

Henri Rytolahti

Jatkuvavalukoneen valunauhan pintalämpötilamittauksen järjestely



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ on tehty Outokumpu Tornio Worksin toimeksiannosta Tornion tehtaan jaloterässulaton jatkuvavalukone 2:lle. Työn onnistuneen tekemisen pohjana ovat Outokummun oma asiantunteva henkilöstö sekä oppilaitoksen edustajan henkilökohtainen asiantuntemus valutekniikoiden asettamista vaativista olosuhteista. Haluan kiittää kaikkia mukana olleita henkilöitä.

Oulu 31.3.2011

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Raahen tekniikan ja talouden kampus
Kone- ja tuotantotekniikan KO

Tekijä: Henri Rytilahti

Opinnäytetyön nimi: Jatkuvavalukoneen valunauhan pintalämpötilamittauksen järjestely

Työn ohjaajat: Esa Törmälä, Lassi Konttajärvi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: maaliskuu 2011

Sivumäärä: 37 + 5

Tämän insinööriyön tavoitteena on suunnitella ja rakentaa jatkuvavalukone 2:lle mittausjärjestelmä, jolla voidaan mitata valunauhan pintalämpötilaa valun aikana eri jäähdytysvyöhykkeillä. Tavoitteena on saada vähintään 10 toimivaa mittauspistettä valukaarelle, alkaen ensimmäisestä jäähdytysvyöhykkeestä.

Teoriaosa koostuu perehtymisestä erilaisten pyrometryyppien toimintaan ja mittausperiaatteeseen, eli millä periaatteella pyrometrit toimivat ja millä periaatteella käyttämämme pyrometrit toimivat? Työssä tulee myös ottaa selvää, miksi on valittu juurikin pyrometritekniikka.

Käytännön osassa suunnitellaan, valmistutetaan ja asennutetaan mittauksissa tarvittavat komponentit. Lisäksi määritellään, miten erittäin vaikeissa olosuhteissa pyrometrit saadaan toimimaan ja antamaan luotettavia tuloksia. Tärkeänä osana on sekä rakentaa että suunnitella oikeanlainen pyrometrejä suojeleva ja jäähdyttävä järjestelmä.

Lopputuloksena oli 5 toimivaa mittauspistettä. Kaikkia mittauspisteitä ei pystytty asentamaan asennusteknisistä ongelmista johtuen. Loput mittauspisteet asennetaan todennäköisesti syksyllä 2011. Toimintaan saadut mittauspisteet kuitenkin riittivät tällä erää.

Asiasanat: Asiasanat: Pyrometri, Jatkuvavalukone, Valukaari, Olosuhteet, Turvallisuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences, Degree Programme in
Mechanical and Production Engineering

Author: Henri Rytilahti

Title of thesis: Measurement of Top Heat to the Strand at continuous Casting

Supervisor: Esa Törmälä, Lassi Konttajärvi

Term and year of completion: March 2011

Number of pages: 37 + 5

The objective of this Bachelor's thesis was to design and build such a measurement system for the continuous casting machine 2 that it can be used to measure the surface temperature of the casting tape in different cooling zones during the casting. The objective is to get at least 10 functional measuring points to the casting curve starting from the first cooling zone.

The theoretical part consists of studying the operation and measuring principles of different pyrometer types. What is the functioning principle of the pyrometers and what is the functioning principle of the pyrometers used by us in this work? The work also needs to determine why the pyrometer technique was chosen.

In the practical part, the components needed in the measurement were designed, made by hand and installed. Furthermore it is defined how the pyrometers will function and give reliable results in extremely difficult working conditions. The important part of this was to design the right kind of cooling system that protects and cools the pyrometers.

The final result was 5 functional measuring points. It was not possible to install all the measuring points due to installation technical problems. The rest of the measuring points will be probably installed in the autumn of 2011. However, the measuring points that were received to the operation were enough for now.

Keywords: Pyrometer, Continuous casting machine, Casting curve, Environment, Safety

SISÄLLYS

ALKULAUSE	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS	5
TERMIEN SELITYKSET	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Outokumpu Tornio Works	8
1.2 Jaloterässulatto.....	9
1.2.1 Jatkuvavalukoneen tausta	9
1.2.2 Jatkuvavalukone 2.....	10
1.2.3 Valukaari.....	11
1.2.4 Jäähdytysvyöhykkeet	11
2 MÄÄRITELMÄ.....	12
3 TOIMINTAOLOSUHTEET	13
4 RISKIANALYYSI.....	15
4.1 Yleiset turvallisuusriskit	15
4.2 Koneet ja laitteet vaaratekijänä.....	16
4.3 Pyrometrin käytön turvallisuus	16
4.4 Muut vaaratekijät	17
5 MITTAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN TARKOITUS	19
6 KUITUOPTISEN PYROMETRIN TOIMINTAPERIAATE	20
6.2 Pyrometryypin valinta	21
7 KOEJÄRJESTELYT	22
8 TOTEUTUS	26

8.1 Suunnittelu.....	26
8.2 Asennus.....	27
9 VALMIIN LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO.....	32
10 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET.....	34
11 YHTEENVETO.....	35
12 LÄHDELUETTELO.....	36
13 LIITELUETTELO.....	37

TERMIEN SELITYKSET

Pyrometri	Infrapuna- ja näkökyvyttävä lämpötilan mittauslaite
Blancin vakio	Matemaattinen laskukaava
Kokilli	Sulan teräksen muotoilukone
Oskillointi	Kuparikokillin edestakainen liike
Segmentti	Osa valukaarta. Koko valukaarella on 10 segmenttiä
Emissiokerroin	Kertoo kohteen kyvystä säteillä infrapunaenergiaa
Honeywell	Prosessin hallintajärjestelmä
Datalogger	Tiedon keräys- ja hallintalaite

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena on rakentaa nykyaikainen valunauhan lämpötilanmittausjärjestelmä. Tarkoituksena on käyttää sellaisia pyrometrialteistoja ja sovelluksia, että niiden avulla voidaan fyysisesti mitata valunauhan pinnan lämpötilaa. Nykyinen käytössä oleva lämpötilan laskenta perustuu matemaattisiin malleihin, Blancin vakioon. Tavoitteena on siis lähinnä varmistaa ja todentaa jo olemassa oleva teoriapohjainen tieto fyysisillä mittalaitteilla. Olosuhteet ovat hyvin haasteelliset pyrometriä käytölle, näin ollen pyritään etsimään ratkaisuja mahdollisimman luotettavan mittaustuloksen saamiseksi.

1.1 Outokumpu Tornio Works

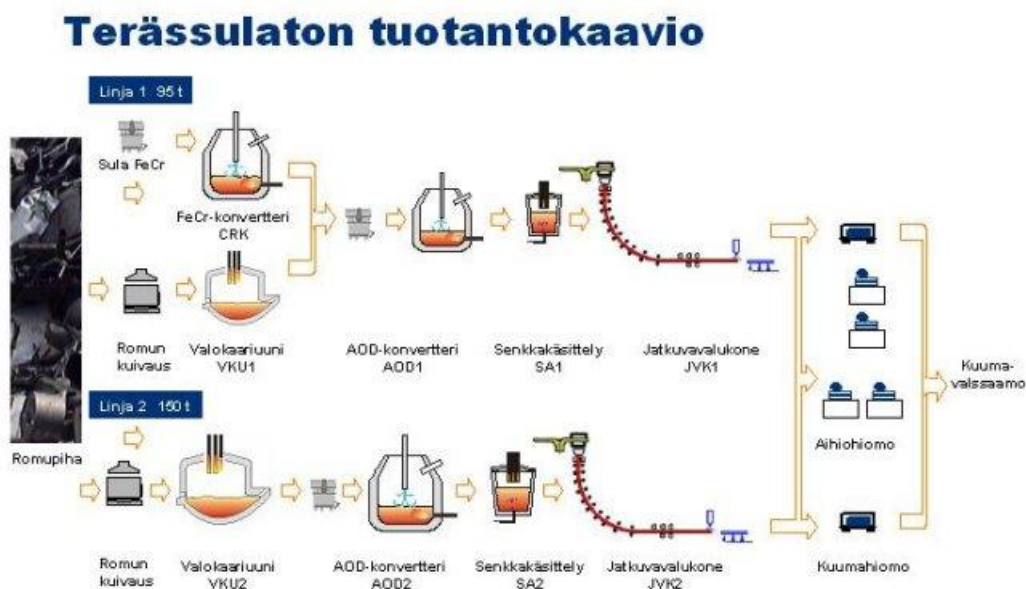
Outokummun Tornion tehdas on Outokumpu Stainless Oy:n suurin tuotantoyksikkö. Outokummun muita yksiköitä ovat Kemin kromikaivos sekä loppukäsittely-yksiköt Terneuzenissa ja Alankomaissa. Tornion tehdas on yksi maailman kustannustehokkaimmista tehtaista ajateltaessa kustannuksia kiloa kohden ruostumatonta terästä. Tällainen kustannustehokkuus johtuu suuresta omavaraisuudesta. Torniossa hyödynnetään omaa, vieressä sijaitsevaa kromikaivosta sekä pystytään käyttämään omia syntyviä prosessikaasuja hyväksi, esimerkiksi hiilimonoksidia. /4/

