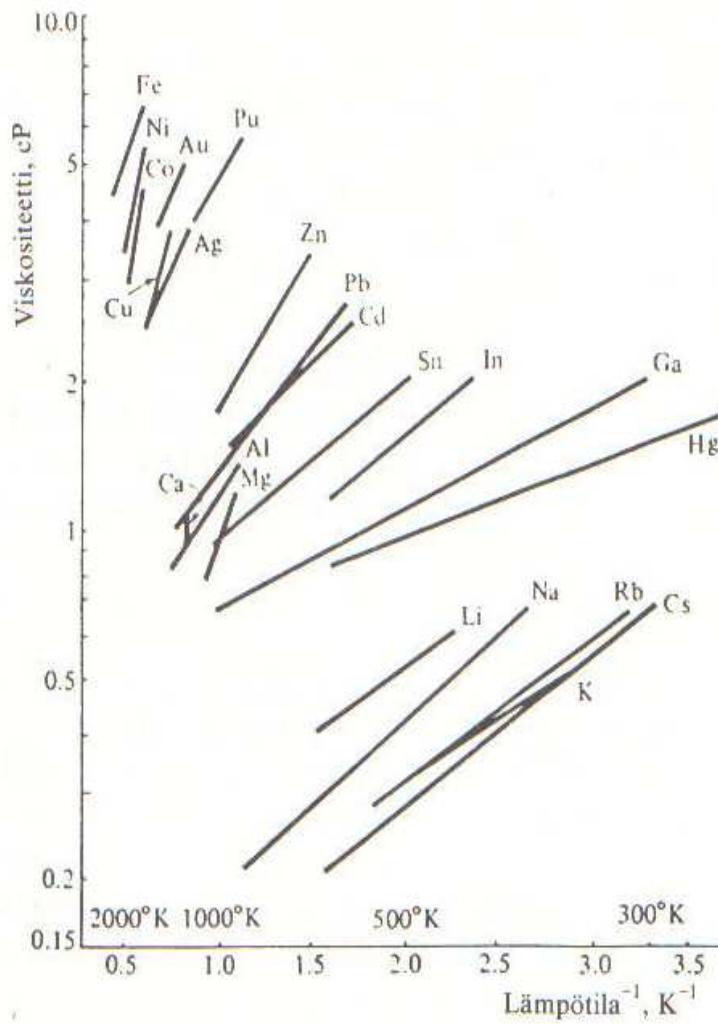
Matkalla sulatusuunilta valupaikalle sulan metallin lämpötila alenee. Tähän vaikuttavat valusankojen täyttönopeus, sangon esikuumennus, metallimäärän suuruus, kuljetusaika ja kuonapeitteen paksuus. Lämpö poistuu metallista säteilemällä tai johtumalla. (4, s. 395.)

2.6 Viskositeetti

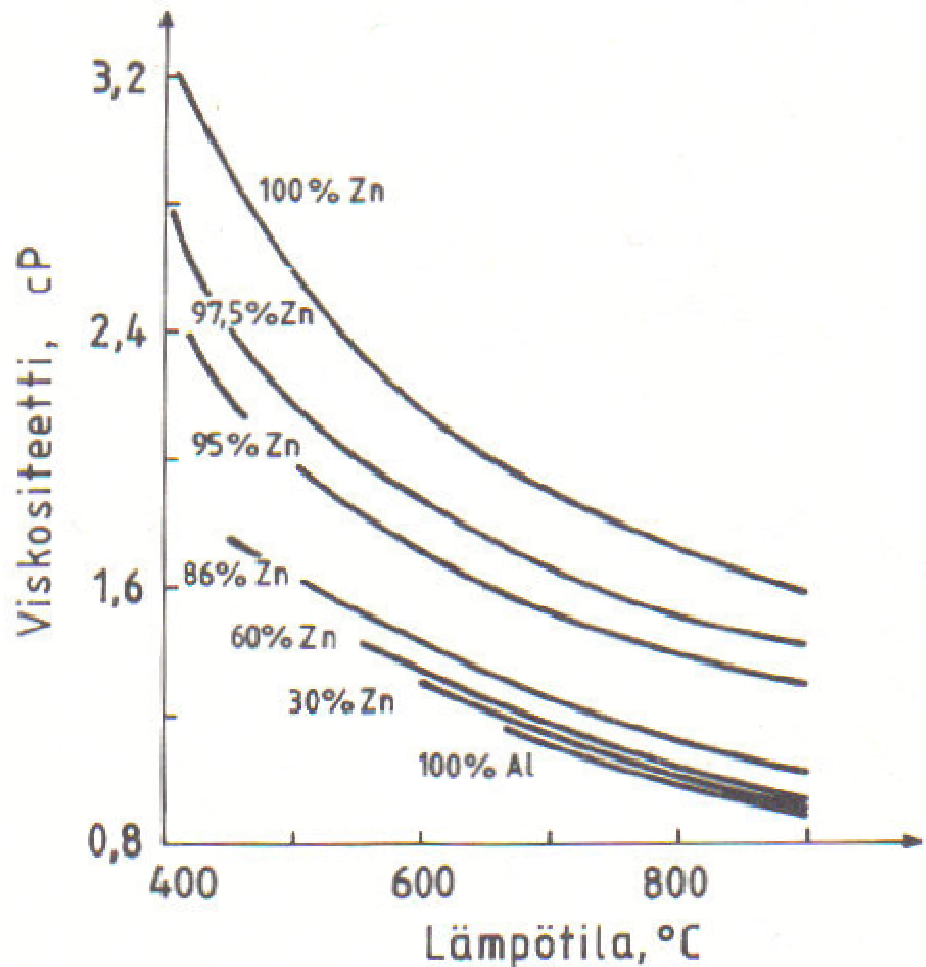
Viskositeetti on suure, joka kuvaa nesteen partikkelien välisiä kitkavoimia, jotka pyrkivät estämään partikkelien liikkumista toistensa ohi. Toisin sanoen viskositeetti on nestemolekyyliden välisestä koheesiosta aiheutuvaa sitkeyttä, johon lämpötila ainoastaan vaikuttaa huomattavasti. Lämpötilan nouseminen aiheuttaa aineen viskositeetin pienenemisen (kuva 3 ja 4). (5, s. 7.)

Metallit eivät ole luonteeltaan molekylaarisia, eikä viskositeettiin liittyviä arvoja saada ennustettua yksinkertaisista yhtälöistä. Metallit kuitenkin käyttäytyvät aktiivisesti. Monissa metallurgisissa systeemeissä on olennaista pitää kuonan ja metallin viskositeetit tarpeeksi alhaisina, sillä aineensiirtoreaktiot tarvitsevat hyvän kontaktin. Alhaisesta viskositeetista on myös se etu, että

kuonat ja metallit saadaan helposti poistettua esimerkiksi uuneista. (5, s. 14 - 19.)



KUVA 3. Sulien metallien viskositeettejä lämpötilan funktiona (5, s. 14)



KUVA 4. Zn-Al-seoksen viskositeetti eri koostumuksilla (5, s. 17)

2.7 Valukoneen teknisiä asioita

Valukoneen suorituskyky vaikuttaa valukappaleiden laatuun. Suorituskyvyn kannalta olennaisia asioita ovat esimerkiksi paineen ja sulavirran tuotto. Valukoneen ohjauksessa tärkeimpiä säädettäviä kohteita ovat valukierron vaiheiden kestoajat, koneen osien liikenopeudet ja prosessipaineet. (6.)

Valukoneiden kehittäminen on vuosien varrella keskittynyt suurelta osin koneeseen liittyviin anturointeihin. Anturoinnin tavoitteena on kerätä prosessitietoa sekä valvoa ja ohjata valuprosessia paremmin. Keskeisiä tekijöitä

ovat esimerkiksi prosessipaineet, muotin täyttymisaika, muotin lämpötila, muotin voitelu ja muotin kiinnipitoaika. (6.)

Prosessiparametrit yritetään asettaa siten, että kappaleen hyvän laadun lisäksi saavutetaan suuri tuotantonopeus, pitkä kestoikä muoteille ja taloudellinen raaka-aineen kulutus. On myös edullista, jos valukone voi toimia keskeytyksettä vähintään kahdeksan tuntia. Silloin muotin lämpötila vakioituu ja pysyy tasaisena, jolloin hylkykappaleiden määrä vähenee ja tuotanto on tasan nopeaa. Ongelmia voi aiheuttaa kuitenkin myös säätölaitteiden epälineaarisuus, säädön vaikeasti arvioitava vaikutus ja eri säätöjen yhteisvaikutus. (6.)

Valaminen on tarkoitus aloittaa aina lämmitettyyn muottiin, koska kylmän muottipinnan ja sulan kosketus aiheuttaa voimakkaan rasituksen, joka johtaa nopeaan pinnan säröilyyn. Huolellisestikin esilämmitetystä muotista saadaan aluksi kuitenkin muutamia susikappaleita. Muottien lämpötila on hyvä olla 150 °C:n yläpuolella. (6.)

Muotteja voidellaan voiteluaineella tasaisin väliajoin. Voiteluaineen käyttö vaikuttaa muotin kulumisnopeuteen ja myös valukappaleiden pinnanlaatuun. Voitelemiseen käytetään ruiskutuslaitetta tai ruiskutuspäällä varustettua robottia. Ruiskutuslaite tai robotti toimii automaattisesti yhdessä valukoneen kanssa. Robotti voidaan kohdistaa voitelemaan tiettyjä kohtia, kun taas ruiskutuslaitteen säätäminen on hankalampaa. Ruiskutus tulisi suunnata kohtisuoraan muottia vasten. Suihkutusetäisyyden tulisi olla niin lyhyt kuin mahdollista. Hyvänä etäisyytenä voidaan pitää 10 - 20 cm muotin pinnasta. (6.)

2.8 Valun suoritus

Valun onnistumisen kannalta on tärkeää, että valukanavat ja kappaleen syöttöjärjestelmä on oikein suunniteltu. Muita tärkeitä seikkoja ovat esimerkiksi valulämpötilan valitseminen. Valaminen yritetään keskittää valuasemille, joihin voidaan asentaa mekaanisia ja automaattisia valulaitteita. (4, s. 395 - 398.)

2.9 Metallien sulatus

Metallivalimoissa käytetään usein samanlaisia uuneja kuin rautametallienkin sulatuksessa. Sulatusuunit voidaan jaotella käyttötavan mukaan kolmeen ryhmään (4, s. 335):

- keskussulatusuunit
- kiinteät sulatus- ja kuumanapitouunit
- kuumanapito- ja ammennusuunit.

2.10 Sulan annostelu

Sula metalli tuodaan sulatusuunista valuasemille esimerkiksi kuljetussangoilla eli senkoilla tai valurännejä pitkin. Jotta metalli ei jäähtyisi liikaa, se on yleensä valettava 15 minuutin kuluessa. Jos valamisessa tapahtuu keskeytys, joudutaan metalli uudelleen kuumentamaan, minkä takia nykyään käytetäänkin kuumennettavia valusankoja eli valu-uuneja. Ne eivät pysty sulattamaan metalleja, mutta pystyvät ylläpitämään valulämpötilan. Valu-uunien rakenteissa on eroja sen mukaan, kuinka on ratkaistu sulan metallin ulosottaminen uunista ja metallin annosteleminen muottiin. (4, s. 398.)

2.10.1 Valokenno-ohjaukseen perustuva annostelu

Valokenno-ohjaukseen perustuva annostelumenetelmä sopii parhaiten pohjareian kautta valettaviin valu-uuneihin. Valu-uunit sijaitsevat yleensä muottikuljettimen päällä ja se saa impulssin valun alkamisesta muotin siirryttyä sen alle. (4, s. 399.)

2.10.2 Punnitsemiseen ja paine-eroon perustuva annostelu

Punnitsemiseen perustuvassa annostelussa punnitaan elektronisesti uunista muottiin virrannut metallimäärä. Paine-eroon perustuvassa annostelussa suljettuun uuniin johdetaan ylipaine, jonka seurauksena metallin pinta nousee annostelulaitteen pystyputkessa, kunnes se koskettaa tuntoelektrodeja, jol-

loin ilman tulo uuniin lakkaa. Tämän jälkeen ulosvirtaava metalli aiheuttaa paineen alenemisen uunissa ja tietyssä arvossa avautuu uunin sulkuventtiili ja ylipaine uunista häviää. Tällöin lakkaa metallin ulosvirtaus. (4, s. 399.)

2.10.3 Tilavuuteen ja aikaan perustuva annostelu

Tilavuuteen perustuvaa annostelua käytetään erityisesti paine- ja kokillivalussa. Metallin kuljetuksen muottiin suorittaa manipulaattori, jonka päässä on tietyn metallimäärän kokoinen kuppi, joka voidaan tyhjentää joko kippaamalla tai pohja-aukon kautta. Ajan perusteella annostelua käytetään erityisesti rautavalussa. Siinä tietty metallimäärä virtaa aikayksikössä uunista ulos. Menetelmä aiheuttaa vaikeuksia sen takia, koska metallin pinnan korkeus valu-uunissa muuttuu koko ajan valun aikana. (4, s. 399 - 400.)

2.10.4 Käsin annostelu

Käsin annostelu on yksinkertaisin menetelmä. Siinä valaja säätää uunin valuaikaa sen mukaan, kuinka paljon metallia tarvitaan muottiin. Säättö voi tapahtua myös kauko-ohjatusti. (4, s. 400.)

2.11 Valujärjestys

Yleensä samasta valusta valetaan useampi muotti, jolloin on suunniteltava valujärjestys. Valut voidaan valaa esimerkiksi nosturin avulla missä järjestyksessä tahansa, mutta siirtoihin kuluu aikaa, kun samanaikaisesti sula jäähtyy. Tämän vuoksi valut kannattaa järjestää siten, että valettavien muottien välillä siirryttäessä kuluu mahdollisimman vähän aikaa. On olemassa myös muita valimo- ja kappalekohtaisia syitä valujärjestyksen muuttamiseksi. (1.)

2.12 Metallin jähmettyminen

Kun metalli alkaa jähmettyä muotissa, muodostuu muotin pintaa vasten hyvin nopeasti ohut kerros kiinteää metallia. Muotin pinta jäähdyttää sulan metallin hetkessä jähmettymispisteeseen, minkä jälkeen kiteytyminen alkaa.

Tämän jälkeen jähmettymisnopeus pienenee ja syntyvien rakeitten koko alkaa suurentua. Jähmettyminen edistyy sitä mukaa kuin lämpöä siirtyy muotin kautta metallista ympäristöön. Sula-alueella tapahtuu yleensä metalleilla myös suoraviivaista kutistumista. (4, s. 19 - 20.)

2.13 Valuviat

Valuvika on valukappaleen suunnittelun, muotin suunnittelun, sulattamisen, sulan siirron ja käsittelyn tai valun aikana tapahtuneen virheen aiheuttama puute valukappaleen rakenteessa. (3.)

Valuvikoja ovat esimerkiksi (3)

- mittaviat: kappaleessa on mittoja, jotka eivät asetu toleranssialueelle
- siirtymäviat: kappale on epäsymmetrinen
- muotoviit: kappaleesta puuttuu muotoja tai ne ovat vaillinaisia
- pintaviat: kappale on pinnasta rosainen tai muulla lailla vioittunut
- halkeamat: kappaleessa on halkeamia
- kutistumat: kappaleessa on onteloita tai syvennyksiä jähmettymisen takia.

Valuvika on laatuominaisuus. Millään valumenetelmällä ei pystytä valmistamaan täydellistä tuotetta. Laatutaso täytyy aina määrittellä asiakkaan ja toimittajan välillä. Valukappaleen laatu muodostuu valimon ja suunnittelijan yhteistyöstä. Lisäksi on olemassa joukko vikoja, joita voidaan ainoastaan lieventää, mutta ei poistaa kokonaan. (3.)

2.14 Valamisen taloudelliset näkökohdat

Valumallit merkitsevät suurta kertakustannusta, minkä vuoksi tarvitaan valuja isoina sarjoina, jotta kannattavuus saavutetaan. Valujen laadun hallinta ei ole helppoa. Reklamaatiot ja virheelliset tuotteet ovat valitettavan yleisiä kappaleesta löytyneiden vikojen vuoksi. (7, s. 273 - 274.)