1.2 Jaloterässulatto

Outokummun Tornion tehtaan jaloterässulatto on yksi maailman nykyaikaisimmista sulatoista. Tämä insinöörityö tehdään Tornion tehtaan jaloterässulatolle, joka antaa olosuhteidensa puolesta oman vaikeusasteen työn onnistumiselle. Tornion tehtaan jaloterässulaton kapasiteetti on 1,65 miljoonaa tonnia terästä vuodessa. Jaloterässulatto toimii kolmessa vuorossa ympäri vuoden ja henkilöstöä siellä työskentelee noin 140 henkilöä. Sulaton prosessi alkaa romujen lajittelusta ja loppuu aihiohiomoon. Kuvassa 1 esitetään prosessin kulku. /4/

1.2.1 Jatkuvavalukoneen tausta

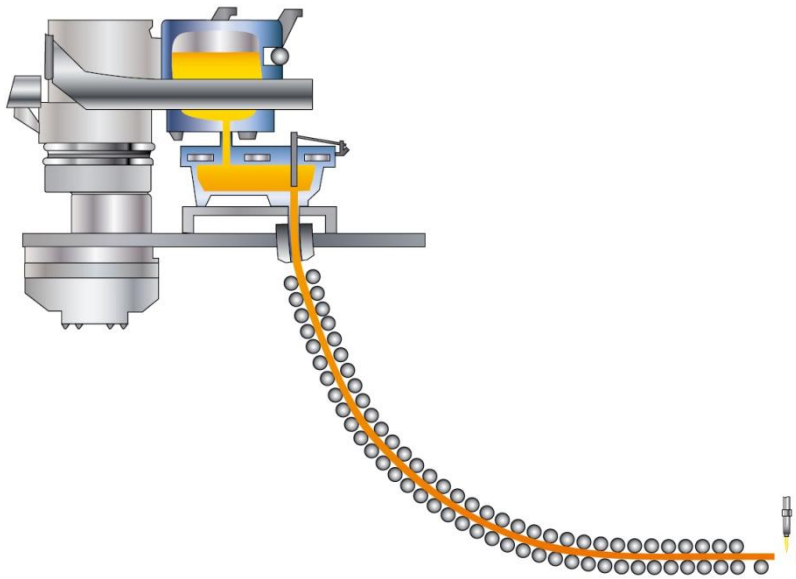
Jatkuvavalumenetelmä otettiin käyttöön teollisuudessa 1950-luvulla ja 1960-luvulla käyttö yleistyi. Suomessa teräksen valmistajat olivat valmiina uuden valutekniikan saapumiseen, ja niinpä Raahen Rautaruukki otti jatkuvavalumenetelmän käyttöön jo vuonna 1967. Tornioon jatkuvavalumenetelmä saapui vuonna 1976. /3/



Kuva 1. Terässulaton tuotantokaavio /1/

1.2.2 Jatkuvavalukone 2

Insinööriyöni tehdään jaloterässulaton prosessin loppupäässä sijaitsevalle jatkuvavalukone 2:lle. Tornion tehtaalla on kaksi jatkuvavaluperusteista linjaa ja nyt kysymyksessä oleva on uudemman, 2002 käynnistetyn linjan jatkuvavalukone. Tämä valukone on kaareva kone, jossa on pystykokilli. Valukoneella pystytään valamaan pitkiäkin sekvenssejä riippuen teräslajikkeesta ja valun valuleveydestä. /3/



Kuva 2. Jatkuvavalukone /1/

Toimintaperiaate on hyvin ymmärrettävissä (Kuva 2). Jatkuvavalussa lasketaan senkka senkkatorniin, josta sula teräs valuu ohjatusti välialtaaseen suojaputken lävitse. Välialtaan täytyessä avataan välialtaan stoppari, jolloin sula teräs valuu valuputken lävitse kuparikokilliin. Kokillin pohjaan on tehty aloituspää erimittaisista jousista ja metallirouheesta. Kun sula teräs osuu aloituspäähän, se jähmettyy kiinnittyen samalla valunauhaa vetävään ketjuun. Kokillin täytyttyä tarpeeksi kytketään vetorullastoihin veto päälle. Ketju vetää valunauhan valukaarta pitkin polttoleikkaukoneelle. Polttoleikkaukoneen avulla leikataan valunauhasta määrämittäisiä aihioita. Teräs ei kuitenkaan mene ongelmattomasti kokillin läpi, vaan valussa käytetään erilaisia voitelupulvereita ja kokillin edestakaista jatkuvaa liikettä (oskillointi). Edellä mainitut toiminnot ehkäisevät teräksen tarttumisen kokilliin ja valunauhan puhkeamisen. Valunauha saa kokillissa myös levymäisen muotonsa, jonka paksuutta ja leveyttä vielä muokataan valukaarella olevissa

rullastoissa. Jähmettyminen alkaa heti kokillissa sekä sen alapuolella sijaitsevassa taivutuslohkossa. Valunauhan pintaan muodostuva kuori yhdessä jäähtymisen ja tukirullastojen kanssa ehkäisevät aihion puhkeamisen ja sen sisällä olevan sulan purskahduksen. Kuparikokillista alkavat jäähtymisvyöhykkeet, joissa jäähtymis tapahtuu valunauhan pintaan ohjatuilla vesi - ilma seoksilla. Nauha jäähtyy halutusti (kuori paksunee) jäähtymisvyöhykkeeltä toiselle siirtyessä. /3/

1.2.3 Valukaari

Valukaari koostuu kahdesta päällekkäisestä rullastosta, joita kutsutaan ulko- ja sisäkaareksi. Rullat ovat asetettu tiettyyn kulmaan, jota kutsutaan valukoneen säteeksi. Säde on yleensä 8-12 metriä. Rullien halkaisija kaaren yläosassa on pienempi kuin kaaren alaosassa, jotta ne tukevat ohutta aihionkuorta ja ehkäisevät sitä pullistumasta. Valukaari voi olla yksi suuri elementti tai koostua monesta segmentistä, joita voidaan vaihtaa erikseen. Käsittelemäni valukaari koostuu 10 segmentistä. /3/

1.2.4 Jäähtymisvyöhykkeet

Jäähtymisvyöhykkeet sijaitsevat valukaarella: ensimmäinen vyöhyke on heti kokillissa ja viimeinen segmentillä numero 9 ja 10. Yhteensä jäähtymisvyöhykkeitä on yhdeksän kappaletta. Vyöhykkeiden tarkoituksena on jäähtyttää valunauhaa siten, että valunauhan kuori pysyy kasassa eikä puhkeamis tapahtu. Toisaalta valunauhan kuori ei saa olla liian paksu, jotta valunauha ei murru taivutuksissa. /3/

2 MÄÄRITELMÄ

Tässä insinööriyössä tullaan tekemään sekä käytännössä että teoriassa jatkuvavalukoneelle hyödyllinen sovellus. Sovellus on kaksiväripyrometrein toteutettu koskemattomuuteen perustuva valunauhan pinnanlämpötilan mittausjärjestelmä. Järjestelmä käsittää 10 mittauspistettä ja ne sijaitsevat tarkoin määritellyillä paikoilla jatkuvavalukoneen valukaarella.

Lämmönmittauspisteet ovat jaoteltu siten, että kuusi kappaletta mittauspisteitä asennetaan valukaarelle polttoleikkaushallin puolelle ja neljä kappaletta mittauspisteitä asennetaan heti kokillin alapuolelle taivutuslohkon kammioon.

Tarkoituksena on myös suunnitella mahdollisimman yksinkertaiset, mutta tehokkaat tavat sekä jäähdyttää että suojella pyrometrilaitteistoja ulkoisilta vaikutuksilta. Tällaisia ovat esimerkiksi valukoneen puhkeamisen yhteydessä purskahtavat sularoiskeet ja korkea ympäristön lämpötila.

Pyrometrilaitteistot tulisi myös saada mahdollisimman järkevillä ja helposti poistettavilla asennuksilla kiinnitettyä mittauspisteisiin. Kiinnityksien tulisi myös olla sellaiset, että niiden avulla erittäin herkkien pyrometrien säätäminen ja kohdistaminen onnistuvat ongelmitta.

3 TOIMINTAOLOSUHTEET

Insinööriyöni tehdään jaloterässulaton vaativissa käyttöolosuhteissa. Kaikista vaikeimmat olosuhteet ovat heti kokillin alla. Kokillin alla olevassa taivutuslohkossa on neljä jäähdytysvyöhykettä, joista jokaiseen tulisi saada mittauspiste. Vaikeusastetta kohottavana tekijänä on se, ettei lohkolle pääse näkemään valujen aikana lainkaan.

Mittaus tehdään kaaren sisäpuolelta, jossa taivutuslohkon kohdalla on eräänlainen kammio. Kammiossa vallitsee kova kuumuus valujen aikana: arvioimme kuumuuden nousevan ilmassa jopa 120 - 250 asteeseen. Muita häiriötekijöitä ovat ilmassa olevat savukaasut ja vesihöyry.

Savukaasuja syntyy luonnollisesti teräksen mukana tulevista epäpuhtauksista. Valukaaren ympäristössä on muutenkin runsaasti savukaasuja, koska polttoleikkauskone sijaitsee samassa hallissa valukaaren kanssa.

Vesihöyryä on erityisesti kammiossa, koska kuumuus valunauhassa on suurimmillaan ja sitä jäähdytetään korkeapainesuuttimien läpi tulevalla vedellä. Valunauhan pintaa siis jäähdytetään runsaalla vedellä, mikä aiheuttaa valunauhan pintaan vesikalvon. Kalvo taittaa valoa, mikä voi häiritä muiden häiriötekijöiden yhteisvaikutuksesta pyrometrin sädetä niin, ettei se mittaa todellisia lukemia vaan taittuu kokonaan pois nauhasta.

Savukaasuilla, vesihöyryllä ja vesikalvolla on ratkaiseva merkitys siinä, pystyykö kaksiväripyrometri läpäisemään niitä ja mittaamaan todellisia tuloksia aihion pinnasta. Aiemmat pyrometrit, jotka olivat yksivärisiä, eivät pystyneet läpäisemään näin montaa vallitsevaa häiriötekijää. Kaikkien mittauspisteiden olosuhteet eivät ole yhtä vaativia kuin neljän ensimmäisen mittauspisteen. Loput mittauspisteet sijaitsevat polttoleikkaushallin puolella ja ovat näin paljon helpommassa olosuhteissa.

Taulukko 1 esittää lämpötilaolosuhteita, jotka polttoleikkaushallissa vallitsevat. Mittaus tehtiin käsipyrometrilla ja mittauspisteet ovat juuri niitä pisteitä, joissa pyrometrien mittauspäiden tulisi sijaita.

Taulukko 1. Pyrometrien ulkoisten olosuhteiden lämpötilan mittaustuloksia

Segmenttien väliin sijoitettavien pyrometrien olosuhteiden käyttölämpötiloja		
	SEINÄ/ILMA	ETÄISYYS
Segmentti 1	58	2500
Segmentti 2	52,8	2500
Segmentti 3	52,6	2500
Segmentti 4	51,6	2500
Segmentti 5	50	2500
Segmentti 6	52	2500
Segmentti 7	58,3	2500
Segmentti 8	58,3	2500
Segmentti 9	63,7	2500
Segmentti 10	74,7	2500

Tietojen keräys tehty käsipyrometrilla
SEINÄ/ILMA = Ilman lämpötila astetta celsiusta paikassa jossa pyrometri sijaitsee
ETÄISYYS = Etäisyys millimetreinä valunauhan keskeltä mittapäähän

4 RISKIANALYYSI

Työn tekeminen edellyttää erittäin huolellista toimintaa erittäin vaativissa olosuhteissa. Perusedellytyksinä turvalliselle työskentelylle on noudattaa tehtaan sekä sen jaloterässulaton osastokohtaisia turvallisuusohjeita ja -määräyksiä. Työskentely alueella edellyttää myös osastokohtaisen työturvallisuuskurssin käymistä.

4.1 Yleiset turvallisuusriskit

Terässulaton yleisimmät terveyshaitat ovat pöly, melu, lämpösäteily ja häikäisy. Koko terässulaton alueella on pakollista käyttää seuraavia suojarusteita:

- Suojakypärä
- Suojalasit
- Turvakengät: käyttö on pakollista lukuun ottamatta ohjaamoja sekä toimistotiloja. Näiden lisäksi vierailureiteillä ei ole pakollista käyttää turvakenkiä.
- Kuulosuojaimet: käyttö on pakollista lukuun ottamatta ohjaamoja, kunnossapitotiloja, toimistoja sekä muuraushallin massa- ja tiilivarastoja. Kuitenkin kuulosuojaimia käytetään aina, kun äänitaso nousee korkeaksi tai erityisen voimakkaaksi.
- Suojalasit
- Hengityssuojaimet: ovat pakolliset erityisen pölyisissä kohteissa.

4.2 Koneet ja laitteet vaaratekijänä

Koneen odottamaton käynnistyminen voi myös olla mahdollista, mikäli prosessityötä tekevällä henkilökunnalla ei ole tietoa alueella työskentelevistä henkilöistä. Tämä ehkäistään antamalla tieto työskentelystä vuorotyönjohtajalle sekä kirjoittamalla ohjaamossa olevalle ilmoitustaululle mitä, missä, milloin ja kuka tekee. Tämän työn tekemisen kannalta eniten vaaratekijöitä aiheuttavat jatkuvavalukone, polttoleikkauskone ja polttoleikkaushallissa sijaitseva nosturi. On tärkeä tietää, missä suorituksen tilassa jokainen näistä laitteista on.