Valusta ei voi sanoa etukäteen mitään varmaa, koska valamisprosessissa on paljon muuttuvia tekijöitä, jotka vaikuttavat lopputulokseen. Kerran saavutettu valun korkea laatu ei ole stabiili tilanne sekään. Tekijät valun onnistumiseen ovat sen verran moninaiset, että pienetkin muutokset prosessissa saattavat aiheuttaa yllätyksiä. Prosessimuutoksia tulee kuitenkin väistämättä, kun uusitaan ja kehitetään laitteita tai menetelmiä. (7, s. 273 - 274.)

3 KONEENSUUNNITTELU

3.1 Intuiivinen luova työ

Ihmisen alitajunnassa tieto järjestäytyy oivallukseksi tarvejännitteen ja ajan vaikutuksesta. Oivalluksen synty edellyttää riittävää alitajuista tietoa joko aikaisemmin koottua tai tarvittavassa määrässä lisättyä. (7, s. 22.)

Heureka-tapahtuma on alitajunnan aiheuttama oivallus, joka tulee yllättäen tietoiseen tajuntaan. Intuiivisen luovan työn metodi on sitä, että yritetään tietoisesti saada aikaan heurekailmiölle suotuisa tilanne. (7, s. 22 - 23.)

3.1.1 Rikkianalyysi

Rakenne muodostuu osista, joilla on funktionsa, materiaalinsa, valmistustapsansa, liittymismahdollisuutensa, lujuutensa, painonsa, värinsä ja niin edelleen. Näitä ominaisuuksia on käytetty rakenteessa ainoastaan osittain. Kuinka niitä on käytetty ja miksi juuri tällainen osa on valittu käyttöön. Tätä kaikkea selvitetään rikkianalyysin avulla ja yritetään päästä vähitellen rakenteen suunnittelijan ajatusten sisälle. (7, s. 32.)

3.1.2 Intuiivisen luovan työn prosessi

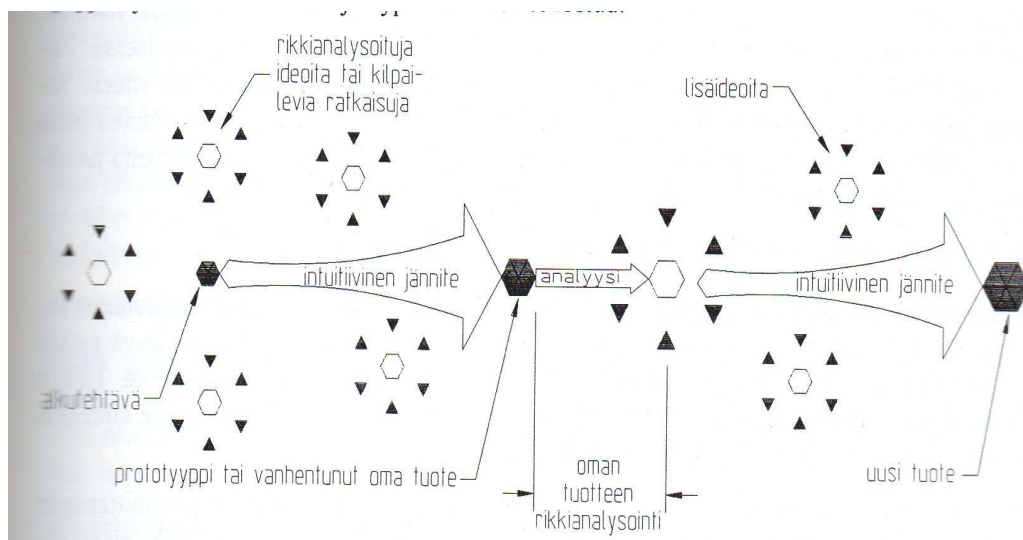
Ensimmäinen vaihe päättyy johonkin ratkaisuun. Mikäli tehtävän uutuusaste on alhainen, kilpailutilanteen takia ei tarvita kovin pitkälle kypsytettyä tuotetta, jolloin koko prosessi voidaan saattaa päätökseen tässä vaiheessa. Jos tarvitaan korkeampaa kilpailukykyä ja viimeistelytasoa, ratkaisu onkin prototyyppi, jonka testaus aloitetaan. Testausten jälkeen suoritetaan tulosten analysointi ja palautetaan prototyyppi varsinaisen tuotantomallin suunnittelua varten. (7, s. 33.)

Parempi tulos saavutetaan todennäköisesti, jos testauksen jälkeen suoritetaan koko prototyypille rikkianalyysi. On taas palattava alkutekijöihin ja tar-

kasteltava erilaisia mahdollisuuksia. Prototyyppien luominen ja koeajo ovat opettaneet meitä huomattavasti, joten edellytykset paremman ratkaisun aikaansaamiseksi ovat olemassa. Oman työn rikkianalyysi on vaikeaa, ja sitä helpottaa prototyypin epäonnistuminen. Näin ollen epäonnistunut prototyyppi on yleensä lopulta arvokkaampi kuin onnistunut. (7, s. 33 - 34.)

Uusi suunnitteluprosessi aloitetaan prototyypin pohjalta. Tässä vaiheessa rikkianalyysin palaset muodostavat perustan heurististen pisteiden verkolle, jota täydennetään lisäideoilla ja tiedoilla käyttöolosuhteista. Lopputulos on entistä parempi ja kypsempi. (7, s. 34.)

Valtaosa teollisesta suunnittelusta aloitetaan jo olemassa olevasta tuotteesta, joka on vanhentunut ja menettänyt kilpailukykynsä. Tällöin se sijoittuu kuvassa 5 prototyypin paikalle. Jos tuote osoittautuu niin vanhaksi, että sen perusteita ei enää tunneta, joudutaan lähes yhtä perusteelliseen työhön kuin uuden tehtävän kohdalta, eli kaavion alkuun. (7, s. 34.)



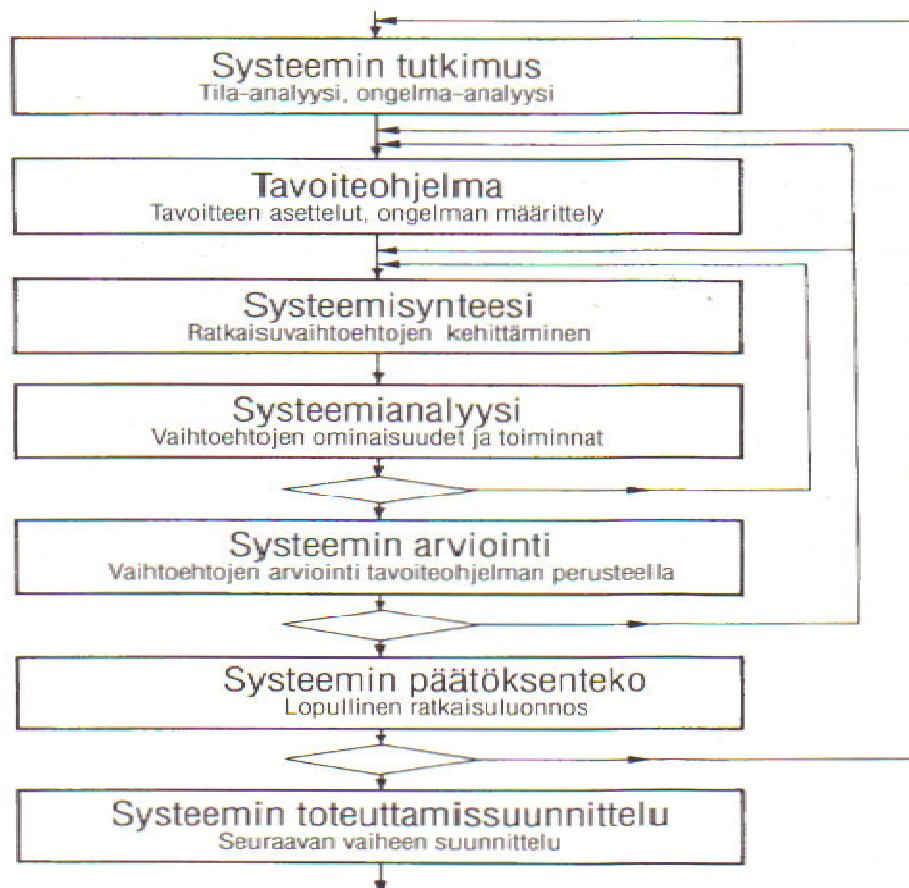
KUVA 5. Intuitiivisen luovan työn metodin prosessi (7, s. 33)

3.2 Systeemitekniikan etenemisaskeleet

Eteneminen alkaa informaation keräämisellä suunniteltua systeemiä varten. Yleisesti tätä vaihetta kutsutaan ongelma-analyysiksi. Tarkoituksena on

määritellä lähtökohta systeemin kehittelylle. Toisessa askeleessa laaditaan tavoiteohjelma, jossa määritellään tavoitteet luotavalle systeemille. Seuraavassa vaiheessa eli systeemisynteesissä kehitetään ratkaisuvaihtoehtoja aikaisemmin saadun informaation perusteella. Tämän vaiheen tavoitteena on tuottaa mahdollisimman paljon ratkaisu- ja hahmotusvaihtoehtoja (kuva 6). (8, s. 14.)

Seuraavassa vaiheessa vertaillaan ratkaisuvaihtoehtoja tehtävänasettelun vaatimuksiin. Tässä vaiheessa on tärkeää tuntea ratkaisuvaihtoehtojen ominaisuudet ja siten pystyä päättämään parhaaseen ratkaisuun arvostelemalla. (8, s. 14.)

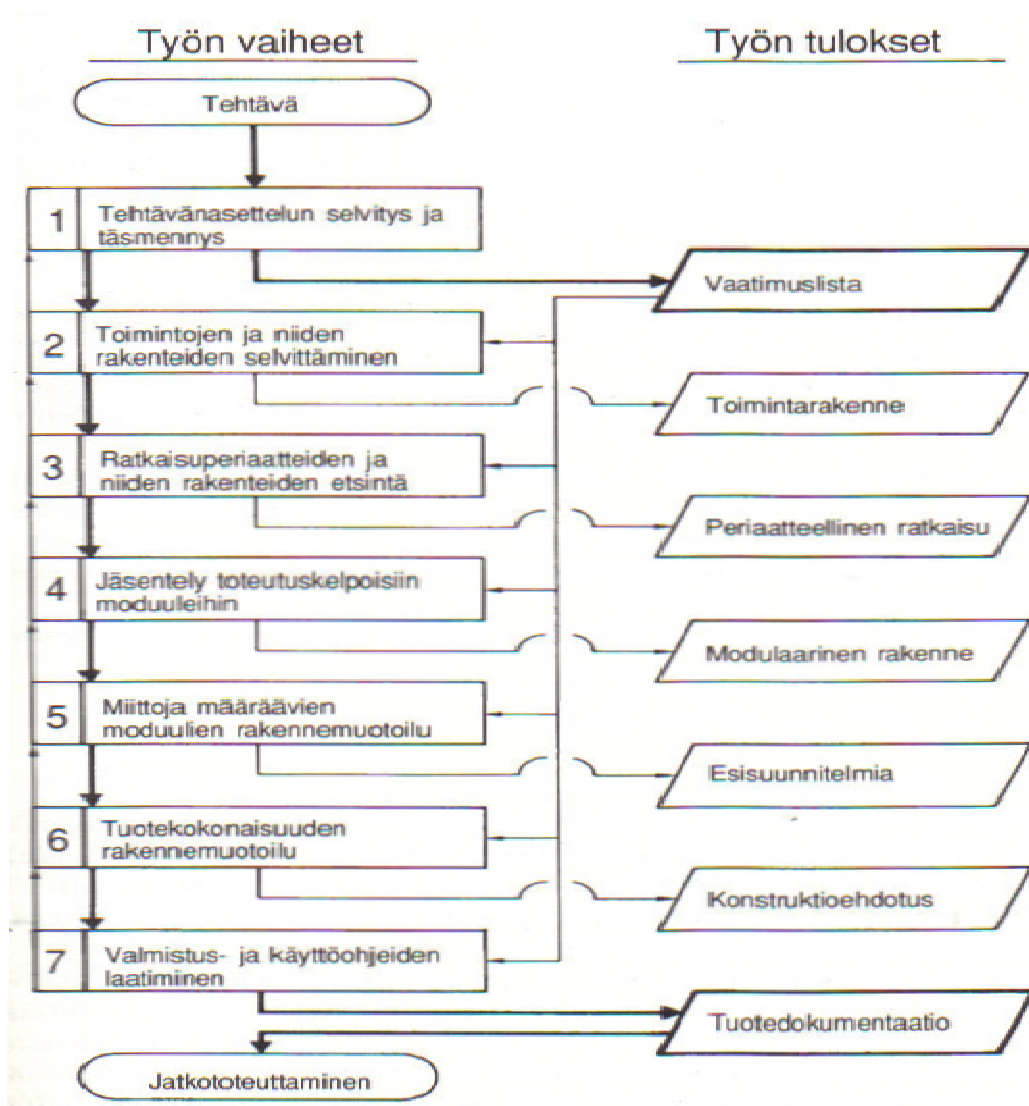


KUVA 6. Systemitekniiikan etenemisaskeleet (8, s. 15)

3.3 Konstruoinnin työkulku

Kun kuvan 7 työaskeleet yhdistetään tarvittaviin päätösaskeleisiin ja otetaan huomioon tavanomaiset luonnostelun, kehittelyn ja viimeistelyn konkretisointivaiheet, saadaan aikaan karkea jako seuraavine päävaiheineen (8, s. 48):

- tehtävän selvittely: informaation vahvistaminen
- luonnostelu: periaatteen vahvistaminen
- kehittäminen: rakennemuodon vahvistaminen
- viimeistely: valmistustekniikan vahvistaminen.



KUVA 7. Kehitystyön ja konstruoinnin yleinen kulku (8, s. 47)

3.3.1 Tehtävänasettelun selvitys

Tehtävänasettelun selvitys tarkoittaa informaation hankintaa, joka liittyy ratkaisun vaatimuksiin, yleisiin reunaehtoihin ja niiden merkityksiin. Tämä tehtävä johtaa vaatimuslistan laatimiseen, jossa huomioidaan konstruktiivisen kehittämisen tarve ja sen mukaiset suunniteltavat seuraavat työaskeleet. Tämä asiakirja, jota pidetään aina ajan tasalla, on pohja luonnostelulle ja muille tuleville työaskeleille. Tehtävänasettelun selvityksen tuloksena on informaation kokoaminen vaatimuslistan muodossa. (8, s. 48.)

3.3.2 Luonnostelu

Luonnostelu on osa konstruointia, jossa määritetään perusteellinen ratkaisu tehtävän selvittelyn jälkeen. Luonnostelu voidaan kutsua myös ratkaisun periaatteen vahvistamiseksi. Useissa tapauksissa periaatteen vahvistamista voidaan arvostella vasta, kun se saa konkreettisemmat muodot. Tämä edellyttää täsmällisempää kuvaa tarvittavista työaineksista, kuten alustavaa peruspiirustusta, mittoja ja teknisten mahdollisuuksien huomioonottamista. Yleensä vasta tällä tavalla saadaan arvosteltavaksi tarkoitettava ratkaisuperiaate, jossa on otettu huomioon oleellinen tavoitteenasettelusta ja rajoittavista ehdoista. (8, s. 48 - 49.)

Ratkaisuperiaate voidaan esittää monin eri tavoin. Esittäminen voi olla pelkkä lohkoakaavio, kytkentäkaava tai kulkukaavio. Joissakin tapauksissa vaapakätinen luonnos tai karkeamittakaavainen piirustus voi riittää. (8, s. 49.)

Seuraavaksi luonnokset pitää arvostella. Luonnokset, jotka eivät täytä vaatimuslistan vaatimuksia, hylätään ja muut arvostellaan sovittujen kriteerien mukaisesti. Tässä vaiheessa arvostellaan lähinnä teknisten näkökohtien mukaan, minkä ohessa taloudellisiakin näkökohtia otetaan jo karkeasti huomioon. Arvostelun perusteella ratkaistaan, mitä ratkaisua lähdetään toteuttamaan. Usein on myös niin, että monet ratkaisuluonnokset voivat näyttää samanarvoisilta, joten lopullinen ratkaisu selviää vasta pidemmälle viedyn konkretisoinnin jälkeen. (8, s. 49.)

3.3.3 Kehittely

Kehittely on se osa konstruointia, jossa periaatteellisesta ratkaisusta suunnitellaan eteenpäin teknisen tuotteen kokoonpanorakenne täydellisesti ja yksikäsitteisesti teknisten ja taloudellisten näkökohtien mukaan. Kehittelyä voidaan siten kutsua myös ratkaisun rakennemuodon vahvistamiseksi. (8, s. 49.)