4.3 Pyrometrin käytön turvallisuus

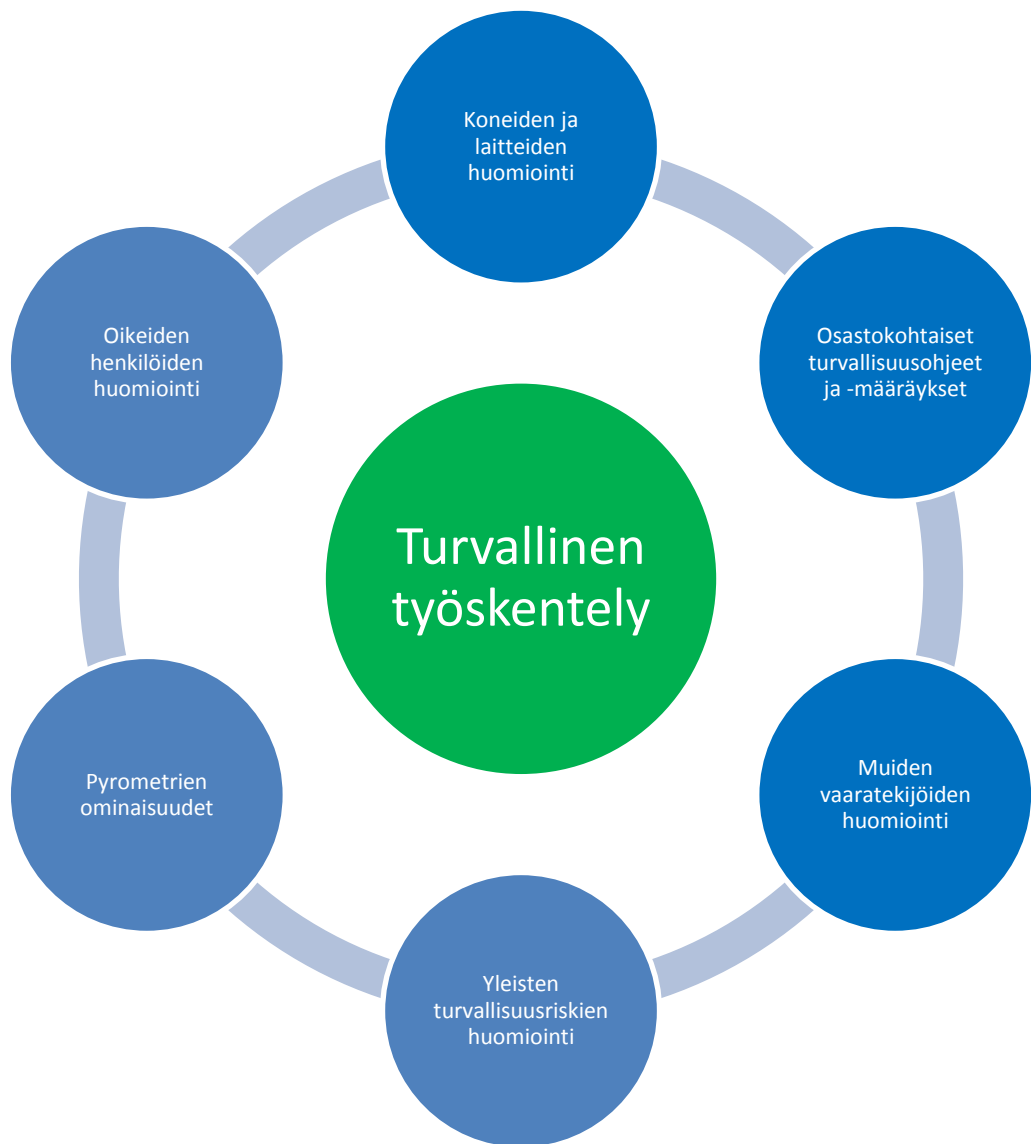
Käyttämämme pyrometrit itsessään eivät ole hengenvaarallisia. Ne ovat kuitenkin laitteita, joita tulee käyttää valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. Pyrometrin lähettämä säteily ei ole vaarallinen iholle osuessaan. Kaksiväripyrometrin lähettämä säde tulisi kuitenkin ehdottomasti suunnata niin, ettei se missään tilanteessa osoita silmiin. Laitte tulisi aina ensiksi asentaa oikealle paikalleen ennen kuin virta kytketään päälle. Tämä ei ole yleistys kaikista pyrometreista vaan ainoastaan näistä kahdesta pyrometrimallista, jotka ovat käytössämme (FR1B ja MI3G5). Luonnollisesti itse pyrometrilaitteisto on sähköistetty, mikä on oma vaaratekijänsä. Tästä syystä sähköasennuksiin tulee käyttää vain sähkötöiden osaavaa ja koulutuksen saanutta henkilökuntaa. Laitteen kytkeminen tulisi tehdä huolellisesti kokonaan ennen kuin virta kytketään laitteistoon.

4.4 Muut vaaratekijät

Suurimpia turvallisuusriskejä tätä työtä tehdessä ovat suuresta aihoiden lähettämästä lämpösäteilystä syntyneet pintojen kuumuudet. Erityisesti kokillin alapuolella, missä aihio on kuumimmillaan, on erittäin lämpimiä kohteita. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli alueella toimitaan, tulisi välttää työskentelyä heti valujen loputtua. Syitä pieneen odotteluun ovat erittäin kuumat seinämien ja kaiteiden pinnat. Kuumiin pintoihin koskeminen voi aiheuttaa välittömiä palovammoja. Toiminta-alueellamme on myös monia muita turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Jatkuvalukoneella ja sen ympäristössä on erittäin paljon tasoja ja rappusia eri kerrosten välillä. Suurimpia vahinkojen aiheuttajia ovat liian suuri nopeus portaissa ja huolimaton työskentely eri tasoilla. Nämä aiheuttavat kompastumisia, tarttumisia ja jopa putoamisia tai työkalujen pudottamisia eri tasoilla. Koska tasot ovat päällekkäin, tulisi työkalujen kiinnitykseen kiinnittää huomiota työskenneltäessä korkealla.

Uusien laitteiden asennuksessa on tärkeää huomioida, että ne eivät tule häiritsemään prosessin kulkua millään tasolla. Mikäli laitteista aiheutuu jotain poikkeavia toimintoja käynnissä olevalle prosessille, voi seurauksena olla jokin normaalista poikkeava toiminto ja turvallisuuden vaarantuminen. Varsinkin taivutuslohkolle asennettavat laitteet tulee suunnitella siten, että rakenteet eivät estä mitään toimintoja. Tällä kaikella pyritään siihen, että vaaratilanteilta vältyttäisiin.

Tämän mittausjärjestelmän suunnittelussa ja käytännön toteutuksessa on monia eri vaiheita. On tärkeää käyttää jokaisessa vaiheessa asiantuntevaa henkilöstöä. Turvallisuuden lähtökohtana on aina se, että ymmärtää mitä on tekemässä. Mikäli on kyse sähkötoista, hitsaamisesta tai prosessityöstä tulee työhön käyttää aina asian osaavaa henkilöä tai henkilöstöä. Näin takaamme, että tiedämme mitä olemme tekemässä. Kuvassa 3 on esitetty pääasiat, jotka tulee ottaa huomioon tässä projektissa työskenneltäessä.



Kuva 3. Turvallisen työskentelyn pääasiat

5 MITTAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN TARKOITUS

Mittausjärjestelmällä on tarkoitus saada mitatuksi valunauhan pinnan lämpötiloja valun eri vaiheissa reaaliaikaisesti. Tällä tarkoitetaan, että valunauhasta halutaan saada valunauhasta tarkkaa käytännön lämpötilatietoa alkaen heti ensimmäisestä jäähdytysvyöhykkeestä. Aiemmin vastaavanlaista järjestelmää ei ole ollut käytössä, vaan valunauhan lämpötila on perusteltu matemaattisten laskentojen perusteella. Tarkoitus on siis vahvistaa laskennallinen tieto oikeaksi ja saada käytännön tieto tutkimusten avuksi. Varmistettu lämpötilatieto olisi äärettömän tärkeä, kun ajatellaan valunauhan jäähdytystä, laatua, valukoneen puhkeamisen ehkäisyä ja valunopeuksia. /11/, /12/

6 KUITUOPTISEN PYROMETRIN TOIMINTAPERIAATE

Kuituoptisia pyrometreja käytetään sovelluksissa, joissa voimakkaat sähkö- tai magneettikentät häiritsevät elektronisia laitteita yhdessä muiden ulkoisten häiriötekijöiden, kuten kuumuuden ja kosteuden kanssa. Laitteen herkkä elektroniikka voidaan sijoittaa kuituoptiikan avulla kauemmaksi näistä vaikeista olosuhteista. Pitkillä kuitukaapeilla herkkä elektroniikka voidaan kuljettaa jopa 15 metrin päähän optiikasta. Kuituoptiikka ei itsessään sisällä sähköisiä komponentteja, joten se voidaan asentaa ilman jäädytystä paikkaan, jonka lämpötila on huomattavan korkea. Parhaimmillaan optiikka voidaan asentaa paikkaan, jonka lämpötila on jopa 200 - 300 °C. Kuituoptiikka antaa mahdollisuuden helpompiin asennustapoihin ja sen avulla laitteistot on helpompi rakentaa kestävämmän kovempia kuumuuksia ja vaikeampia mittaolosuhteita. /7/

6.1 Kuituoptinen kaksiväripyrometri

Kaksiväripyrometrissa on kaksi identtistä optista ja sähköistä mittauskanavaa. Laitteen kaksi hyvin kapeakaistaista mittausaallonpituutta on viritetty hyvin lähelle toisiaan, jotta materiaalista riippuvat suureet kuten heijastus ja emissiokerroin olisivat hyvin lähellä toisiaan molemmilla aallonpituuksilla. Kahdesta mittauksesta lasketaan matemaattisesti niiden suhde ja näin voidaan eliminoida tietyt infrapunamittauksen ongelmat. /7/

Kaksivärimittaus on riippumaton mitattavan kohteen pinta-alasta. Kohteen lähettämän säteilyn määrä vähenee molemmissa mittauskanavissa yhtä paljon. Tämän takia säteilyn suhde kanavien kesken ei siis muutu. Lisäksi tämä johtaa siihen, että pyrometri mittaa oikein myös kohteen, joka on laitteen mittausetäisyydellä vähemmän aikaa kuin ilmaisimen reagointi-aika on. /7/

Itse mittaustapahtuma on siis äärimmäisen nopea ja laitteella voidaan mitata nopeasti liikkuvia kohteita. Yksivärimittaukseen verrattaessa kaksivärimittauksessa väliaineen aiheuttama häiriö voidaan eliminoida. Lisäksi kaksivärimittaukseen voidaan käyttää pölyisissä tai savuisissa olosuhteissa. Nykyaikaiset mittalaitteet mittaavat säteilyn vaimennusta ja ilmoittavat, mikäli linssi on pölyntynyt tai likaantunut ilmapursotuksen vikaantuessa. /7/



Kuva 4. Kuituoptinen kaksiväripyrometri. /7/

6.2 Pyrometryypin valinta

Pyrometryypin valintaan vaikuttivat monet eri tekijät. Suurin vaikuttaja pyrometrin valintaan oli kappaleessa kolme mainitut olosuhteet. Toisena valintaperusteena oli pyrometrin sijoittaminen tehtaan omaan Honeywell Data Processing System-järjestelmään. Luonnollisesti laitteilla on euromääräinen budjetti, johon tulisi päästä. Ongelmaa lähdettiin purkamaan selvittämällä millaisia pyrometrejä on olemassa. Tiedossa oli muutama eri kaksiväripyrometrin valmistaja.

Lähdin keräämään tietoja eri valmistajista Internetin avulla. Pyrometrien valmistajia on useampia ja tämä antoi minulle enemmän mahdollisuuksia. Käytin myös hyväkseni minulle annettuja tietoja eri valmistajista sekä heidän pyrometrilaitteistoistaan. Tornion tehtaalle on jo aiemmin hankittu käsikäyttöisiä pyrometrejä, joten myös tämä täytyi huomioida.

Vertailtuani eri pyrometrejä sekä niiden valmistajia huomasin hyvin nopeasti, ettei tarvitsemiamme laitteistoja ole markkinoilla kovin useita. Tehtyäni yhteydenottoja päädyin kolmeen eri valmistajaan ja heidän pyrometreihiinsa.

Lopullisen valinnan tein hintavertailun ja ominaisuuksien perusteella. Ajatuksena oli, että pakettiin kuuluisi kaikki mitä lämpötilan mittaus edellyttää. Tarvitsemani paketin tuli sisältää:

- 10 kappaletta pyrometrejä
- Pyrometreille tarvittavia asennustarvikkeita
- Pyrometreille sopiva ohjelmisto tiedonkeruuta varten
- Datalogger tiedonkäsittelyyn.

Päädyin kokonaisuuden takia Raytek Oy:n tuotteisiin.

7 KOEJÄRJESTELYT

Pyrometrien valinta perustui siis niiden sopivuuteen ja käytön helppouteen. Missään vaiheessa ei kuitenkaan ollut varmaa tietoa siitä, toimiiko kaksiväripyrometri juuri näissä olosuhteissa mahdollisimman tarkasti tai saadanko sillä yleensäkin mitattua mitään lukemia. Pyysin siis koekäyttöön pyrometrin, jota olin sen ominaisuuksien perusteella suunnittelemassa taivutuslohkon kammioon. Pyrometri on tyypiltään kaksiväripyrometri ja laitteen merkki sekä malli on Raytek Marathon FR1B; tarkemmat tekniset tiedot laitteesta esitellään liitteessä 2. En kuitenkaan saanut pyytämäni laitetta, vaan sain koekäyttöön mallin Raytek Marathon FR1A; tarkemmat tekniset tiedot ovat liitteessä 1. Syy eri laitteeseen oli se, ettei pyytämäni laitetta ollut vielä valmistettu. Käyttämässäni testilaitteessa optisen mittapään ja älylaatikon välinen datakaapeli oli 3000 mm pitkä. Tämä helpotti mittapään sijoittamista vaikeisiin paikkoihin. /5/ , /6/

Koejärjestely oli yksinkertainen. Tarkoituksena oli kokeilla laitetta ensiksi aivan helppoissa olosuhteissa, jotta näen, minkälaisia tuloksia laite antaa ja mikä on laitteen luotettavuus. Tilanne kulminoitui kuitenkin siihen, että aloin suunnitella laitetta asennettavaksi sellaiseen tilaan, joka simuloisi suoraan tilannetta taivutuslohkon kammiossa. Tällainen paikka löytyi helposti ja näin tehtiin tarvittavat sähkö- ja asennustyöt saadaksemme laitteen mittaamaan.

Lähtötilanne ei ollut helppo, koska minulla ei ollut kokemusta, miten kaksiväripyrometri käyttäytyy tämän tyyppisessä tilanteessa. Oli kuitenkin oletettavissa, että suurimman ongelman aiheuttaa valunauhan runsaasta huuhtelusta valukaaren yläpäässä aiheutuva vesikalvo. Simuloidut olosuhteet olivat sikäli erilaiset, että tässä ei testattu laitteen ulkoista sietokykyä vallitsevissa olosuhteissa vaan ainoastaan laitteen mittauskykyä.

Koe aloitettiin etsimällä lähin sähkökaappi, josta saisin mA-signaalin kulkemaan automaatiotilaan. Tilanne oli siinä mielessä hyvä, että sähkökaappeja on suhteellisen paljon. Tarvitsemani sähkökaappi sijaitsi valukaaren yläpäässä, aivan mittauspaikan vieressä. Tämä helpotti koejärjestelyjen väliaikaisuudesta johtuvien töiden minimointia. Pyrometrin tiedonkeruu järjestettiin tehtaan omaan Honeywell-järjestelmään. Tarkoituksena oli saada aikaan lämpötilalukema ja diagrammi, joilla pystyisin todentamaan tulosten oikeellisuuden sekä laitteen toimivuuden. Koejärjestelyä varten jouduin siis asentamaan mA-tiedonkeruukaapelin, ohjelmoimaan Honeywell-järjestelmään pyrometrin tiedonkeruuohjelman sekä hankkimaan pieniä apuvälineitä optisen mittauspään liikuttamiseksi lähelle aihiota. /6/

Mittaus 1: Mittaukset suoritettiin ilta- ja yövuoron aikana, jotta mittauksesta aiheutuisi mahdollisimman vähän häiriöitä. Ensimmäinen mittaus toteutettiin siten, että optinen mittapää kohdistettiin näyttämään aihion kapeaa sivua kohden. Matkaa mittapään ja aihion välillä oli noin 2500 mm. Mittaus epäonnistui eikä minkäänlaisia tuloksia saatu aikaiseksi. Epäonnistumiseen johtaneita syitä olivat:

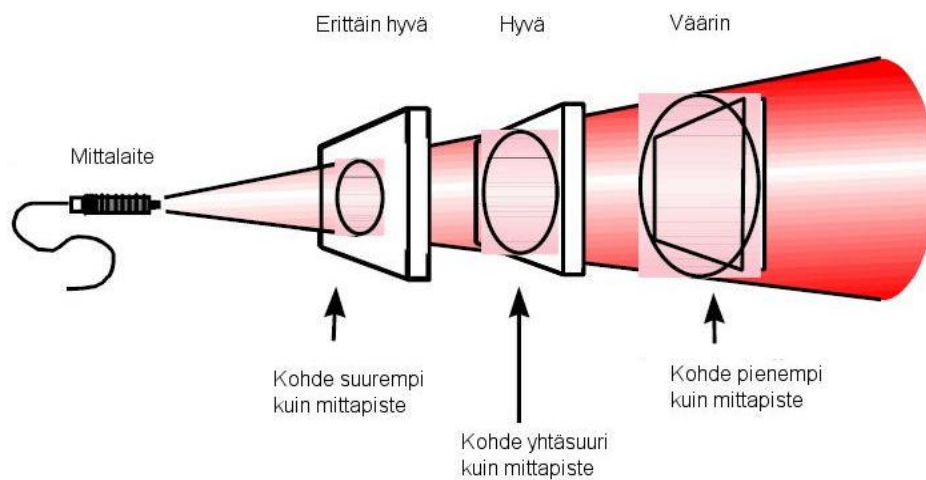
- läpinäkemätön vesihöyry
- veden runsas virtaus valunauhan sivulla
- valunauhan vesikalvo
- optisen mittalaitteen väärä kulma suhteessa valunauhaan
- optiikan väärä resoluutio (20:1)
- liian pitkä matka mittauspään ja valunauhan välillä (2500mm)
- väärä lämpötila-asteikko laitteessa
- mittauslaitteen väärät asetusarvot.