Kehitysvaiheen jälkeen suoritetaan teknis-taloudellinen arvostelu. Usein käy niin, että arvostelun jälkeen jokin muunnelma näyttää selvästi edullisemmalta, mutta sitäkin voidaan vielä parantaa kokonaisuudessaan huonommilla vaikuttavien ehdotusten osaratkaisuilla tai ideoilla. Tämän jälkeen päästään lopulliseen ratkaisuun, ja voidaan tehdä päätös lopullisen kokonaiskehittelyn rakennemuotoilusta. Lopullisessa kokonaiskehittelmässä on tarkistettu toiminnot, kestävyys, tilankäytön sopivuus ja niin edelleen. Tässä vaiheessa on myös pystyttävä osoittamaan, että kustannuksia koskevat vaatimukset voidaan täyttää. Vasta tämän jälkeen voidaan siirtyä viimeistelyvaiheeseen. (8, s. 49.)

3.3.4 Viimeistely

Viimeistely on osa konstruointia, jossa teknisen rakennelman kokoonpanorakennetta täydennetään lopullisilla muodoilla, yksittäisosien mitoituksilla, pinnalaatua koskevilla määräyksillä, työainesten määrityksillä sekä valmistusmahdollisuuksien ja kustannusten tarkastuksilla. Nyt laaditaan sitovat piirustukset ja asiakirjat suunnitelman toteuttamista varten. Tämän vaiheen lopputuloksena syntyy valmistustekninen määrittely. (8, s. 50.)

Viimeistelyvaiheessa vielä alkaa usein virheiden korjailu, mikä johtaa aikaisempien työvaiheiden uudelleen läpikäymiseen. Tämä ei niinkään vaikuta kokonaisratkaisuun, vaan lähinnä yksityiskohtiin. Viimeistelyvaiheessa on kiinnitettävä huomiota erityisesti periaatteen, rakennemuotoilun ja valmistuksen optimointiin, koska ne ovat vuorovaikutuksissa toisiinsa nähden. (8, s. 50.)

3.4 Systemaattinen metodi

3.4.1 Vaatimuslistan kehittäminen

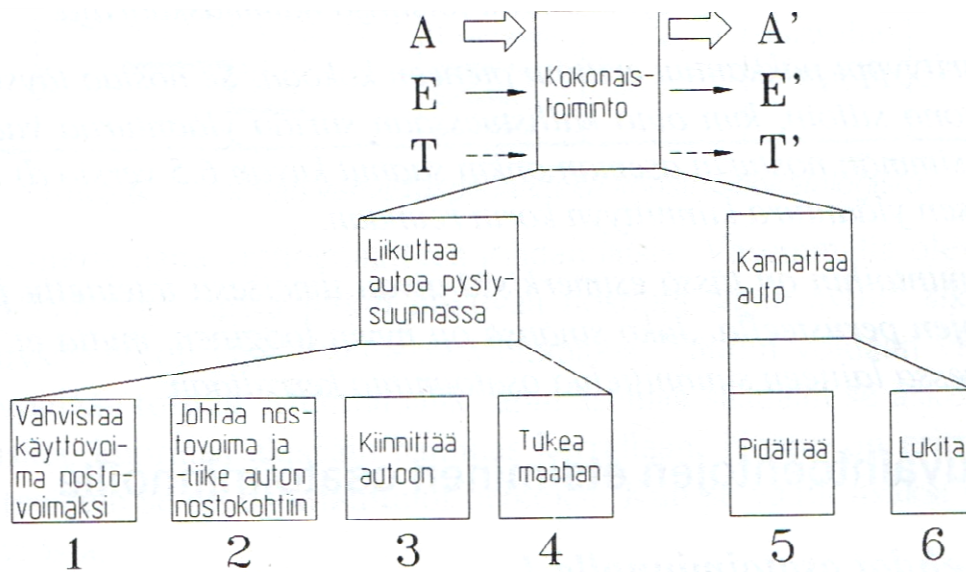
Systemaattisessa metodissa asiaan perehtymisen jälkeen laaditaan vaatimuslista. Se on luettelo kaikista vaatimuksista ja toivomuksista, jotka halutaan toteuttaa. Samalla se on perusta myöhemmässä vaiheessa suoritettavalle arvostelulle ja päätöksenteolle. Vaatimukset luokitellaan kolmeen ryhmään: Kiinteät vaatimukset (KV) on pystyttävä täyttämään kaikissa tilanteissa. Vähimmäisvaatimukset (VV) on täytettävä tiettyyn arvoon saakka. Toivomukset (T) huomioidaan mahdollisuuksien mukaan, jolloin sallitaan tietty lisäkustannus. (7, s. 80.)

Systemaattinen metodi rakentuu juuri vaatimuslistan pohjalta. Listaan yrittään kerätä kaikki ne piirteet, jotka tulisi toteuttaa suunnittelun avulla. Vaatimuslista on myös tärkeä väline suuren suunnitteluryhmän väliselle vuorovaikutukselle. Listan tehtävä on samalle varmistaa suunnittelun tuloksen muotoutuminen tavoitteiden mukaiseksi. (7, s. 80.)

Vaatimuslistan haittapuolia yritetään estää laatimalla selkeä määrittely tehtävälle. Se laaditaan vaatimuslistan pohjalta pelkistämällä vaatimuksista olennainen sisältö ja unohtamalla toivomukset. Ongelman muotoilussa tähdätään tehtävän ytimen tiedostamiseen ja vältetään mahdollisuuksien mukaan erilaisia rajoituksia. (7, s. 82.)

3.4.2 Toimintojen käsittely

Seuraavassa vaiheessa kokonaistoiminto jaetaan osatoimintoihin (kuva 8), minkä jälkeen etsitään siitä edelleen ratkaisuja osatoiminnoille. Tämän jälkeen suoritetaan osatoimintojen ratkaisujen yhdistäminen (kuva 9). Siinä ollaan vaiheessa, jossa osatoiminnot on käsitelty ja niille on määritelty ratkaisuvaihtoehdot. Saadut tulokset yhdistetään jäsentelykaavioksi eli niin sanotuksi morfologiseksi laatikoksi (kuva 9). (7, s. 83 - 89.)



KUVA 8. Autonosturin kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin (7, s. 83)

Ratkaisuelementti / Osa-toiminto	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Vahvistaa käyttövoima nostovoimaksi	ruuvi ja mutteri	askelvipu	hammaspyörästö	hammaslanko	vakiopyörästö	telapyörä	hydrautisylinteri	
2 Johtaa nostovoima ja -liike auton nostokohtiin								
3 Kiinnittää autoon	pohjaan nojaavaal-tyyny	vierintäasteel-pyöriin	pyörän-mutterien alle					
4 Tukea maahan	tuentapisteitä yksi	tuentapisteitä kaksi	tuentapisteitä kolme	tuentapisteitä neljä				
5 Pidattaa	käyttövoima vahvistava on itsepidättävä	joysi	-rullakytin -kiertokilakytin -ne					vastaventili hydraulisessa laitteessa
6 Lukita	maahan nojaava tuki	sokkalappi	lasketaan auto erillisten pukkien varaan					
	lukitaan muutosulkeisesti nostovoiman johtava mekanismi							
	V1		V2		V3			

KUVA 9. Kolmen parhaan yhdistelmän sijainti jäsentelykaaviossa (7, s. 89)

Jäsentelykaaviossa osafunktiot ja niiden ratkaisut esitetään omilla riveillään. Rivinumero kertoo myös osafunktion numeron. Kaikille osafunktioille ei ole olemassa yhtä montaa ratkaisuvaihtoehtoa, joten rivien loppupäässä saattaa olla tyhjää. Alkuvaiheessa kaaviosta kannattaa poistaa turhat vaihtoehdot,

jotka eivät ole yhdistettävissä. Lopuksi valitaan esimerkiksi kolme parasta yhdistelmää jäsentelykaaviosta ja luodaan valintataulukko (kuva 10), johon on koottu vaatimuslistan tärkeimmät kriteerit, joita vertaillaan jäsentelykaavion yhdistelmiin. (7, s. 89 - 91.)

Ratkaisuvalinnat		Valintakriteerit:						Päätökset:	
		(+) kyllä (-) ei (?) tiedon puute (!) vaatimustista tarkistettava						(+) kehitetään eteenpäin (-) karsitaan (?) hankitaan lisää tietoa (!) muutetaan vaatimuslistaa	
		Tehtävän asetusta vastaava							
		Toteutuskelpoisuus hyvä							
		Täyttää kiinteät vaatimukset							
		Kustannukset sallituissa rajoissa							
		Välittömät turvallisuusvaatimukset täyttävä							
		Helppo käyttää							
		Huomautukset, perustelut							
V1		+	+	+	?	+	+		+
V2		+	+	+	?	+	+		+
V3		+	+	+	+	+	+		+
V4		+	?	+	+	?	-	Nostovaihe vaikea ja aikaa vievä	-
V5		+	-	+	?	+	+	Tarvittava nostovoima alkuvaiheessa suuri (-> järeä rakenne -> tilaongelmia)	-
V6		+	-	+	-	+	+		-

KUVA 10. Autonosturin valintataulukko (7, s. 90)

Seuraavassa vaiheessa saatetaan ratkaisuyhdistelmät konkreettisempaan muotoon, koska edellä suoritettu valinta on karkea ja tapahtuu kovin mustavalkoisin perustein. Tämä korjataan luonnostelemalla kullekin vaihtoehdolle hieman tarkempi rakenne, joilla varmistetaan valintojen oikeellisuus. Lopullinen valinta tapahtuu vaatimuslistalta johdettujen tarkempien kriteerien avulla. Ratkaisujen arvo voidaan laskea painottomana tai painollisena painoker-toimia käyttäen. Ideaaliratkaisu saa suurimman pistemäärän, mutta täydellisessä laskennassa pitää laskea erikseen taloudellinen arvo ja tekni-nen arvo. (7, s. 91 - 93.)

4 SUUNNITTELUPROSESSI

4.1 Sinkin tuotantoprosessi Boliden Kokkola Oy:ssä

Pasutus

Tuotantoprosessin ensimmäisessä vaiheessa sinkkirikaste syötetään pasutusuuniin, jossa sinkkirikaste poltetaan 950 °C:ssa. Pasutuksessa syntyvä rikkidioksidipitoinen kaasu jäädytetään ja sen sisältämä lämpö otetaan talteen höyrynä. Jäähtynyt rikkidioksidikaasu hyödynnetään rikkihapon raaka-aineena. Rikkidioksidikaasusta erotetaan myös puhdas elohopea, joka jalostetaan myyntituotteeksi.

Liutus

Seuraavaksi pasutettaessa syntynyt pasute ja suoraliuotusmenetelmällä käsiteltävä rikaste liuotetaan rikkihappoliuoksessa, jota saadaan elektrolyysistä niin sanottuna paluuhappona. Rauta saostetaan ja suodatetaan pois prosessista jarosiittina. Liuotuksessa syntyy sinkkisulfaattiliuosta.

Liuospuhdistus

Liuotuksen jälkeen sinkkisulfaattiliuoksessa on pieniä määriä sinkin mukana liuenneita epäpuhtauksia, jotka täytyy poistaa liuoksesta ennen elektrolyysiä. Puhdistus tapahtuu kolmivaiheisella prosessilla. Puhdistuksen kolmannen vaiheen jälkeen sinkkisulfaattiliuos sisältää sinkkiä noin 150 g/l. Liuospuhdistuksen jälkeen puhdas liuos jäädytetään ja pumpataan elektrolyysiin.

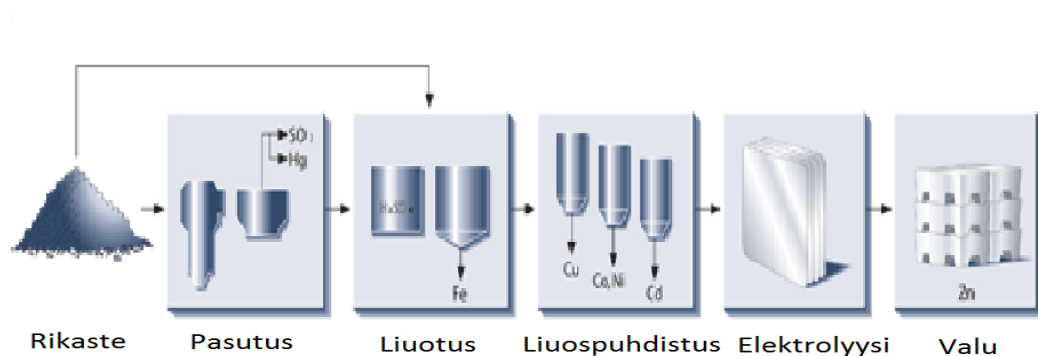
Elektrolyysi

Elektrolyysissä metallinen sinkki saostuu liuoksesta alumiinilevyjen eli niin sanottujen katodien pinnalle sähkövirran avulla. Sinkkilevyjen annetaan kasvaa katodien pinnalla noin 36 tuntia. Tämän jälkeen katodit poistetaan liu-

oksesta ja tilalle vaihdetaan uudet katodit. Sinkkilevyt irrotetaan katodien pinnalta automaattisten irrotuskoneiden avulla.

Valu

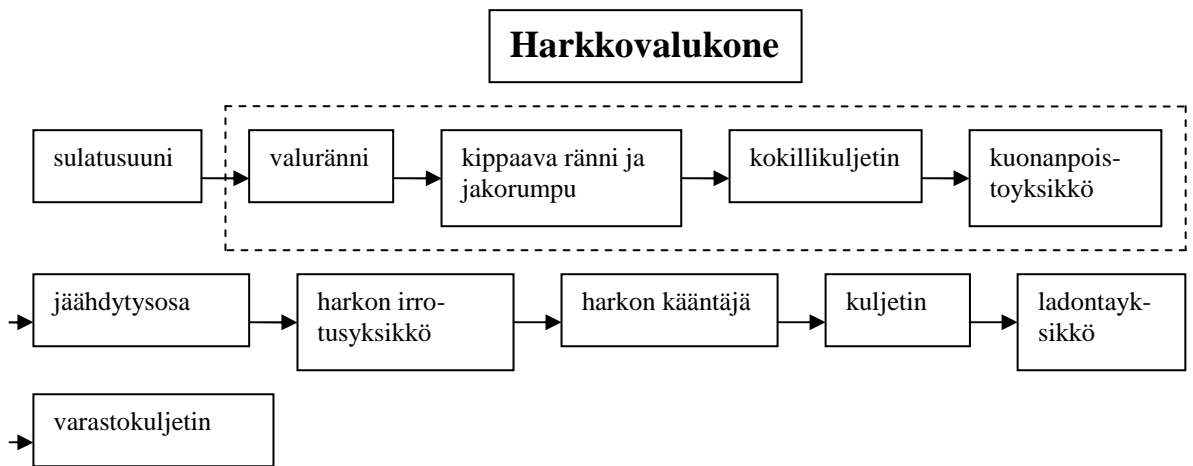
Elektrolyysistä saatavat sinkkilevyt sulatetaan valimon induktiouunissa. Sulatettu sinkki valetaan joko 25 kilon harkoiksi tai 2 000 kilon sinkkijumboiksi. Sinkkijumboihin seostetaan alumiinia tai muita metalleja asiakkaiden toiveiden mukaisesti. Valun jälkeen sinkki on valmis myytäväksi tuotteeksi. Sinkin tuotantoprosessi on esitetty vaiheittain kuvassa 11.