Mittaus 2: Ensimmäinen mittaus oli nyt tehty ja se antoi tietoa mitä asioita lähden korjaamaan. Ensimmäisenä tarkastin laitteen asetukset, kuten emissiokertoimen (0,95). Koska vesihöyryn määrään ja veden virtauksiin ei voida vaikuttaa, täytyi kehitellä jokin muu ratkaisu. Veden ja höyryn liikkeitä seuraamalla huomasin, kuinka ne liikkuvat aina tiettyyn suuntaan mittauspisteessä, mikä johtuu höyryn poistoista ja muista ympäristön tekijöistä. Päätin asettaa optisen mittalaitteen eri kulmaan, jotta mittauspään ja valunauhan välillä kulkevaan säteeseen ei osuisi liikaa häiriötekijöitä. En vielä muuttanut mittausetäisyyttä, koska kaukaa tehty mittaus säästää laitteistoa. Mittaus käynnistettiin, mutta laitteisto ei antanut mitään tuloksia. Arvelin vian olevan mittapään kohdistuksessa. Epäonnistumiseen johtanut syy oli:

- optisen mittapään kohdistus

Mittaus 3: Kolmannella mittauskerralla otin huomioon optisen mittauspään kulman suhteessa valunauhaan. Laitteen antamien ohjeiden mukaan mittapää ei saa olla maksimissaan kuin 45° kulmassa. Nyt kohdistin optiikan näyttämään suoraan valunauhan kapeaan sivuun. Käytin hyväkseni rautaputkea, jonka sisällä mittapää oli. Tällä pyrin vähentämään pyrometrin lähettämään säteeseen kohdistuvia häiriötekijöitä. Mittaus aloitettiin ja pyrometri alkoi vihdoinkin antaa tuloksia (Liite 5). Laitteen antamat lämpötilat eivät kuitenkaan olleet oikeat, mutta nyt tiesin, että säde läpäisee olosuhteita ja toimii. Mietin miksi tulos ei ollut oikea ja lopulta keksin syyn. Infrapunasäteiden mittausalue 2000 mm päästä aihion kapeaa sivua vasten oli liian suuri, koska mittapään resoluution tarkkuus oli puutteellinen. Mittausalue ulottui molemmin puolin yli aihion ja laite mittasi näin myös rullien lämpötilaa (kuva 5). Epäonnistumiseen johtanut syy oli:

- mittapään liian pitkä etäisyys valunauhasta



Kuva 5. Kohteen koko suhteessa mittapisteeseen. /7/

Mittaus 4: Toimin samoin kuin edellisessä mittauksessa, mutta tällä kertaa asensin mittapään niin lähelle aihiota, että mitta-alue pysyy aihion kapean sivun reunojen sisällä. Mittaus onnistui ja antoi mainioita tuloksia (Liite 6). Tästä mittauksesta sain kaiken tarpeellisen tiedon sille, kuinka pyrometri saadaan toimimaan luotettavasti. Tärkeitä asioita olivat:

- Mittapään sijoittaminen suojassa riittävän lähelle, testissä käytettiin sopivaa rautaputkea.
- Mittapään tulee olla kohtisuorassa valunauhaan nähden, koska valunauhan pinnassa oleva vesikalvo taittaa säteen näyttämään pois päin.
- Optisen mittapään likaantumisen ehkäisemiseksi tulee suojaputkeen kytkeä paineilma.
- Aihion pintaan ei tarvitse asentaa mitään mekaanista kosketinta, joka rikkoon vesikalvon.
- Optisen mittapään kohdistamisen tulee olla erittäin tarkka, ettei mitata jotain muuta kuin valunauhan pintaa.

Onnistunut mittaustulos tarkoitti käytännössä sitä, että voimme luottaa laitteisiin ja niistä voidaan pyytää tarjous. /5/

8 TOTEUTUS

Pyrometralaitteiston asennuksen tärkeys korostuu erityisesti valukaaren ensimmäisillä jäähdytysvyöhykkeillä, vaikkakin asennettavan laitteiston toimintaolosuhteet saavat olla erittäin huonot. Teknisistä tiedoista (LIITE 2 ja LIITE 3) selviävät tärkeimmät tiedot kuten optisen kaapelin lämpötilan kesto ilman suojausta sekä itse älylaatikon kosteuden ja lämpötilan sieto.

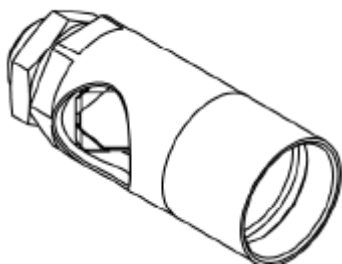
8.1 Suunnittelu

Mittalaitteiden asennuksen ja sijoituspaikkojen suunnittelun perustana ovat ennalta annetut ohjeet ja rajoitukset, joiden mukaan tulee toimia. Tällaisia suunnittelun ohjaimia ovat mm:

- mittauspisteiden ennalta määritetyt paikat
- mittalaitteiden kestävyys
- mittapään ja valunauhan välinen etäisyys
- ahtaat tilat
- suojaukset elektronisille laitteille
- jäähdytysilman saanti
- johdotuksien läpiviennit.

Suunnittelussa käytetään apuna terässulaton omaa automaatiohenkilöstöä, joilla on kokemusta vastaavanlaisista laitteistoista ja alueesta, johon laitteisto tullaan asentamaan.

Eniten suunnittelua ja esivalmistelua kaipaavat itse pyrometriä asennuspaikat. Pyrometriä optinen mittauspää joudutaan suojaamaan pölyltä, vesihöyryltä ja roiskeilta. Kaaren alemmilla osilla, jäähdytysvyöhykkeillä 5 – 9, käytetään suojauksessa apuna valmistajan omia mittapään suojaussovelluksia. Esimerkki valmistajan linssisuojaimesta on kuvassa 6.



Kuva 6. Esimerkkisuojaus M3 pyrometrin mittapäälle /8/

Kuvassa 6 olevaan linssin suojukseen on myös mahdollista asentaa paineilmajäähditys, joten mittapää on näin ollen mahdollista sijoittaa lähemmäksi valunauhaa.

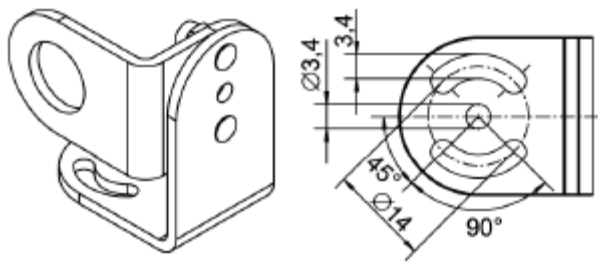
Suunnitelmissa on rakentaa yhteisjäähditys valukaaren jäähditysvyöhykkeiden 1-4 mittalaitteille. Yhteisjäähdityksellä tarkoitetaan sitä, että pyrometrien älylaatikot on sijoitettu mahdollisimman lähelle taivutuslohkoa samaan tiiviiseen sähkökaappiin. Sähkökaapista optiset kaapelit johdettaisiin mittauspisteisiin eritellyissä suojaputkissa. Sähkökaappiin kytketään reilu jäähdyttävä paineilma mikä poistuu kaapista optisten kaapeleiden suojaputkia pitkin jäähdyttäen samalla kaapeleita ja optisia mittapäitä. Optisten mittapäiden ollessa ylipaineistettuja voidaan kokemuksesta olettaa, että ilma suojaa linssijä likautumiselta ja vedenkertymiseltä suojaputkiin.

8.2 Asennus

Asennuksessa tulee ottaa huomioon monia mittauksen lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä. Tällaisia ovat mm:

- optiikan suuntaaminen tarkasti
- värinöiden vaikutus
- laitteiston nopea pois purettavuus
- kiinnityksien yksinkertaisuus.

Laitteiston toimittajalla on tarjota mittaoptiikan suuntaamiseen valmiiksi kehitellyt sovellukset ja ne on todettu hyväksi, joten myös tässä asennuksessa käytämme kuvassa 7 olevaa säätöpala mittapisteiden 5-9 säätämiseen sekä asentamiseen. Säätöpala on yhteensopiva mittapään suojaamiseen tarkoitetun suojan kanssa (Kuva 6).



Kuva 7. Mittapään säätöpala /8/

Itse mittapää on tarkoitettu kiinnittämään jäähdytysvyöhykkeen alku- tai loppurajalle. Kuvista 8 ja 9 näkee, kuinka pieni väli segmenttien välissä on. Tämä korostaa erityisesti mittapään asennuksen tarkkuuden merkitystä ja asennustelineen säätömahdollisuuksien tärkeyttä.

Jäähdytysvyöhykkeille 5 – 9 asennettavien pyrometrien älylaatikot sijoitetaan valukaaren vierellä kulkevalle tasolle sähkökaappeihin siten, että useampi älylaatikko sijaitsee samassa paikassa riippuen mittauspisteiden etäisyyksistä. Näin yksinkertaistetaan johdotuksia sekä saadaan suojattua herkät mittalaitteet.



Kuva 8. MI3G5-pyrometrin mittauspiste. /5/



Kuva 9. Kahden segmentin väli. /5/

Valukaaren alkupäähän jäädytysvyöhykkeille 1-4 asennettavien kaksiväripyrometrieni optiset mittapäät ovat erittäin vaikeissa olosuhteissa. Näiden olosuhdehaasteiden vuoksi mittapäiden asennus on paljon vaikeampaa kuin jäädytysvyöhykkeille 5 – 9. Tästä syystä mittapäät joudutaan asentamaan putken sisälle siten, että asennus voidaan tehdä mahdollisimman lähelle valunauhaa. Kaksiväripyrometrin älylaatikko on sijoitettu tiiviiseen sähkökaappiin, aivan kuten kappaleessa 8.1 kerrottiin. Sähkökaappiin johdettu paineilma purkaantuu optisen kaapelin suoja-putkea pitkin optisen mittapään suoja-putkeen, joka aiheuttaa ylipaineen. Ylipaineen avulla pyrimme ehkäisemään optiikan likaantumista ja ulkoisten häiriötekijöiden, kuten vesihöyryn vaikutusta mittaukseen. Paineilma toimii myös johdotuksien ja mittapään jäädytyksenä. Jäädytystä tarvitaan, koska valunauhan ja mittapään välinen etäisyys on pieni. Kuvassa 10 on älylaatikoiden sähkökaapeille tarkoitettu paikka taivutuslohkon kammiossa.



Kuva 10. Jäädytysvyöhykkeiden 1-4 asennettavien pyrometrieni sähkökaappien asennuspaikka. /5/

Kuvassa 10 rajattu alue on noin 2500 mm päässä itse valunauhasta, mikä tarkoittaa, että myös sähkökaapit ovat kuumissa olosuhteissa. Koska sähkökaappeja on tarkoitus asentaa kaksi kappaletta, joihin molempiin sijoitetaan kaksi kappaletta pyrometrieni älylaatikoita, tulee kaappien koko olla kompakti tilankäytön suhteen. Pyrometriit ovat varustettu 3000 mm pitkillä optisilla

kaapeleilla. Mittapäät sijoitetaan noin 500 – 1200 mm päähän itse valunauhasta suojaavan putken sisälle. Mittapäiden kohdentaminen tapahtuu omia sovelluksia käyttäen. Sovellukset tarkentuvat rakennusvaiheen aikana ja niitä tullaan muotoilemaan sekä käytön että testauksen aikana mahdollisimman varmoiksi.

Asennuksessa käytetään kunnossapidon ammattihenkilöstöä, jotka tuntevat ja hallitsevat valukaaren ympäristön asennusmahdollisuuden sähköistyksen ja huollon kannalta. Asennuksessa tehtävät johdotukset, paineilmalinjan muutokset sekä mahdolliset hitsausliitokset tehdään muuttamatta valukoneen rakenteita tai prosessikoneita.

9 VALMIIN LAITTEISTON KÄYTTÖNOTTO

Järjestelmän käyttöönotossa oli suuria ongelmia asennusteknisistä syistä johtuen. Pyrometrilaitteistojen asennus jäähdytysvyöhykkeiden rajoille ei ollut niin helppoa ja yksinkertaista kuin alkuperäisessä suunnitelmassa kaavailtiin. Asennustelineiden tärinä, ilmankosteus, pölyt sekä kova kuumuus aiheuttivat päänvaivaa. Heti ensimmäistä mittausta tehdessä mittapää joutui liian lähelle kuumaa valunauhaa ja paloi toimintakelvottomaksi. Toimivia mittauspisteitä saatiin kuitenkin asennettua 5 kappaletta. Mittaukset saadaan tällä hetkellä jäähdytysvyöhykkeiden 4-5, 6-7 ja 8-9 alku- ja loppurajoilta. Alkuperäisesti suunnitellut kolme ensimmäistä mittausta asennetaan suuremmissa seisakissa, mahdollisesti syksyllä 2011.

Jokainen yksittäinen pyrometri on kalibroitu ja säädetty näyttämään ruostumattomalle teräkselle oikeita lukemia. Tärkeimpiä säätöjä olivat mittapään korkeuden ja kaltevuuden säätö. Väärässä kulmassa ja väärältä korkeudelta säde saattaa osua väärään kohteeseen ja antaa näin vääriä lämpötilatietoja. Yhtenä merkittävänä muuttujana oli emissiokerroin. Sen löytäminen oli luotettavuuden kannalta erittäin tärkeää. Tällä hetkellä laitteet mittaavat ja antavat lämpötilatietoa, joka tulkitaan ja josta voidaan tehdä päätelmiä.

Luotettavuuden arviointiin tehtiin useampi testijakso. Saman mallityypin laitteita laitettiin vierekkäin mittaamaan samasta pisteestä lämpötilatietoa. Näin saimme selville laitteiden välisen eroavaisuuden mitattaessa samaa kohdetta samoilla säädöillä. Vertasimme myös tuloksia laitevalmistajan antamiin virhemarginaaleihin ja tulokset olivat hyviä. Mittauksissa on edelleen kovasti työtä, sillä uskottavan tuloksen saamiseksi mittapäiden kunnon tarkkailun on oltava jatkuvaa. Erilaiset höyryt ja pölyt likaavat mittapäätä erittäin herkästi. Linssien likaantuminen aiheuttaa välittömän mittavirheen. Mittapäätä ja linssiä jäähdyttävä sekä puhdistava paineilma on syytä pitää päällä koko ajan.

Pyrometrien lähettimet asennettiin tilanteeseen sopivalla tavalla omiin sähkökaapeihin jäähdytysvyöhyke pareittain. Sähkökaappien lämpötilat nousivat maksimissaan noin 50 °C, joten laitteiden pitäisi selvitä tässä kuumuudessa oikein hyvin.



Kuva 11. Pyrometriä suojeleva sähkökaappi



Kuva 12. Pyrometrien asennus pareittain

10 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Laitteistolla on useita eri kehitysmahdollisuuksia, kuten esimerkiksi mittauspisteiden määrän lisääminen. Mittauspisteiden lisääminen on nyt huomattavasti helpompaa, koska kaikki ongelmat mittauksien onnistumiseksi on ratkaistu. Koska mittaaminen tapahtuu tällä hetkellä keskeltä valunauhaa, olisi tutkimuksen kannalta tärkeä mitata lämpötilaa myös valunauhan reunoilta. Tämä on mahdollista lisäämällä mittauspisteitä.

Mittausmenetelmä olisi myös mahdollista laajentaa lämpökamera perusteiseen mittaamiseen. Lämpökameralla saisi vielä kaksiväripyrometriä tarkempaa lämpötilatietoa. Lisäksi lämpökameralla voisi herkemmin erotella eri lämpötila-alueet toisistaan.