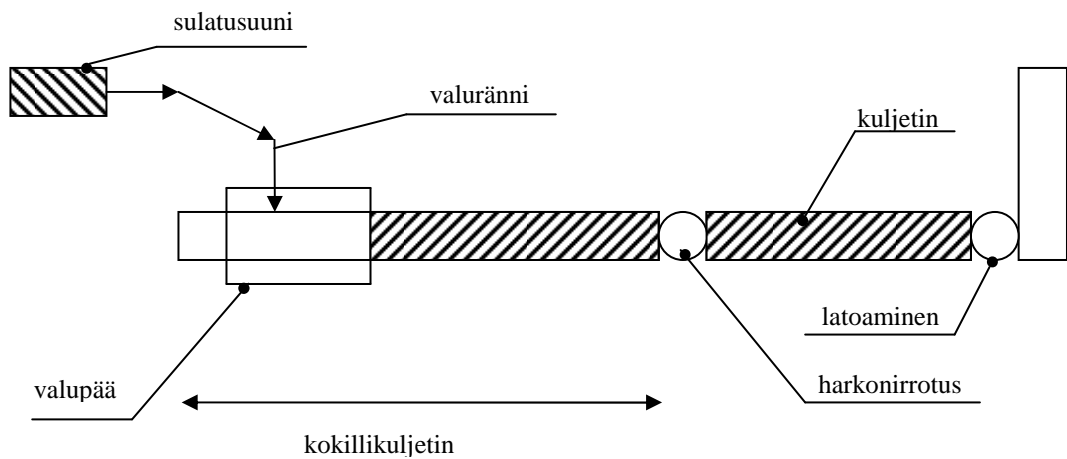
KUVA 11. Sinkin tuotantoprosessi

4.2 Harkkovalukoneen nykyinen rakenne

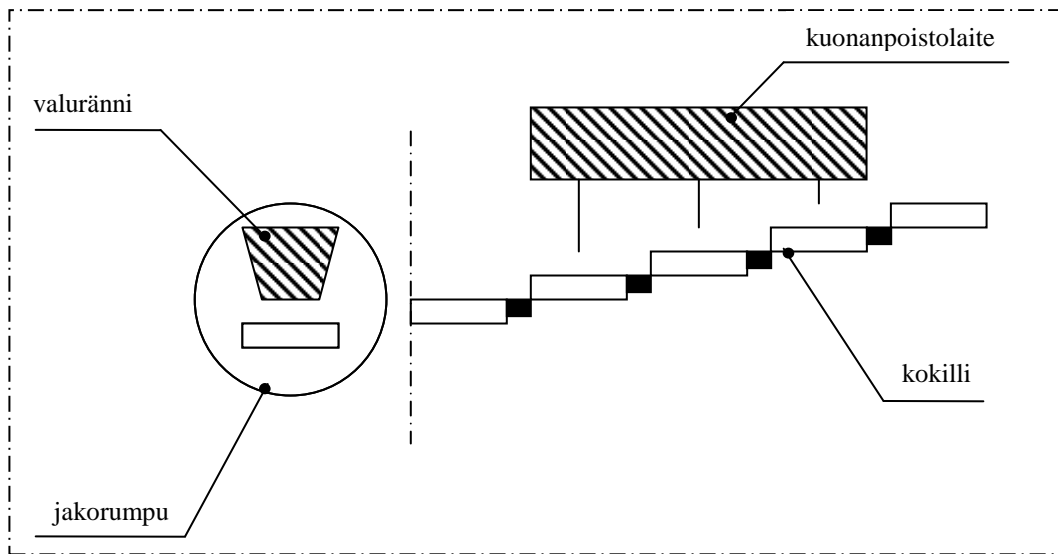
Sula sinkki pumpataan sulatusuunilta harkkovalukoneelle, jossa se ohjataan kokilleihin. Kun sula on jähmettynyt kokillissa, se irrotetaan. Näin on syntynyt 25 kg sinkkiharkko, joka kulkeutuu kuljettimien avulla pinoamispisteeseen, josta harkkopinot viedään pois. Harkkovalukoneen prosessi on kaavioitu kuvassa 12 ja esitetty ylhäältäpäin kuvassa 13. Lisäksi kuva 14 esittää harkkovalukoneen valupään sivultapäin.



KUVA 12. Harkkovalukoneen nykyinen rakenne (valupää katkoviivoilla)



KUVA 13. Harkkovalukone ylhäältäpäin



KUVA 14. Harkkovalukoneen valupää sivultapäin

Seuraavassa on esitetty harkkovalukoneen nykyinen toiminta yksityiskohtaisesti:

- 1) Sulatusuuni sulattaa sinkkilevyt noin 470 - 530 °C lämpötilassa, jonka jälkeen sula pumpataan valumaan valuränniä pitkin.
- 2) Sula valuu valuränniä pitkin sulatusuunilta harkkovalukoneelle.
- 3) Kippaava ränni ja jakorumpu ohjaavat sulan valurännistä kokillikuljettimelle liikkuviin kokilleihin, jakorummun estäessä sulan valumisen kokillien välisiin osiin.
- 4) Kokillikuljettimella kokillit on kiinnitetty lievästi yläviistoon liikkuvalla kuljettimelle.
- 5) Kun kokilli on täyttynyt sulalla sinkillä, sen pinnalle muodostuu kuona-ainetta (syntyy sulan reagoidessa hapen kanssa). Kuona poistetaan kokillikuljettimen mukana liikkuvalla kuonanpoistolaiteella. Laite poistaa kuonan kolmesta kokillista kerrallaan ja palaa odottamaan

seuraavan kolmen täyttymistä. Laite toimii paineilmalla ja kuonan se poistaa kokillista lastojen avulla.

- 6) Jäähdytysosa jäähdyttää valetut kappaleet kiinteiksi paineilman ja vesisuihkujen avulla.
- 7) Harkon irrotusyksikkö irrottaa valukappaleet kokillikuljettimesta mekaanisten vasaroiden avulla seuraavalle kuljettimelle. Harkot irtoavat kuitenkin väärinpäin kokillikuljettimen rakenteen johdosta.
- 8) Harkon kääntäjä kääntää harkot oikein päin.
- 9) Kuljetin kuljettaa harkot ladontayksikölle.
- 10) Ladontayksikössä ladontarobotti kokoaa harkoista nipun, joka sisältää 40 kpl harkkoja kymmenessä kerroksessa.
- 11) Varastokuljetin kuljettaa harkkoniput trukkien saataville.

4.3 Ongelmat harkkovalukoneella

Ongelmia harkkovalukoneella aiheuttavat liian suuret harkot, minkä seurauksena harkot jäävät jumiin irrotusyksikössä tai harkon kääntäjällä. Sulan roiskejäljet harkkojen reunoilla aiheuttavat myös ongelmia. Kuonanpoistolaitteen lastat saattavat hajota tai laitteen letkut ja putket vuotaa ja aiheuttaa häiriöitä. Lisäksi kuonanpoiston laatu ei ole aina parasta mahdollista. Ongelmia aiheuttaa myös jakorumpu, johon tarttuu paljon sulaa. Yleinen ongelma on sulan roiskeet harkkovalukoneen ympäristössä. Kyseisistä ongelmista saattaa seurata tuotannon keskeytyminen ja häiriön korjaamiseen voi kulua aikaa kymmenistä minuuteista tunteihin.

4.4 Ongelmien syitä harkkovalukoneella

Sula sinkki valuu liian suurella paineella valurännistä kokillin pohjaan ja jakorummun siipeen, josta se roiskuu valukoneen ympäristöön ja kokillin reu-

naan aiheuttaen suurta sotkua, joka on siivottava tuotannon jatkuvuuden kannalta. Kuonanpoistolaitteen lastat jättävät aina vähän kuonaa sulan pinnalle aiheuttaen huonoa pinnanlaatua harkoille.

4.5 Ongelmien ehkäisy uuden laitteen avulla

Työn tavoite oli suunnitella harkkovalukoneelle uusi sulan sinkin syöttölaite valuränniltä kokilleihin. Tämän takia työn suunnittelu rajoittui harkkovalukoneen valupäässä tapahtuvaan toimintaan ja muut osat jäivät ennalleen.

Uuden syöttölaitteen tavoitteena oli valaa sula sinkki valuränniltä kokilleihin siten, että toiminta ei aiheuta roiskeita ja kuonan muodostuminen olisi mahdollisimman vähäistä. Uuden syöttölaitteen avulla harkkovalukoneelta pystyttäisiin poistamaan samalla kolme osakokonaisuutta: kuonanpoistoyksikkö sekä kippaavan ränni ja jakorumpu, joten häiriöitä aiheuttavia osia saataisiin samalla eliminoidua koneelta.

Työssä käytettiin pohjana mallia Boliden Oddan yksiköstä Norjasta. Työ tehtiin esisuunnitteluna, eli tarkasteltiin ja suunniteltiin, kuinka Oddan mallia voitiin soveltaa Boliden Kokkolan harkkovalukoneeseen. Mallin perusajatuksena oli kelkkamainen sulan syöttölaite, joka seuraa kokillikuljettimen mukana ja kippaa sulan kolmeen kokilliin kerrallaan. Kelkka sisälsi valukaukalon, johon sula sinkki valuu valurännistä jatkuvana.

Uuden laitteen tavoite oli kokonaisuudessaan vähentää sulan roiskeiden määrää, poistaa kolme toimilaitetta sekä vähentää kuonan määrää harkoissa parantaen tuotteen pinnanlaatua. Näin saataisiin eliminoidua tuotannolle häiriöitä aiheuttavia tekijöitä ja parempi lopputuote.

Työn tuloksena oli tehdä laitteesta piirustukset mittoineen. Laitteen piirustukset tehtiin irrallisina, mutta kokonaisuuteen sovitettavissa. Sulan kuumuutta ei huomioitu kaikissa tapauksissa monimutkaisuutensa vuoksi. Laitteen materiaalina käytettiin oletusmateriaalia ja laitteeseen kohdistuvat rasitukset rajoittuivat sulan ja laitteen rakenteen painoon. Suunnittelu kohdistui erityisesti

laitteen rakenteeseen ja sulan annosteluun liittyviin seikkoihin. Myöskään hydraulikka ja pneumatiikkajärjestelmiä ei tarvinnut suunnitella. Laitteen toimintaperiaatteen yleinen kuvaus oli riittävä tässä työssä.

5 SULAN SINKINSYÖTTÖLAITTEEN SUUNNITTELU

5.1 Suunnittelun rakenne

Ensimmäiseksi tehtiin sulan syöttölaitteelle vaatimuslista ja jaettiin laitteeseen liittyvät toiminnot ja rakenteet osiin. Sen jälkeen suunniteltiin ja mitoitettiin valukaukalolle perusrakenne. Tämän jälkeen mitoitettiin rännit ja laitteen kippaamisen kaltevuus.

Seuraavassa vaiheessa laskettiin sulan virtausnopeuksia valukaukalosta koksilleihin ja suunniteltiin sulan virtausmäärien tasaamista laitteen ränneille. Tämän jälkeen laskettiin laitteelle massa ja suunniteltiin laitteen toimintaperiaatetta. Seuraavaksi laskettiin laitteen sivuttaissiirtoihin tarvittavia voimia ja kiihtyvyyksiä. Samat laskut suoritettiin tämän jälkeen laitteen kallistamiselle ja nostamiselle.

5.2 Vaatimuslista

Kiinteät vaatimukset (KV) olivat seuraavat:

- sula ei aiheuta roiskeita
- kuonan syntyminen on mahdollisimman vähäistä
- laitteen rakenne on mitoiltaan sopiva
- laite on turvallinen
- laite on kuumuutta kestävä
- sula ei pääse jähmettymään
- sulan annostelu on tasaista.

Vähimmäisvaatimukset (VV) olivat seuraavat:

- laite on mahdollisimman yksinkertainen
- laitteella on kaksi ohjaustapaa eli puoliautomaattiajo ja automaattinen ajo

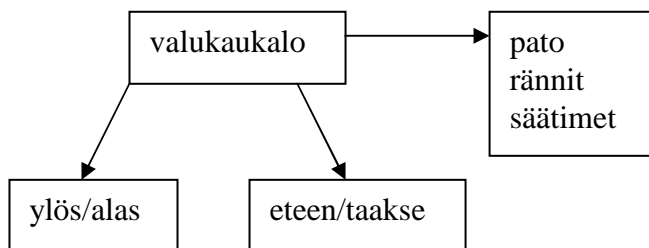
- laitteen liikkuvuus on sopiva rakenteen ja valuvauhdin kannalta
- laitteen valukaukalo on helposti puhdistettavissa
- sulan virtauspainetta pitää pystyä rajoittamaan.

Toivomukset (T) olivat seuraavat:

- sula on kipattavissa pois laitteesta
- laitteessa on lämmitettäviä osia
- laite pystyisi liikkumaan kokillikuljettimen mukana.

5.3 Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin

Kokonaistoiminto jakaantui kolmeen osaan. Valukaukalo oli yksi iso osakokonaisuus itsessään ja se koostui kolmesta eri osasta. Valukaukalo koostui kaukalo-osasta, kaukalossa olevasta padosta, jonka alta sula virtaa, sekä kokilleihin kohdistuvista kolmesta valurännistä ja sulan virtausmäärien säätimistä. Kaksi varsinaista osatoimintoa olivat laitteen liikuttaminen eteen ja taakse, sekä laitteen kippaaminen alas ja nostaminen ylös (kuva 15).



KUVA 15. Kokonaistoiminnon jako osiin

5.4 Valukaukalon suunnittelu

Valukaukalon kaukalo-osa valittiin suorakulmaiseksi seuraavin perustein:

- yksinkertainen rakenne
- rakenne mahdollistaa suuren tilavuuden
- laitteen liikkuessa eteen ja taakse, sulan on osuttava jatkuvana virtana kaukalo-osaan, minkä suuri leveys mahdollistaa

- suorakulmaisuuuden ansiosta kolme ränniä on helposti yhdistettävissä kaukalo-osaan
- kaukalo on helposti puhdistettavissa sulasta laitteen pysähtyessä.

Pato-osa, jonka alta sula virtaa, oli tarkoitus pienentää kuonan pääsyä kokilleihin ja sulan massan aiheuttamaa painetta laitteen kipatessa sulan kokilleihin. Pato valittiin myös suorakulmaiseksi yksinkertaisuuden ja tukevan kiinnityksen takia. Pato oli myös vaihdettava. Kiinnitys tapahtui kaukalon reunoilla, molemmilla puolilla oleviin uriin.

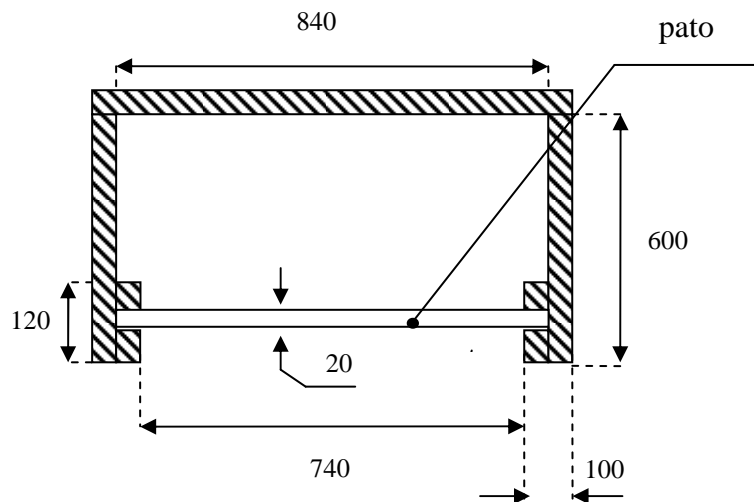
Kolme ränniä, jotka ohjaavat kippausasennossa sulan valukaukalosta kolmeen peräkkäiseen kokilliin valittiin avonaisiksi ja muodoltaan kapeneviksi seuraavin perustein:

- rännit on helppo puhdistaa
- rännien alkupäät on helposti yhdistettävissä kaukaloon ja toisiinsa
- säätimet on myös helposti yhdistettävissä ja asetettavissa ränneihin
- harkkovalukoneen mitat rajoittavat rännien mittoja.

5.5 Valukaukalon mitoitus

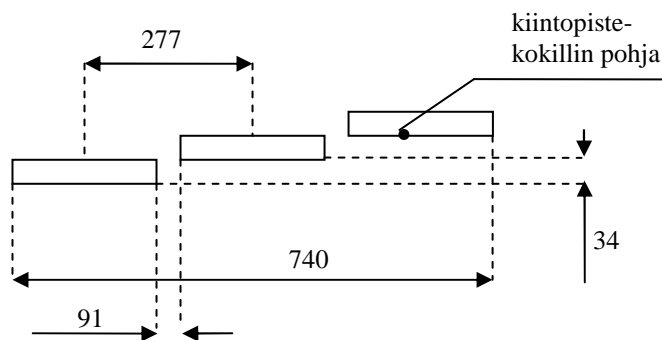
Nykyisen harkkovalukoneen mitat rajoittivat laitteen suunnittelua paljon, koska kokillikuljetin tuli pysymään ennallaan ja sulatusuunilta suunniteltavalle laitteelle tulevan valurännin korkeus lattiatasosta oli tietyn suuruinen. Nämä seikat muodostivat laitteelle leveys- ja korkeusrajoitteita. Sulatusuunilta tulevan valurännin reititystä voitiin kuitenkin muuttaa tarvittaessa.