Mittausjärjestelmä on kytketty tehtaan omaan Honeywellin järjestelmään tiedonkeruun vuoksi. Mikään ei kuitenkaan estä muuttamasta järjestelmää siten, että tiedonkeruu ja analysointi tehtäisiin sopivan dataloggerin avulla. Dataloggeri on tiedonkeruuta varten tehty laitteisto, jonka avulla voidaan tehdä erittäin tarkkaa analyysia tehtävistä mittauksista.

Mikäli mittaus saadaan riittävän tarkaksi ja sen luotettavuus on erinomainen, voidaan harkita lämmönmittauksen liittämistä esimerkiksi jäähdytyspraktiikkaan. Mikäli lämmönmittauksen avulla voitaisiin hallita jäähdytystä, sillä voisi olla myös taloudellisia vaikutuksia esimerkiksi valunopeuden muodossa.

Yksi järjestelmän tärkeimmistä jatkokehitysmahdollisuuksista on kaksiväripyrometrijärjestelmän siirtäminen tehtaan sisällä johonkin muuhun sovellukseen. Esimerkiksi siirtäminen kuuma- tai kylmävalssaamon prosessiin voisi olla tarpeellista. Terässulatolla itsessäänkin on useita prosessin vaiheita, kuten valokaariuuni, johon kaksiväripyrometrijärjestelmää voitaisiin käyttää.

11 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä oli tarkoitus luoda mittausjärjestelmä valunauhan pinnan lämpötilan mittaukseen. Työn tekeminen oli erittäin haastavaa jo senkin vuoksi, että kyseistä järjestelmää ei ollut saatu näissä olosuhteissa aikaisemmin toimimaan luotettavasti. Työssä oli monta eri vaihetta: vaihtoehtojen pohdinta ja tutkiminen, suunnittelu, osto, asennus sekä käyttöönotto.

On todettava, että kyseinen lämpötilan mittausjärjestelmä on erittäin hyödyllinen ja helposti laajennettavissa tarpeiden mukaan. Mittausjärjestelmän hyväksikäyttö tutkimuksissa voi ratkaista useita valutekniikkaa koskevia ongelmia ja todentaa oletettuja tietoja. Valuprosessi on erittäin tarkka ja vaikea tapahtuma, jonka onnistumiseen vaikuttavat lukuisat eri muuttujat. Mikäli tämän laitteiston ja järjestelmän avulla pystytään tutkimaan yhtä vaikeinta muuttujaa, jäähdytystä, pystytään ehkä muuttamaan taloudellisuutta, laatua, laitteiden kestävyyttä ja mahdollisesti tuottavuutta.

Vaikka tällaista järjestelmää ei aikaisemmin ole ollut, ei se tarkoita, ettei valunauhan pinnan lämpötiloja olisi ennenkin mitattu. Aikaisempiin käytäntöihin verrattuna mittaus on kuitenkin jatkuvaa ja se suoritetaan uusilla paremmilla kaksiväripyrometreillä. Mittauksesta saadaan näin ollen tarkempi ja luotettavampi.

12 LÄHDELUETTELO

- /1/ www.teknologiateollisuus.fi/file/7434/O_AIHIOIDENVALU.pdf.html, 1.10.2010
- /2/ Hotcircle/terässulatto/tuotantokaavio
- /3/ Hyytinen Tuomo, Teräksen jatkuvalu, AvestaPolarit Stainless, 4.4.2002
- /4/ Outokumpu vuosikertomus 2009
- /5/ Ryttilahti, Henri, Oma käytännön työ jaloterässulatolla, 13.9.2010 – 31.12.2010
- /6/ Raytek Oy, Operating Instructions Marathon FA/FR Series
- /7/ Sintrol Oy, Kosketuksettoman lämpötilamittauksen perusteet, (WWW- dokumentti), <http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/561file1Upload.pdf>, 17.11.2010
- /8/ Sintrol Oy, MI sarjan tekniset tiedot, (WWW- dokumentti), <http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/697file5Upload.pdf>. 17.11.2010
- /9/ Raytek Corporation, MI3G5 tekniset tiedot, (WWW- dokumentti), http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/3783599_6252_ENG_A_W.PDF, 19.12.2010
- /10/ Sintrol Oy, Raytek Marathon Series FR highlights, (WWW- dokumentti), <http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/489file1Upload.pdf>. 10.10.2010
- /11/ Konttajärvi, Lassi, Jaloterässulaton loppupään aluetyönjohtajan ohjeet, Outokumpu Stainless Oy, 13.9.2010 – 31.12.2010
- /12/ Petäjäjärvi, Marko, Jatkuvalukone tutkija, Outokumpu Stainless Oy, 13.9.2010 – 31.12.2010

13 LIITELUETTELO

Liite 1: Testilaitteen Raytek Marathon FR1A tekniset tiedot

Liite 2: Raytek Marathon FR1B tekniset tiedot

Liite 3: Pyrometri Raytek Marathon MI3G5 tekniset tiedot

Liite 4: Kuva testilaitteen simulointipaikasta

Liite 5: Kuva taivutuslohkon rullien välistä



LIITE 1: Testilaitteen Raytek Marathon FR1A tekniset tiedot

FR- sarja on tarkoitettu korkeiden lämpötilojen mittaukseen. FR- sarjan erinomainen ympäristön olosuhteiden kesto monipuolistaa sarjan käyttöä. Tätä FR- sarjan mallia 1A käytin testilaitteena testatakseni kaksiväripyrometrin toimivuuden. Mallin tekniset tiedot: /10/

- Lämpötila-alue: 500..+1100 °C
- 2- väripyrometri
- Pieni kuituoptinen mittapää
- Vasteaika: 10ms
- RS 485 liitäntä
- Relelähtö
- Sisältää ohjelmistot
- Ympäristön lämpötilankesto +315 °C
- Signaalin prosessointi
- Mittausta eivät häiritse pöly, höyry tai pienet partikkelit
- Erittäin tarkka mittaus



Kuva 13. Kaksiväripyrometri FR1B. /10/

LIITE 2: Raytek Marathon FR1B tekniset tiedot

FR- sarja on tarkoitettu korkeiden lämpötilojen mittaukseen. FR- sarjan erinomainen ympäristön olosuhteiden kesto monipuolistaa sarjan käyttöä. Valukaaren jäähdytysvyöhykkeillä 1-4 käytetään FR- sarjan 1B mallia. Mallin tekniset tiedot: /10/

- Lämpötila-alue: 700..+1500 °C
- 2- väripyrometri
- Pieni kuituoptinen mittapää
- Vasteaika: 10ms
- RS 485 liitäntä
- Relelähtö
- Sisältää ohjelmistot
- Ympäristön lämpötilankesto +315 °C
- Signaalin prosessointi
- Mittausta eivät häiritse pöly, höyry tai pienet partikkelit
- Erittäin tarkka mittaus



Kuva 14. Kaksiväripyrometri FR1B. /10/

LIITE 3: Pyrometri Raytek Marathon MI3G5 tekniset tiedot

MI sarjan pyrometrit koostuvat elektroniikkayksiköstä ja erillisestä optiikasta. Optinen mittapää on niin pieni, että se voidaan asentaa lähes minne tahansa. MID:n elektroniikkayksikössä voidaan näppäimien ja LCD- näytön avulla asetella emissiokerroin, keskiarvolaskenta ja korkeimman/matalimman arvon pito. MID- sarjaan on saatavissa myös RS-232/485 -liityntä, joka mahdollistaa laitteen hallinnan etäkäyttönä. /8/ /9/

- Lämpötila-alue 250...+1650 °C
- Pienikokoinen
- Optiikka ja elektroniikka erillisiä
- Ulostulo: 0/4-20 mA, 0-5 V, J- tai K-termopari
- Helposti asennettavissa ahtaisiin paikkoihin

Sovellukset:

- Lämpökäsittelyunit
- Tekstiilien käsittelyt
- Teollisuuskuivaimet (infrapuna)
- Paperi- ja painokoneiden telat
- Maaliteollisuus
- Elintarviketeollisuus



Kuva 15. MI3G5 pyrometri /9/

LIITE 4: Kuva testilaitteen simulointipaikasta



Kuva 16. Testilaitteen simulointipaikka. /5/

LIITE 5: Kuva taivutuslohkon rullien välistä



Kuva 17. Kuva taivutuslohkon rullien välistä