Ensimmäiseksi mitoitettiin valukaukalo-osa ja sen jälkeen mitoitettiin rännien alkupäitten leveys sekä pato-osa (kuva 16). Sitten mitoitettiin laitteen kippauksen kaltevuus, sekä rännien osuminen kokilleihin kippauksen yhteydessä. Tässä yhteydessä saatiin myös tarvittavat rännien pituudet.



KUVA 16. Valukaukalo ylhäältäpäin

Kokillikuljettimella sijaitsevat kolme kohdistettua kokillia määräsivät valukaukalon leveysrajoitteita. Kuvasta 17 nähdään kokillien välisiä mittoja. Kiin-
topistekokilli tarkoittaa tässä yhteydessä valukaukalon ylimmän rännin koh-
distamaa kokillia.

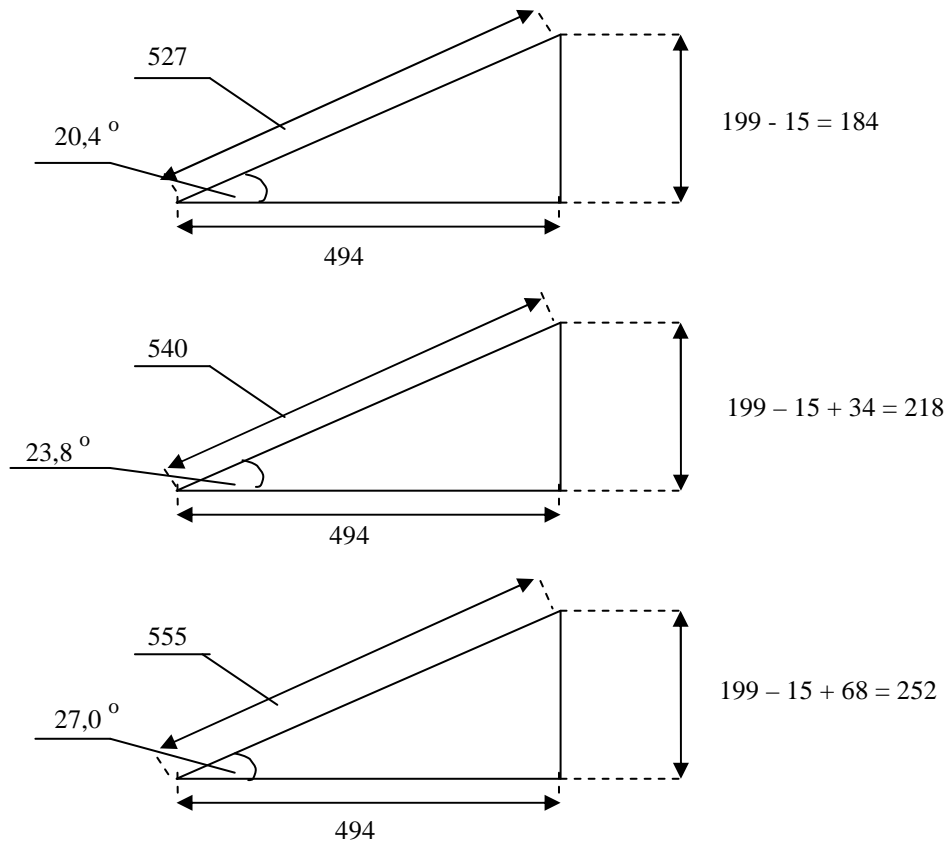


KUVA 17. Kolmen peräkkäisen kokillin välisiä mittoja sivultapäin

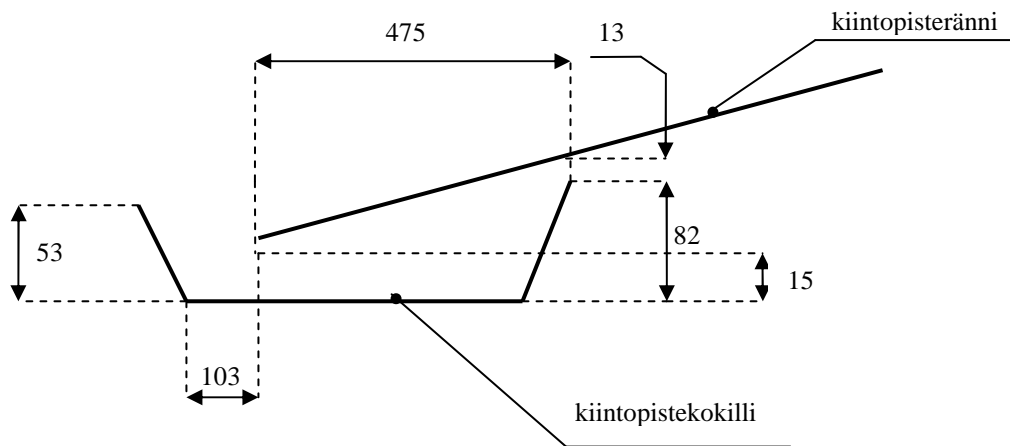
Valukaukalon leveyttä jouduttiin muuttamaan 740 mm:stä 840 mm:iin padon
lisäämisen johdosta. Täten myös kaukalon tilavuus kasvoi $95\,440\,000\text{ mm}^3$:
iin, mikä tarkoitti kaukalon kapasiteetin nousua 681,44 kg. Uusi tilavuus täytti
vaatimukset, mutta kapasiteettiä piti pienentää laitteen kokonaismassan vä-
hentämiseksi. 55 % kapasiteetistä oli riittävä eli 374,79 kg. Tämä tarkoitti

samalla sitä, että sulan pinta valukaukalossa sai nousta korkeintaan 110 mm korkeudelle valukaukalon pohjasta kaukalon keskipisteessä.

Koska kokillikuljettimen kolme valettavaa kokillia olivat eri korkeudella, oli laitteen jokaiselle kolmelle rännille laskettava erikseen kaltevuuskulma, pituus ja osuvuus kokilliin (kuva 18). Kiintopisterännin kaltevuuskulma kiintopistekokilliin nähden valittiin $9,5^\circ$ laitteen ollessa kipattuna (kuva 19). Kiintopisteränni oli myös rajoittavin tekijä pienimmän kaltevuuskulman takia. Kuvassa 18 mitta 199 mm tarkoittaa kiintopistekokillin pohjan ja valukaukalon pohjan korkeuseroa ja mitta 15 mm tarkoittaa pelivaraa.



KUVA 18. Rännien pituudet ja kaltevuudet (valakaukalon pohjan tasoon nähden)

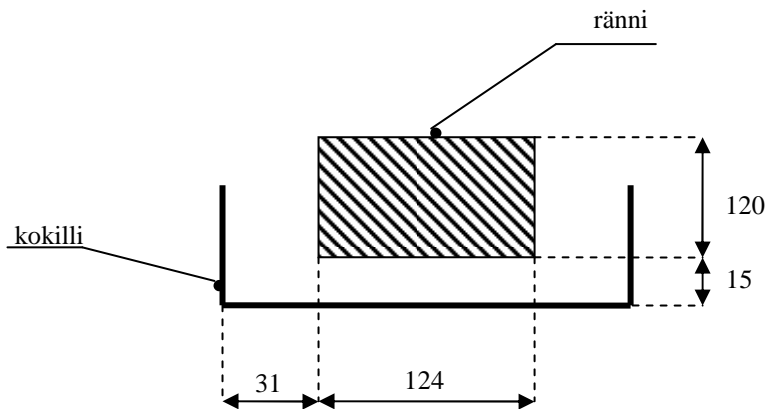


KUVA 19. Kiintopisterännin osuvuus kiintopistekokilliin sivultapäin

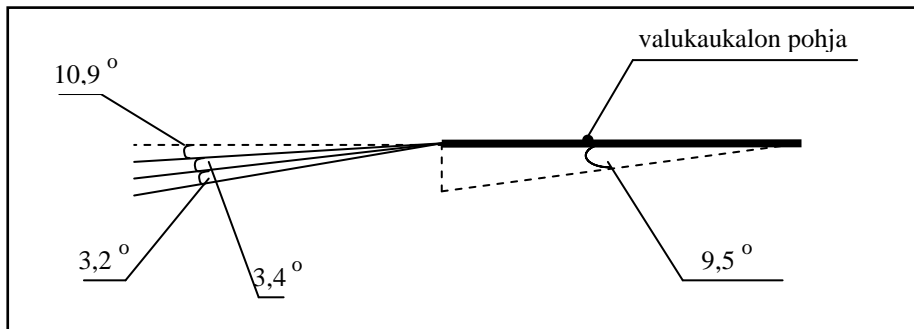
Kokillien päätyjen rakenteista aiheutui rajoituksia laitteen kallistettavuuteen. Rännin nokan ja kokillin pohjan väliin jätettiin 15 mm väliä seinämän paksuuden ja pelivaran takia (kuva 20). Kun valu tulee syvälle kokilliin ja sulan pinnan noustessa rännin valuaukon yläpuolelle, sula ei pääse reagoimaan ilman kanssa ja kuonan muodostuminen vähenee, samoin kuin roiskeet. Lisäksi valuaukkoon voi asettaa esimerkiksi vaihdettavan suodatinverkon, joka vähentää kuonan pääsyä kokilliin. Rännien osumakohdat kohdistettiin kokilleihin valittiin samoiksi. Näin ollen rännien pituudet erosivat toisistaan, samoin kuin kaltevuuskulmat. Tässä on rännien pituudet ja kaltevuudet (kuva 18):

- ränni 1: 527 mm $9,5^\circ + 10,9^\circ$
- ränni 2: 540 mm $9,5^\circ + 14,3^\circ$
- ränni 3: 555 mm $9,5^\circ + 17,5^\circ$

Ränni 1 on $10,9^\circ$ kulmassa valukaukalon pohjaan nähden. Rännit 2 ja 3 ovat $3,4^\circ$ ja $6,6^\circ$ kulmassa kiintopisteränniin nähden, kun laite kippaa $9,5^\circ$ (kuva 21).

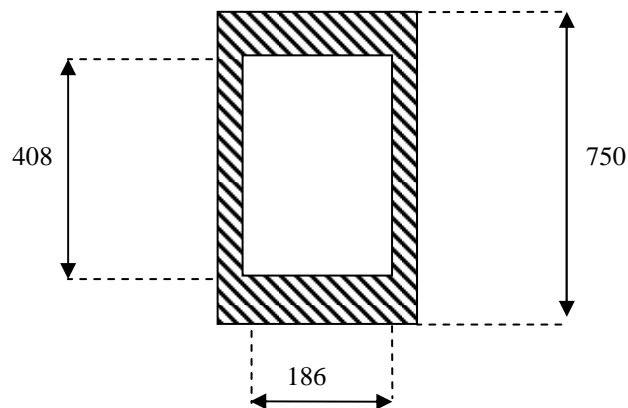


KUVA 20. Rännin osuvuus kokilliin edestäpäin



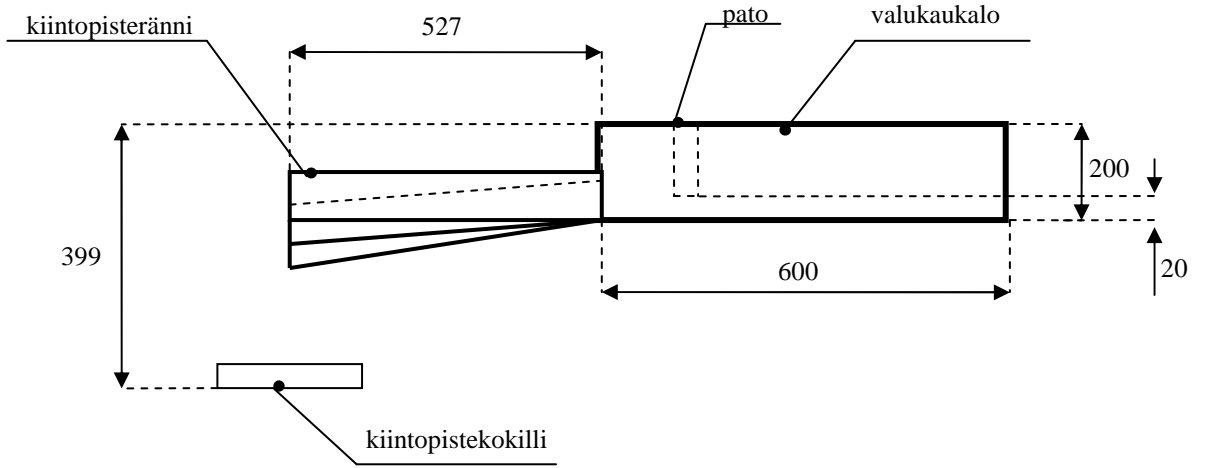
KUVA 21. Rännien väliset kaltevuussuhteet

Rännien suunnittelu ja mitoitus tapahtui harkkovalukoneen nykyisten kokillien mittojen määrittelemänä (kuva 22). Rännien yläpään mitat voitiin itse määrittää, mutta alapään mitat olivat kokillien mittojen mukaiset.

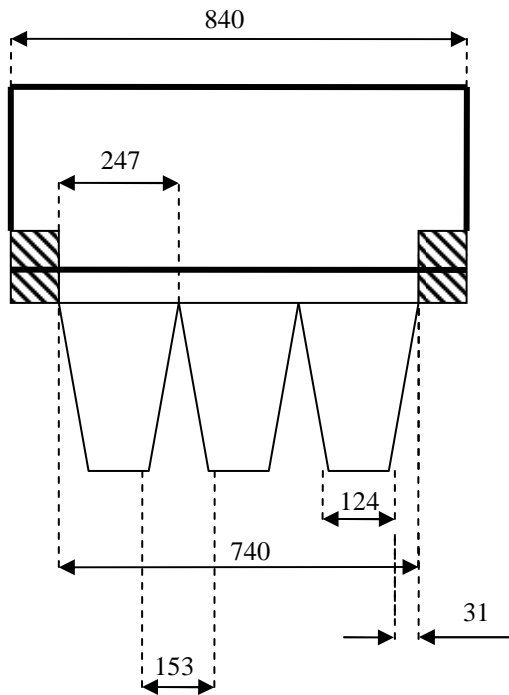


KUVA 22. Kokilli ylhäältäpäin (valkoinen osa on valutettava osa)

Kuvissa 23 ja 24 valukaukalo on yhdistettynä ränneihin ja ylimpään kohdistettavaan kokilliin.



KUVA 23. Valukaukalo sivultapäin



KUVA 24. Valukaukalo ylhäältäpäin

5.6 Virtausnopeuksien ja virtausmäärien tarkastelua

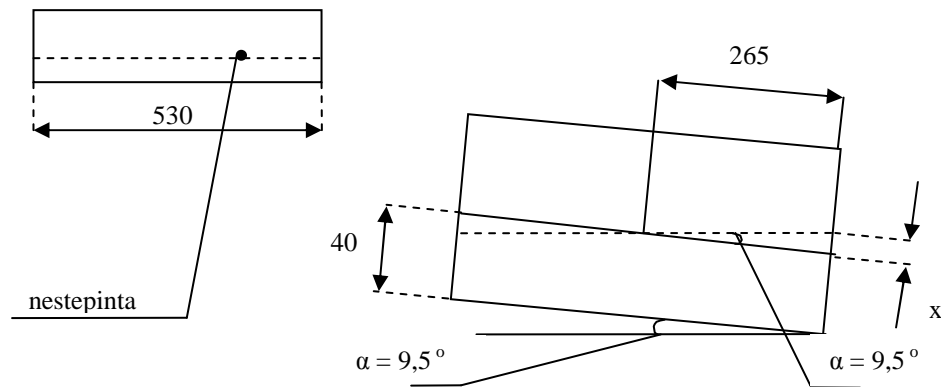
Tarkoituksena oli saada kaikkien rännien valaukoista samat tilavuusvirrat. Koska rännien korkeuserojen seurauksena sulalla oli eri loppunopeus eri ränneissä, oli sulan virtausta ränneissä muokattava sopiviksi säätölaitteiden avulla. Tilavuusvirta $q = Av$, joten säätölaitteilla muutettiin A:n arvoa sopivaksi.

Tehtiin oletus, että laite kippaa silloin, kun sulan pinnankorkeus valukaukalossa on 40mm. Näin saatiin määritettyä valukaukalossa vallitsevan paineen aiheuttama sulan virtausnopeus (alkunopeus) kippauksen yhteydessä. Tilanne oli se, että sulalla on kippauksen alkaessa sekä potentiaalienergiaa ja liike-energiaa. Valuaukkojen kohdalla eli rännien päissä sulalla on liike-energiaa enemmän ja potentiaalienergiaa vähemmän kuin kippauksen alkaessa. Sovellettiin energian säilymlakia, jotta voitiin määrittää sulan virtauksen loppunopeus rännien valaukoissa ja rakentaa sitä varten säätölaitteet virtausmäärien tasoittamisiksi eri ränneissä. Näin pystyttäisiin saamaan tasainen tilavuusvirta kaikilta ränneiltä kokilleihin valutettaessa.

Kippausvaiheessa kaukalossa vallitsee sulan pinnan korkeuden ansiosta paine, joka saa aikaan sulalle alkunopeuden. Sulan pinnan korkeuden kasvu valukaukalossa kippaamisen yhteydessä on

$$\tan 9,5^\circ = \frac{x}{265} \rightarrow x = 44 \text{ mm (kuva 25).}$$

Sulan pinnan kokonaiskorkeus valukaukalossa on tällöin 44 mm + 40 mm = 84 mm (kuva 25).



KUVA 25. Valukaukalon sulan pinnankorkeus (mittasuhteet ei todellisia)

Nestepinnan korkeuden aiheuttama nesteen virtausnopeus lasketaan kaavalla 1.

$$v = \sqrt{2gh} .$$

KAAVA 1

v on virtausnopeus

g painovoima

h nestepinnan korkeus

$$\text{Sulan alkunopeus } v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,084} = 1,28 \text{ m/s} .$$

Rännien yläosissa sulalla on potentiaalienergiaa (mgh) ja liike-energiaa ($1/2mv^2$) samoin kuin alaosassa, mutta eri mittasuhteessa. Kun tiedettiin alkunopeus ja korkeuserot ($h_1 - h_2$), voitiin määrittää loppunopeus rännien valuaukoista. Alkunopeudet ovat samat kaikissa ränneissä. Tilanteen nollataso on valukaukalon pohja. Korkeusero tarkoittaa tässä tilanteessa valukaukalon pohjan ja rännien päiden välistä etäisyyttä. Rännien päiden ja kokillien pohjien välissä on 15 mm tilaa. Kahden peräkkäisen kokillin pohjien välinen korkeusero on 34 mm.

Energian säilymlaki lasketaan kaavalla 2.

$$mgh_1 + 0,5mv_1^2 = mgh_2 + 0,5mv_2^2 .$$

KAAVA 2

m on massa

g painovoima

h korkeus

v nopeus

Kaava 2 saatiin muotoon:

$$gh_1 + 0,5v_1^2 = gh_2 + 0,5v_2^2 \rightarrow v_2 = \sqrt{2gh_1 + v_1^2 - 2gh_2} .$$

Rännien sulan loppunopeudet laskettiin seuraavaksi:

$$v_2 = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,199 + 1,28^2 - (2 \times 9,81 \times 0,015)} = 2,29 \text{ m/s}$$

Sulan loppunopeus ylimmässä rännissä oli 2,29 m/s.

$$v_2 = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,233 + 1,28^2 - (2 \times 9,81 \times 0,015)} = 2,43 \text{ m/s}$$

Sulan loppunopeus keskimmaisessä rännissä oli 2,43 m/s.

$$v_2 = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,267 + 1,28^2 - (2 \times 9,81 \times 0,015)} = 2,56 \text{ m/s}$$

Sulan loppunopeus alimmassa rännissä oli 2,56 m/s.

Jos tapahtuisi niin, että sulan pinnankorkeus valukaukalossa kaksinkertaistuisi. Tällöin uudet virtausnopeudet olisivat

- sulan loppunopeus rännissä 1. (ylin) = 2,45 m/s
- sulan loppunopeus rännissä 2. (keskimäinen) = 2,59 m/s
- sulan loppunopeus rännissä 3. (alin) = 2,71 m/s.

Virtausnopeudet muuttuivat kuitenkin suurin piirtein samassa suhteessa, joten sillä ei ole vaikutusta ränneistä saataviin virtausmäärien suhteisiin.

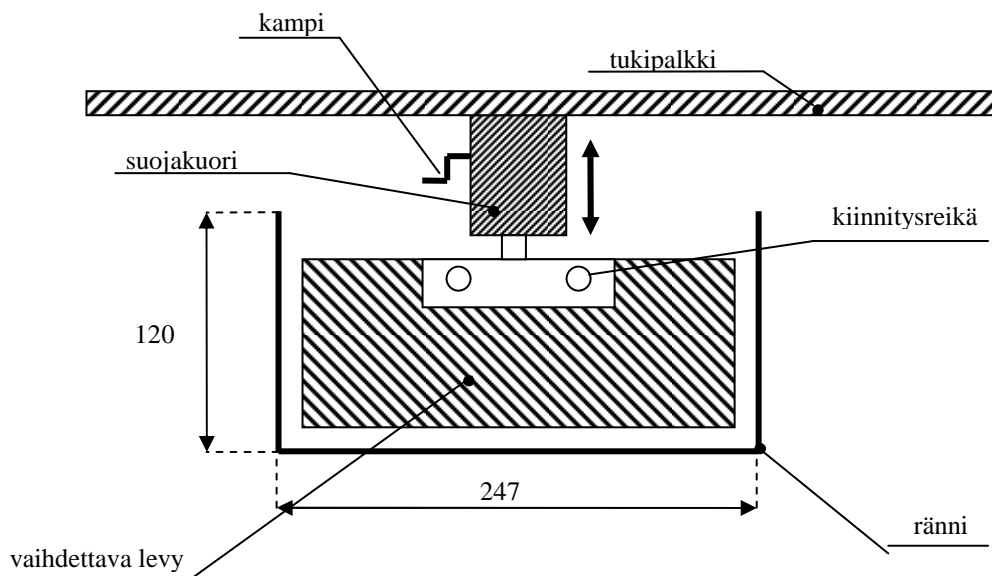
5.6.1 Viskositeetti

Viskositeetin aiheuttamaa vaikutusta oli tässä tapauksessa vaikea arvioida, mutta oletettavasti sillä ei ole suurta vaikutusta, koska rännit pysyvät kuumi-

na sulan vaikutuksesta takia eikä rännien pituuksissakaan ole suuria eroja. Lisäksi oikeat virtausmäärät on joka tapauksessa haettava kohdilleen säätämällä ja kokeilemalla.

5.6.2 Virtausmäärien tasaaminen ränneissä

Koska sulan pinnankorkeutta ei pystytty tarkasti määrittämään ränneissä valuvaiheessa, tasaisten tilavuusvirtojen saaminen vaatii kokeellista säätämistä. Tätä varten jokaisen rännin alkuosiin asennettiin ylös- ja alaspäin liikkuvat virtauksen säätölaitteet (kuva 26), joita säädetään niin, että kaikilta ränneiltä saadaan sama tilavuusvirta valuaukosta. Laitteen liikuttaminen tapahtuu esimerkiksi hammaspyörien avulla suojakuoren sisällä.



KUVA 26. Sulan virtauksen säätölaite

Säätölaitetta suunniteltaessa oli huomioitava, että sula tarttuu helposti rakenteiden pintaan ja aiheuttaa tukkeumia. Tätä varten suunniteltiin vaihdettavat levyt laitteeseen. Levyille voi myös suunnitella erilaisia muotoja riippuen sulan aiheuttamista vaikutuksista. Toinen vaihtoehto tilavuusvirtojen tasaamiseksi oli muuttaa rännien loppuosien valuaukkoja toisiinsa nähden sopiviksi.

5.7 Valukaukalon massan laskeminen

Oletusmateriaalina käytettiin valurautaa, jonka tiheys $\rho = 7\,250\text{ kg/m}^3$, ja oletusseinämänpaksuutena valukaukalossa käytettiin 50 mm ja ränneissä 5 mm. Tilavuudet (m^3) tarkoittivat näissä laskuissa rakenteiden massojen tilavuuksia.

Massa lasketaan kaavalla 3.

$$m = \rho \times V.$$

KAAVA 3

ρ on tiheys

V tilavuus

Valukaukalon massa oli $0,05395\text{ m}^3 \times 7\,250\text{ kg/m}^3 = 391,13\text{ kg}$.

Padon massa oli $0,00336\text{ m}^3 \times 7\,250\text{ kg/m}^3 = 24,36\text{ kg}$.

Rännien (3 kpl) massa oli $(0,000725+0,000766+0,000785)\text{ m}^3 \times 7\,250\text{ kg/m}^3 = 16,5\text{ kg}$.

Valukaukalon rakenteen massa oli yhteensä 431,99 kg.

Sulan sinkin tiheys $\rho = 7\,140\text{ kg/m}^3$ ja sulan pinnankorkeus valukaukalon keskiosassa sai olla max. 110 mm korkeudella kaukalon pohjasta (55 % kaukalon tilavuudesta)

Sulan massa oli $0,09544\text{ m}^3 \times 0,55 \times 7\,140\text{ kg/m}^3 = 374,79\text{ kg}$.

Valukaukalon maksimi kokonaismassa sulan kanssa oli 806,78 kg.

5.8 Laitteen toimintaperiaate

5.8.1 Nykyisen mallin soveltamisen

Yksi vaihtoehto on soveltaa kuonanpoistolaitteen toimintamallia, jos se on mahdollista. Kun kokillikuljetin tulee tiettyyn pisteeseen, silloin uuden laitteen

sylinteri tarttuu kokillikuljettimen reunassa sijaitsevaan tartuntakohtaan ja laite lähtee siten liikkumaan eteenpäin kokillikuljettimen mukana. Heti tarttumisen yhteydessä laite lähtee kippaamaan kokilleihin ja kippaa sulaa kokilleihin tietyn ajan tai niin kauan, kunnes kokillikuljetin on kulkenut tietyn matkan. Tämän jälkeen laite nousee yläasentoon ja palaa kotiasemaansa odottaen seuraavaa työkiertoa. Laite kulkee esimerkiksi molemmilta puolin suojaattuja johteita pitkin. Kippaukseen liittyen pitää määrittää kiihdyttävät ja jarruttavat voimat.

5.8.2 Uuden toimintaperiaatteen hahmottelua

Ensisijainen asia on se, että sulan pinnankorkeus valukaukalossa säilyy suurin piirtein vakiona. Tähän voidaan vaikuttaa sulaa uunista pumppaavan pumpun tuotolla tai sillä, että yksi työkierto kestää yhtä kauan kuin kolmen harkon verran sulaa tulee lisää valukaukaloön. Laitteen nopeus pitää siksi sopeuttaa kokillikuljettimen nopeuden kanssa.

Työkierto muodostuu seuraavasti:

- laite eteen
- laite alas
- laite ylös
- laite taakse.

5.8.3 Esimerkkitapaus uudesta toimintaperiaatteesta

Käytetään valunopeutena 19 t/h (5,28 kg/s), jolloin 75 kg sulaa sinkkiä tulee valukaukaloön 14,2 sekunnissa. Laitteella on tällöin 14,2 sekuntia aikaa tehdä työkierto ja olla valmiina lähtöasemassa seuraavaa kiertoa varten.

Kokillikuljetin tulee esimerkiksi rajan kohdalle, jolloin laite pitää saada kiihtymään kokillikuljettimen nopeuteen. Kun nopeus on saavutettu, laite kippaa sopivalla kiihtyvyydellä ja jarrutuksella oikeaan kohtaan kokilleissa. Kun kokillikuljetin on liikkunut tietyn matkan (tässä tapauksessa 368 mm) tai kippaus on kestänyt tietyn ajan, laite nousee yläasentoon tietyllä kiihtyvyydellä ja

jarrutuksella sekä lähtee palaamaan riittävällä nopeudella lähtöasemaansa. Laitte voi lähteä palaamaan heti, kun se on noussut tietyn korkeuden.

Ongelman aiheuttaa valunopeuden muutos. Sen seurauksena kokillikuljettimen nopeus muuttuu, jos valunopeus halutaan pysymään vakiona. Tällöin laitteen liikkumisnopeuksien ja kiihtyvyyksien on muututtava samassa suhteessa. Sulan annostelu tapahtuu joko kippausasennon keston tai kokillikuljettimen matkan perusteella. Matkan perusteella virtausmääriä pitää säätää valunopeuden mukaan. Kippausasennon keston perusteella säätimet olisivat aina vakioasemassa ja ainoastaan laitteen liikenopeudet eteenpäin ja taaksepäin liikkeissä muuttuvat valunopeuden mukaan. Kippaus saisi signaalin kokillikuljettimelta rajakytkimen avulla ja kippauksen kesto olisi ajastettu kestämään tietty aika.

valunopeus	valuaika	75 kg lisäys	siirtoaika
25	6,3	10,8	4,5
23	6,3	11,7	5,4
21	6,3	12,9	6,6
19	6,3	14,2	7,9
17	6,3	15,9	9,6
15	6,3	18,0	11,7
13	6,3	20,8	14,5
11	6,3	24,5	18,2

KUVA 27. Valamiseen liittyviä aikoja (6,3 s on oletus)

Seuraavassa luettelossa on kuvaan 27 liittyviä selityksiä:

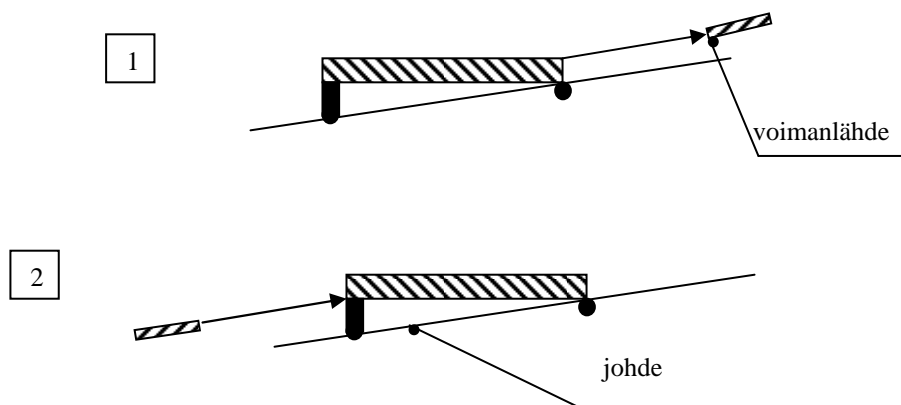
- valunopeus (t/h) on pumpun tuottama valunopeus sulatusuunilta harkkovalukoneelle
- valuaika on oletusaika, joka kuluu kokilleihin valamiseen noin 75 kg verran sulaa (laitteen kippausasento)
- 75 kg lisäys on aika, joka kuluu, kun valukaukaloon valutetaan 75 kg sulaa sinkkiä (kolmen valetun harkon verran)
- siirtoaika on maksimiaika, joka on varattu laitteen liikuttamiseen (Laitteen nostaminen ja paluuliike), siten että sulan pinnankorkeus valukaukalossa ei pääse nousemaan yhden työkierron aikana.

Kun harkkovalukone pysähtyy jonkin virheen seurauksena, on uuden laitteen toimittava järkevästi. Pysähtymisen seurauksena laitteen on nouseva ainakin yläasentoon, ettei se pysty valuttamaan sulaa esimerkiksi täysiin kokilleihin. Koneen käyttäjä voi sitten ajaa laitteen taaksepäin lähtöasemaan ja käydä tyhjentämässä valukaukalon tarpeen mukaan.

5.9 Laitteen liikuttaminen eteen ja taakse

Paras vaihtoehto olisi, jos laite seuraisi kokillikuljetinta samalla periaatteella kuin kuonanpoistolaite nykyisessä mallissa eli laite tarttuisi sylinterin avulla kuljettimen matkaan mukaan. Tällöin ei tarvitsisi välittää laitteen tahdistamisesta, eikä kippaamisesta olisi ajoitusongelmaa, mutta laitteen suurehkon massan takia se lienee mahdotonta. Täten tarvitaan ulkoinen voimanlähde, joka toimii samassa tahdissa kokillikuljettimen kanssa.

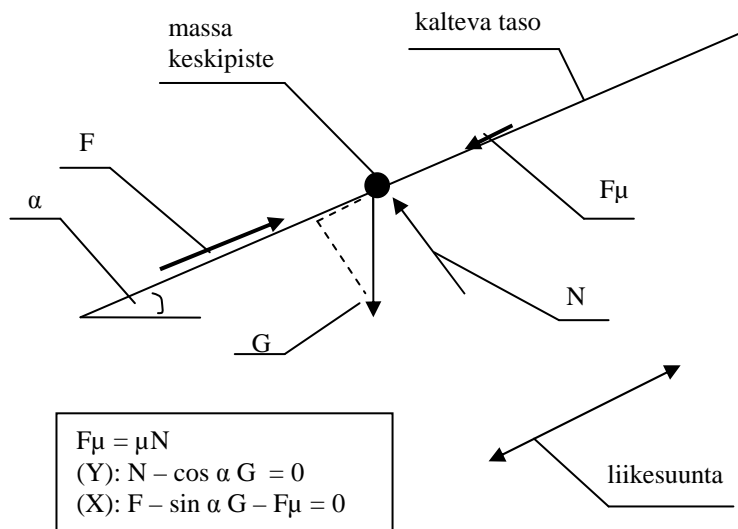
Laitteen menoliike pitää olla samassa tahdissa kokillikuljettimen kanssa, mutta paluuliike voi tapahtua omaan tahtiin. Laite liikkuisi esimerkiksi sylinterin voimalla suojattuja johteita pitkin (kuva 28, vaihtoehto 2). Paluuliikkeessä on huomioitavaa se, että laitteen on ensiksi nouseva tietty korkeus, jotta se voi lähteä tulemaan takaisin kotiasemaan päin. Täten vältetään törmäysvaara laitteen ja kokillikuljettimen välillä. Liikkeitä varten on määritettävä kiihdyttävät ja jarruttavat voimat.



KUVA 28. Laitteen eteen ja taakse liikuttamisen hahmottelua

5.10 Laitteen eteen ja taakse liikuttamiseen tarvittavat voimat

Kuvassa 29 on esitetty laitteen eteen ja taakse liikuttamiseen kaltevalla tasolla vaikuttavat voimat ja niistä muodostuneet tasapainoyhtälöt x- ja y-suunnassa.



KUVA 29. Eteen ja taakse liikuttamiseen vaikuttavat voimat ja tasapainoyhtälöt

Seuraavassa luettelossa on selitetty kuvaan 29 liittyviä termejä:

- F on sylinterin tuottama voima
- G on maan vetovoima
- F_{μ} on pinnan aiheuttama kitkavoima
- N on pinnan tukivoima
- kaltevuuskulma $\alpha = 5,25^{\circ}$ (kuva 30)
- laakerin kitkakerroin μ (käytetään lepokitkaa varmuuden takaamiseksi) = 0,25.



KUVA 30. Kaltevuuskulman määrittäminen

Newtonin 1. lain mukaan kappale pysyy levossa tai jatkaa tasaista liikettä suoraviivaisesti muuttumattomalla nopeudella, jos siihen vaikuttavien voimien summa on nolla. Tasaisen liikkeen aikaansaamiseksi saatiin tasapainoyhtälö:

$$F = (\sin \alpha \times m \times g) + (\cos \alpha \times m \times g \times 0,25)$$

$$F = \sin 5,25 \times 806,78 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \cos 5,25 \times 806,78 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,25 = 2694,51 \text{ N}.$$

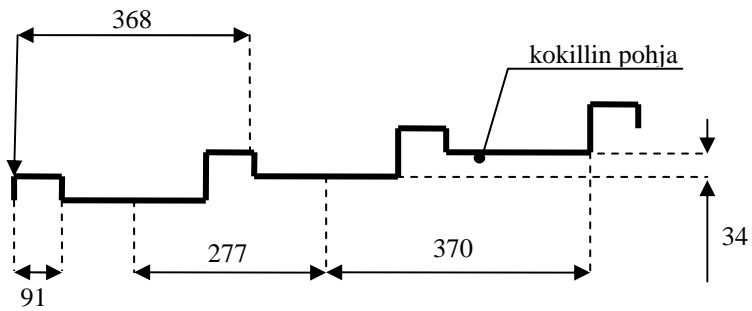
Tasaisen liikkeen aikaansaava voima $F = 2,7 \text{ kN}$.

Kiihdyttävä voima

Newtonin 2. lain mukaan kappaleeseen, jonka massa on m , vaikuttava voima F aiheuttaa kappaleelle kiihtyvyyden a , joka saadaan kaavalla $F = ma$.

Oletusvalunopeutena käytettiin 19 T/h (5,28 kg/s), jolloin 75 kg sulaa tulee valukaukaloon 14,2 sekunnissa. Seuraavassa on voiman määrittämiseen tarvittavia arvoja (kuva 31):

- kokillitiheys: 3,6 kokillia/m
- $19\,000 \text{ kg/h} / 25 \text{ kg} = 760 \text{ kokillia/h}$
- kokillikuljettimen nopeus: $760 \text{ kokillia/h} / 3,6 \text{ kokillia/m} = 211,11 \text{ m/h}$
 $= 0,058 \text{ m/s}$.



KUVA 31. Kokillien välisiä mittoja edestäpäin

Aika lasketaan kaavalla 4.

$$t = \frac{s}{v}$$

KAAVA 4

t on aika

s matka

v nopeus

Aika, johon kokillikuljetin liikkuu 0,368 m matkan (kippiasennon kesto) lasketaan kaavalla 4:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,368m}{0,058 \frac{m}{s}} = 6,3s$$

Kiihdytys- jarrutusaikoja valittaessa oli huomioitava se, että ajat vähennetään laitteen valuusuuden kestosta, jolloin pienet ajat ovat suotuisia. Valitaan kiihdytys- ja hidastusajaksi 0,5 s. Nyt valuusuuden kestoksi jää (6,3 s – 0,5 s – 0,5 s = 5,3 s).

Kiihtyvyys lasketaan kaavalla 5.

$$a = \frac{v}{t}$$

KAAVA 5

a on kiihtyvyys

v nopeus

t aika

Laitteen kiihtyvyys ja hidastuvuus menoliikkeessä lasketaan kaavalla 5:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{0,058 \frac{m}{s}}{0,5s} = 0,116 \frac{m}{s^2} .$$

Laitteen kiihdyttämiseen ja hidastamiseen tarvittava voima lasketaan kaavalla 6.

$$F = ma$$

KAAVA 6

m on massa

a kiihtyvyys

F voima

$$\text{Tarvittava voima } F = m \times a = 806,78 \text{ kg} \times 0,116 \frac{m}{s^2} = 93,6 \text{ N} .$$

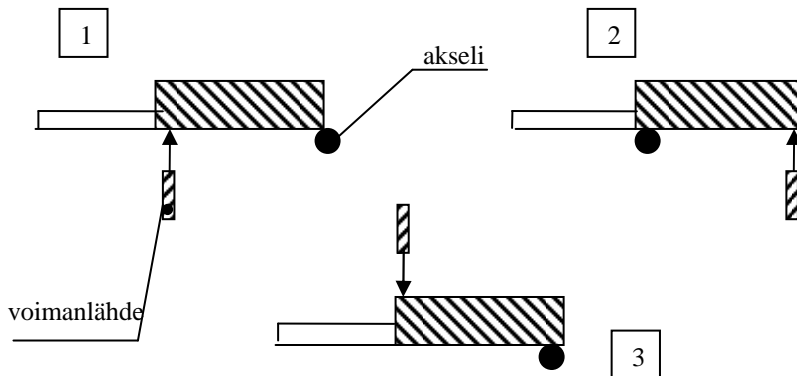
Menoliikkeen jälkeen kokillikuljetin liikkuu 0,463 m matkan samalla nopeudella ennen seuraavaa työkiertoa. Tähän kuluu aikaa 8 s. Tässä ajassa laitteen on oltava kotiasemassa. Paluuliikkeeseen jää aikaa valunopeuden mukaan ($14,2 \text{ s} - 6,3 \text{ s} = 7,9 \text{ s} \leq 8 \text{ s}$). Valitaan paluuliikkeeseen kiihdytys- ja hidastusajaksi 1 s. $v = \frac{0,463 \text{ m}}{5,9 \text{ s}} = 0,079 \frac{m}{s}$ ja kiihtyvyys on tällöin $0,079 \frac{m}{s^2}$.

Laitteen eteen ja taakse liikuttamiseen tarvittava kokonaisvoima on 1,5 varmuuskertoimella: $(2 \text{ 695 N} + 94 \text{ N}) = 2 \text{ 789 kN} \times 1,5 = 4 \text{ 183 N} \rightarrow 4,2 \text{ kN}$.

5.11 Laitteen kippaaminen ja nostaminen

Kippaavan sylinterin paikka sijoitettiin valukaukalon alapuolelle etureunaan, pyörivän akselin ollessa kaukalon takareunalla (kuva 32 ja vaihtoehto 1). Syitä tähän valintaan olivat tilan käytön minimointi, etenkin korkeuskriteerit sulatusuunilta tulevan rännin suhteen sekä sylinterin pienempi voimantarve.

Tämä valinta ei aiheuttanut muutoksia laitteen korkeuteen. Yhden sylinterin sijasta voidaan käyttää myös kahta sylinteriä rasituksen jakamiseksi.

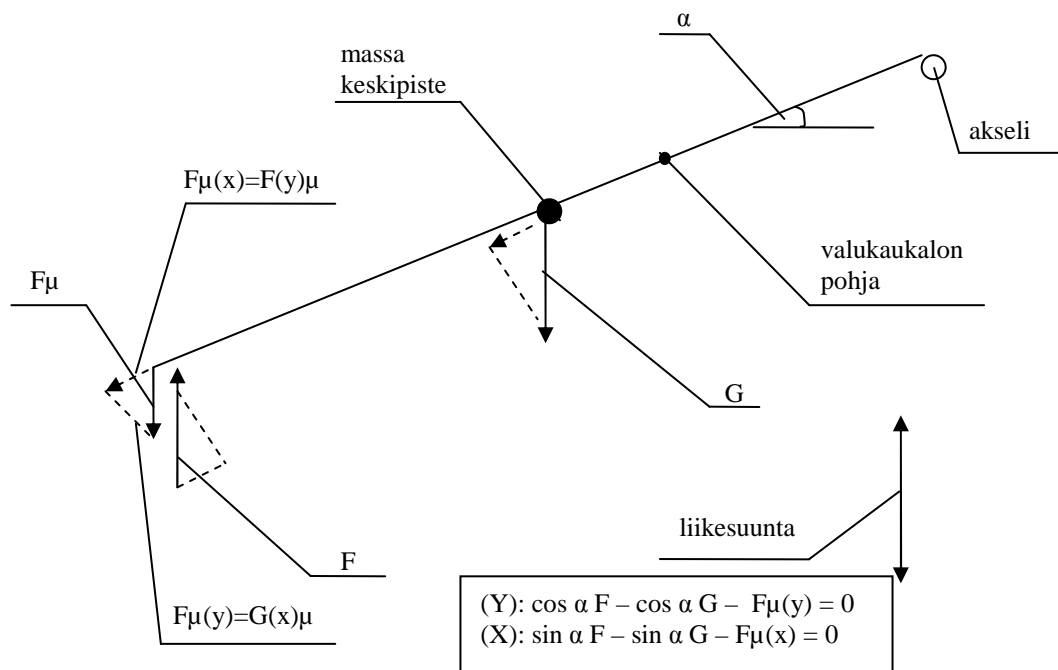


KUVA 32. Laitteen kippauksen hahmottelua

Kippaavassa liikkeessä oli huomioitava, että laite voi lähteä kippaamaan vasta, kun se on saavuttanut kokillikuljettimen nopeuden ja on oikealla paikalla kokilleihin nähden. Kippauksen yhteydessä tarvitaan kiihdyttävät ja jarruttavat voimat. Lisäksi on huomioitava, että kun valukaukalo nousee yläasentoon, yläasennon on oltava pari astetta kallistettuna ylöspäin valukaukalon vaakatasoon nähden. Tällä vältetään riski sulan valumisesta yläasennossa.

5.12 Kippaamiseen ja nostamiseen tarvittavat voimat

Kuvassa 33 on esitetty laitteen kippaamiseen ja nostamiseen vaikuttavat voimat ja niistä muodostuneet tasapainoyhtälöt x- ja y-suunnassa.



KUVA 33. Kippaukseen ja nostamiseen vaikuttavat voimat ja tasapainoyhtälöt

Seuraavassa luettelossa on selitetty kuvaan 33 liittyviä termejä:

- F on sylinterin tuottama voima
- G on maan vetovoima
- F_μ on sylinterin aiheuttama kitkavoima
- kaltevuuskulma $\alpha = 9,5^\circ$
- teräs-teräs pinnan kitkakerroin on μ (käytetään lepokitkaa varmuuden takaamiseksi) $\mu = 0,12 \rightarrow 0,2$
- pyörimisakseli sijaitsee kuvan oikeassa yläreunassa
- kuvan koko matka on 600 mm (G puolessa välissä).

Tasaisen liikkeen aikaansaamiseksi saatiin momenttiyhtälö:

$$(\cos \alpha \times F \times 0,600) - (\cos \alpha \times G \times 0,300) - (\sin \alpha \times G \times \mu \times 0,600) = 0$$

$$F = \frac{(\cos 9,5 \times 806,78 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,300 \text{ m}) + (\sin 9,5 \times 806,78 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,2 \times 0,600 \text{ m})}{\cos 9,5 \times 0,600 \text{ m}}$$

Tasaisen liikkeen tarvitsema voima $F = 5\,288 \text{ N} = 5,3 \text{ kN}$.

Kiihdyttävä voima

Laitteen on kipattava 0,184 m matka mahdollisimman nopeasti. Valinnat tehtiin siten, että puolet matkasta kiihdytetään sekunnin ajan ja puolet hidastetaan sekunnin ajan. Laite voi lähteä kippaamaan heti, kun laitteen kiihdyttäminen eteenpäin suunnassa alkaa. Laitteen nostaminen voi alkaa myös heti, kun laitteen hidastuminen eteenpäin suunnassa alkaa.

Matka voidaan määrittää kiihtyvyyden avulla kaavalla 7.

$$s = 0,5at^2 .$$

KAAVA 7

s on matka

a kiihtyvyys

t aika

Kaavan 7 mukaan tarvittava kiihtyvyys $a = \frac{2 \times 0,092m}{(1s)^2} = 0,184 \frac{m}{s^2} .$

Kiinteän akselin ympäri pyörivään kappaleeseen vaikuttava momentti M akselin suhteen antaa kappaleelle kulmakiihtyvyyden siten, että $M (Fr) = J\alpha$, missä J ($J = mr^2$) on kappaleen hitausmomentti akselin suhteen.

Käytetään ratakihtyvyyttä $a = 0,184 \text{ m/s}^2$.

Kulmanopeuden ja ratanopeuden yhteys on $\alpha = \frac{a}{r}$, missä r on rataympyrän säde ja α on kulmakiihtyvyys. Kiihdyttävä voima lasketaan kaavalla 8.

$$F = \frac{mr^2 \times \left(\frac{a}{r}\right)}{r} .$$

KAAVA 8

F on voima

m massa

a ratakihtyvyys

r rataympyrän säde

$$\text{Kiihdyttävä voima } F = \frac{806,78\text{kg} \times (0,300\text{m})^2 \times \frac{0,184\text{m/s}^2}{0,600\text{m}}}{0,600\text{m}} = 37,1\text{N} .$$

Tätä kiihdyttävää voimaa käytetään sekä laitteen kippauksessa että nostamisessa. Laitteen kippaamiseen ja nostamiseen tarvittava kokonaisvoima on 1,5 varmuuskertoimella: $(5\,288\text{ N} + 37\text{ N}) = 5\,325\text{ N} \times 1,5 = 7\,988\text{ N} \rightarrow 8\text{ kN}$.

6 POHDINTA

Työnä oli esisuunnitella Boliden Kokkola Oy:n harkkovalukoneelle uusi sulan syöttölaite, joka syöttää sulan valuränniltä valumuotteihin. Työn tuloksena saatiin laitteen rakenteelliset mitat ja valunopeuksien vaikutus laitteen toimintaan. Lisäksi määritettiin rakenteen liikuttamiseen tarvittavat voimat. Työ osoittautui lopulta melko haastavaksi, koska laitteen suunnittelusta löytyi paljon muuttuvia tekijöitä ja uusia seikkoja, joita havaittiin suunnittelun eri vaiheissa. Tämä johti siihen, että oli palattava taaksepäin tutkimaan asioita uudelleen ja etsimään uusia ratkaisuja.

Laitteen rakenteellinen suunnittelu tapahtui pitkälti harkkovalukoneen mittojen mukaan, lisättynä järkevän oloisilla arvioinneilla. Koska työ tehtiin esisuunnitteluna, laitteen massan ja tarvittavien voimien määrittäminen tehtiin karkeana, suuntaa-antavina. Laitteen nopeuksien ja kiihtyvyyksien laskennat tehtiin kohtuulliseen isolla valunopeudella, koska se hahmotti hyvin todellisen valunopeuden, jolla laitetta voi ajaa. 19 t/h valunopeus vaikutti jo melko kriittiseltä laitteen työkierron lyhyen keston takia.

Ongelmana oli virtausmäärien määrittäminen. Virtausnopeudet pystyttiin määrittämään suhteessa toisiin ränneihin, mutta virtausmääriä oli mahdoton määrittää virtauksen luonteen, viskositeetin, kaltevuuksien ja sulan käyttäytymisen takia. Ainoa ratkaisu on kokeellinen testaus. Jokaisen rännin virtausmäärät on saatava kohdalleen säätimien avulla.

Laitteen toimivuus vaikuttaa haastavalta valunopeuksien muutoksista aiheutuvien seikkojen takia. Sulan annostelu tapahtuu joko kippausasennon keston tai kokillikuljettimen matkan perusteella. Matkan perusteella virtausmääriä pitää säätää valunopeuden mukaan. Kippausasennon keston perusteella toimiva annostelu olisi parempi ratkaisu, koska silloin säätimet olisivat aina vakiot ja ainoastaan laitteen liikenopeudet muuttuvat valunopeuden mukaan.

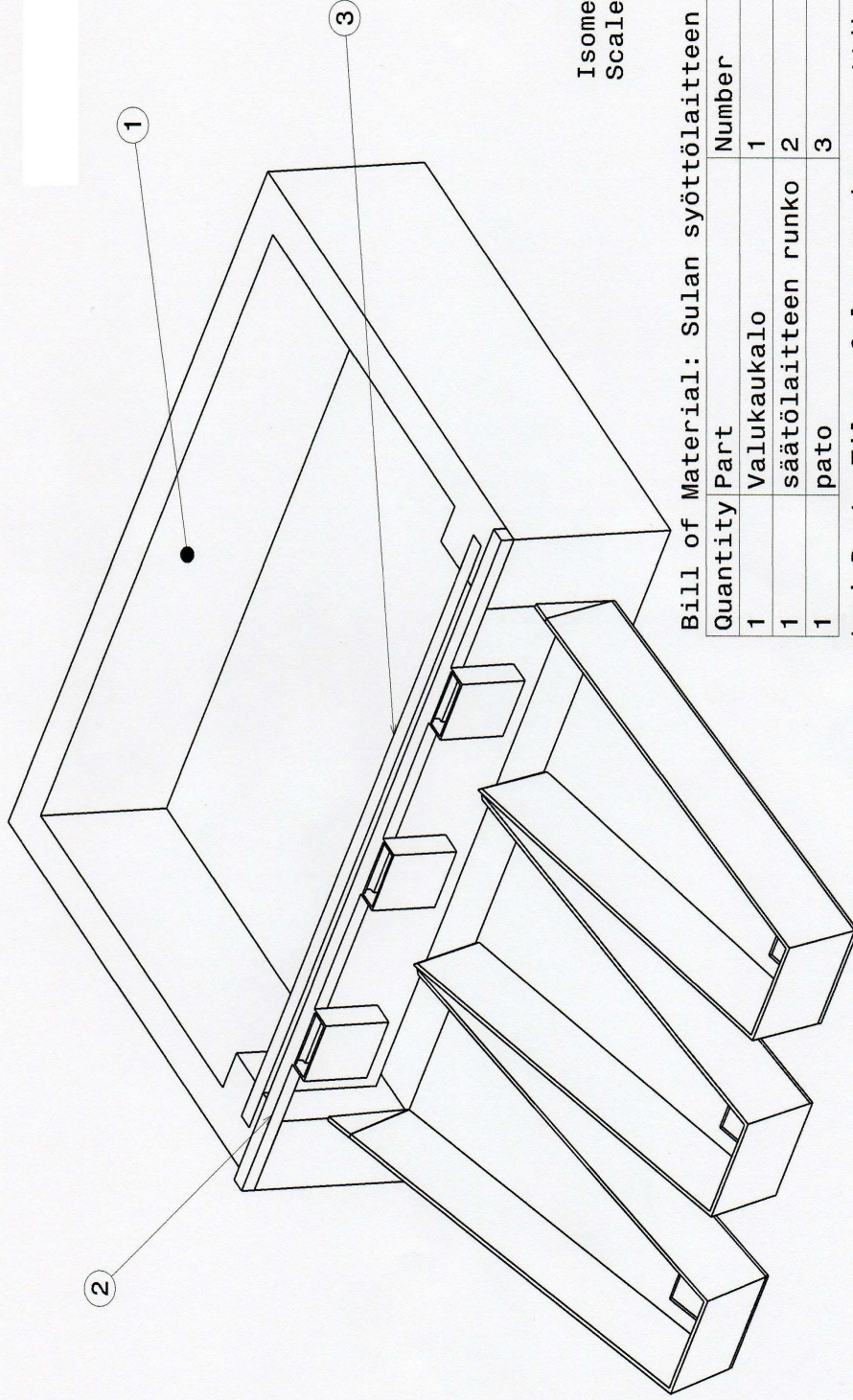
Valukaukalon padon alituskorkeutta voi muuttaa haluamaksi, koska sulan aiheuttamaa painetta virtaukseen on ennalta vaikea arvioida. Toivottavasti tästä työstä sai hyödyllisiä tietoja laitteen kannattavuudesta.

LÄHTEET

1. Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Niini, Eero – Piha, Olavi – Tiainen, Tuomo – Toivonen, Pentti. Valimotekniikan perusteet. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimotekniikanperusteet/index.html>. Hakupäivä 10.11.2010.
2. Ihalainen, E. – Aaltonen, K. – Aromäki, M. – Sihvonen, P. 1985. Valmistustekniikka. 10. painos. Helsinki: Otatieto oy
3. Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo 2009. Suunnittelijan perusopas. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>. Hakupäivä 5.11.2010.
4. Autere, Eugen – Ingman, Yrjö – Tennilä, Paavo 1982. Valimotekniikka 1. Insinööritieto Oy
5. Jokilaakso, Ari 1987. Virtaustekniikan, lämmönsiirron ja aineensiirron perusteet. Hämeenlinna: Otakustantamo.
6. Höök, Tuula – Meskanen, Seija. Valimotekniikan perusteet. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_painevalu.pdf. Hakupäivä 9.1.2011.
7. Tuomaala, Jorma 1995. Luova koneensuunnittelu. Jyväskylä: Tammer-tekniikka Ky
8. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang 1990. Koneensuunnitteluoppi. Suom. Uolevi Konttinen. Porvoo: metalliteollisuuden Kustannus Oy
9. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2005. Tekniikan kaavasto. Tampere: Amk-kustannus Oy

Sulan syöttölaite kolmiulotteisena

Isometric view
Scale: 1:6



Bill of Material: Sulan syöttölaitteen rakenne

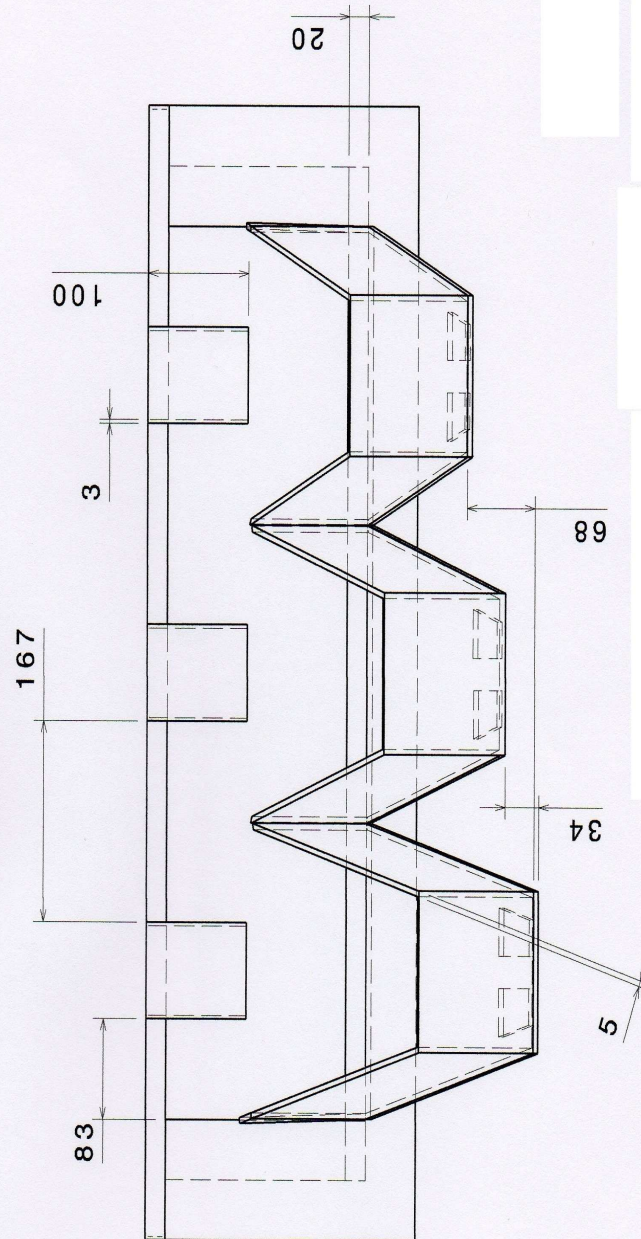
Quantity	Part	Number
1	Valukaukalo	1
1	säätölaitteen runko	2
1	pato	3

Liite 1.

Jari Ranta-Tilus, Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Sulan syöttölaite edestäpäin

LIITE 3

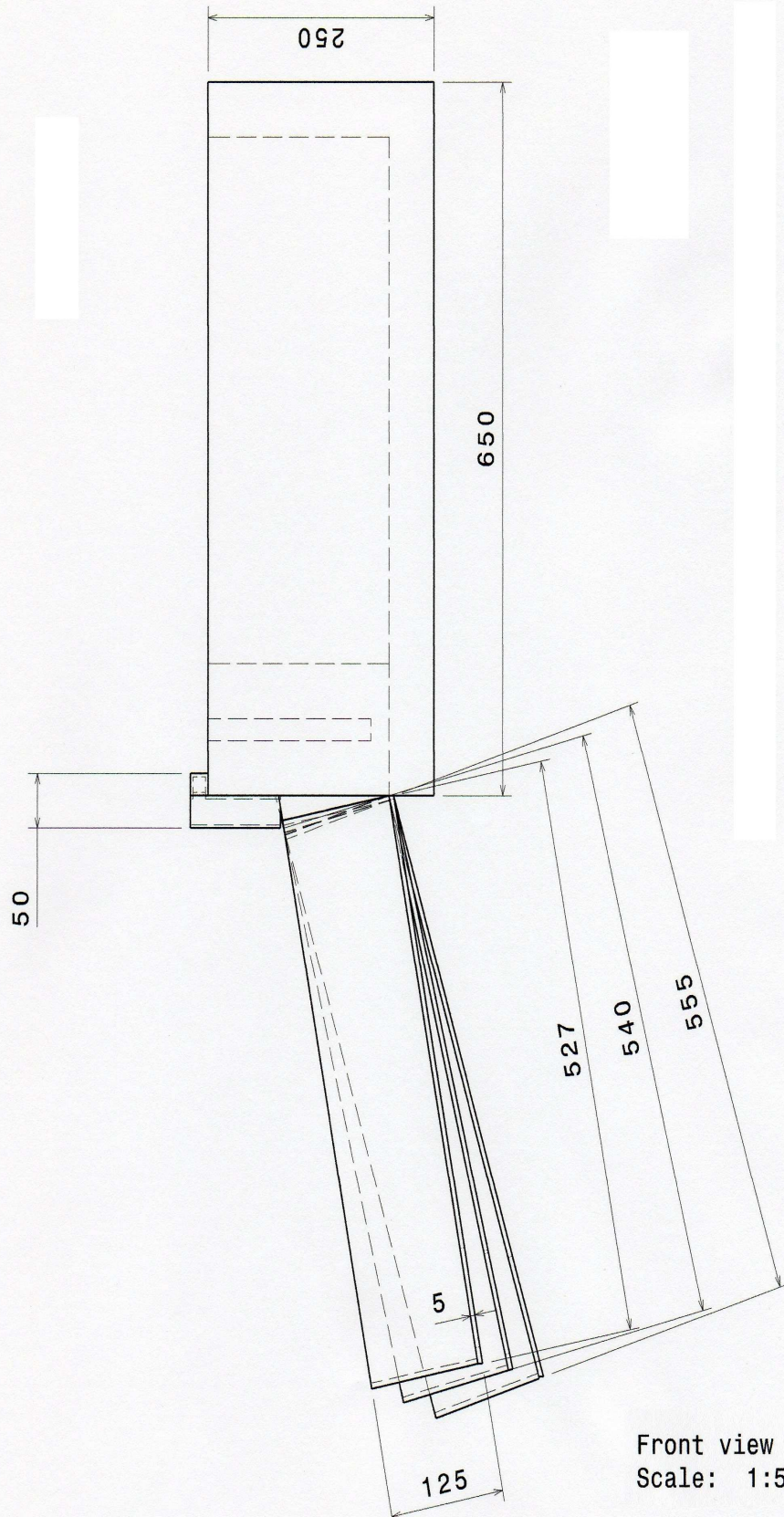


Front view
Scale: 1:5

Jari Ranta-Tilus, Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Sulan syöttölaite sivultapäin

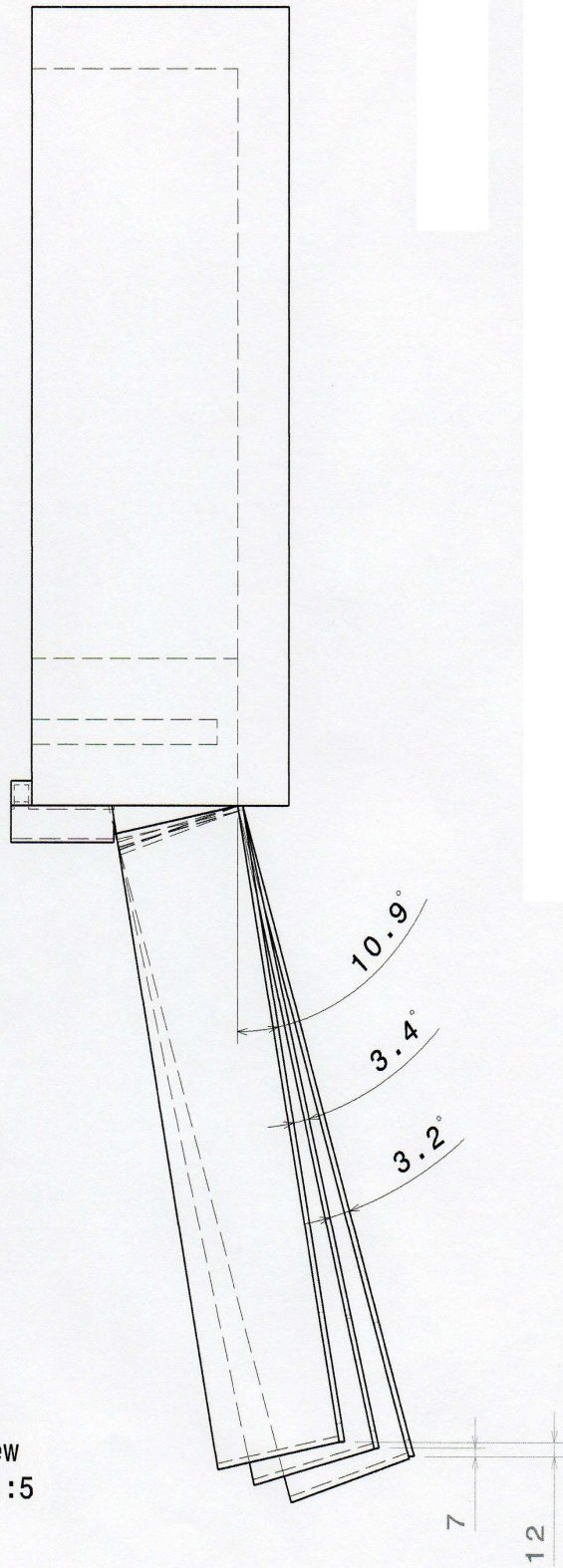
LIITE 4



Front view
Scale: 1:5

Sulan syöttölaite sivultapäin

LIITE 5



Front view
Scale: 1:5

Jari Ranta-Tilus, Oulun seudun ammattikorkeakoulu

