



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Kybernetikk/Signalbehandling	Vårsemesteret, 2012 Åpen
Forfatter: Erik Hoveland (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Tormod Drengstig Veileder: Tormod Drengstig	
Tittel på masteroppgaven: Modellering av ovn ved Alcoa Lista Engelsk tittel: Modelling of furnace Alcoa Lista	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Massebalanse Energibalanse Modellere temperatur Estimere gasspådrag	Sidetall: 75 + vedlegg/annet: 38 sider + CD Stavanger, 13.06.2012

Forord

Denne hovedoppgaven ble skrevet som en avslutning på masterstudiet kybernetikk og signalbehandling ved Universitet i Stavanger våren 2012. Problemstillingen ble gitt av Alcoa Lista for å studere om det er muligheter for å spare naturgass på Anlegg 5, som er sentral i produksjonen av aluminiumsbolter.

Har under hele oppgave perioden vært bosatt i Farsund, noe som har medført flere bilturer til Stavanger.

Oppgaven har vært krevende, men lærerik. Når det underveis har dukket opp problemer, eller jeg har trengt inspirasjon, har Tormod Drenngstig vært en dyktig veileder - Takk skal du ha Tormod.

Ellers må jeg takke mine to gode venner Thomas Larsen og Kjetil Sortedal som alltid har hatt et ledig rom til meg når jeg har vært i Stavanger for veiledning.

Må også takke alle de fantastiske kollegaene ved Alcoa Lista for mange fine samtaler i kaffepausene.

Til slutt må jeg takke min kjære samboer Lise Grastveit Sæstad som har støttet meg gjennom hele masterstudiet.

Erik Hoveland
Farsund, Juni 2012

Sammendrag

Denne hovedoppgaven omhandler å studere gassforbruket på Anlegg 5 ved Alcoa Lista for å kunne optimalisere prosessen og spare gass, som er energikilden på anlegget. Det blir benyttet en blandig av fast og flytende metall i en støpeomgang. Det er ingen måling av temperatur på metallet i ovnen før det er tømt i cirka 25 tonn. Det er først da termoelementet stikkes ned i metallet for å måle temperaturen. Operatørene har problemer med å beregne hvor lenge brennerne skal fyres for å oppnå ønsket temperatur. Første del av oppgaven omhandler å lage en modell for temperaturen i metallet på ovnen ved å benytte masse- og energibalanse. Under hver støpeomgang logges det ulike data fra ovnene i et Excel-ark, som blir prosessert i **Matlab** og implementert i modellen sammen med observert data. Dette har vært nødvendig for at modellen skulle bli komplett. Temperaturen i metallet ble modellert og verifisert med tre ulike støpeomganger.

Andre del av oppgaven handler om å estimere gasspådraget for de ulike støpeomgangene, og sammenligne med det virkelige gasspådraget. Det estimerte gasspådraget var tilfredsstillende, og det ble dermed besluttet og implementere utregningene på et nettbrett som er montert i hjullasteren. Dette for å hjelpe operatørene til å estimere energibehovet som må tilføres fra brennerne for å oppnå ønsket temperatur på metallet i ovnen.

Figurer

1.1	Flyfoto Alcoa Lista [1]	2
1.2	Prinsippskisse Anlegg 5	3
1.3	Oversikt over prosessen ved Alcoa Lista [2]	4
1.4	Ufordringen plottet i Matlab hvor regulatoren er for aggressiv tunet	5
1.5	Ufordringen plottet i Matlab hvor termoelementet er stikket i for seint og temperaturen er blitt for høy	6
1.6	Fremstilling av energibalanse på ovnene	7
1.7	Oksygenbrennere [11]	9
1.8	Regenerative Brennere [12]	10
1.9	Rekuperative varmeveksel brennere [14]	11
2.1	Gassforsyningsanlegget ved Alcoa Lista	13
2.2	P&ID for ovn 5 og ovn 6	14
2.3	Brenner A vist utenfra ovn 6	15

FIGURER

2.4	Trykktransmitter montert oppå ovnen for å regulere ovnstrykket [6]	16
2.5	Termoelement som operatøren stikker ned i metallet gjennom ovnstuten	17
2.6	Ovn 5 og ovn 6	18
2.7	Oppdeling av areal ovnsoppbygning	19
2.8	Oversiktsbilde berøringsskjerm ovn 6	22
2.9	Berøringsskjerm for brennerbetjening ovn 6	23
2.10	Berøringsskjerm for oversikt over plugge i ovn 6	24
2.11	Berøringsskjerm for plugge innstillinger i ovn 6	25
3.1	Fremstilling av massebalanse ovn 5 og ovn 6	28
3.2	Massebalansen Simulink	31
3.3	Tilsatser massebalansen Simulink	31
3.4	Puls <i>rest</i> Simulink	32
3.5	Tilsatsene i Simulink	33
3.6	Modellert $m(t)$ for støpeomgang 1478-54 i Simulink	34
3.7	Utdrag Brennere anl 5 uke 38-2011 [9]	40
3.8	Komplett modell for temperatur på metallet i ovnene	43
3.9	Fratrekt energi smelteovergangen fra fast til flytende aluminium .	45
3.10	Gasspådraget implementert i Simulink	46

FIGURER

3.11	Energitap ovnsforingen implementert i Simulink	47
3.12	Energitap under utblanding av legering implementert i Simulink .	48
3.13	Energi tilsatsene implementert i Simulink	49
3.14	Modelleert temperatur vs virkelig temperatur for støpeomgang 1478-54	50
3.15	Modelleert temperatur vs virkelig temperatur for støpeomgang 1143-81	51
3.16	Modelleert temperatur vs virkelig temperatur for støpeomgang 1518-05	52
4.1	Gasspådrag for støpeomgang 1478-54	56
4.2	Gasspådraget ved virkelig- eller estimert	58
4.3	Modellert temperatur med estimert gasspådrag for støpenummer 1478-54	59
4.4	Modellert temperatur med estimert gasspådrag for støpenummer 1143-81	60
4.5	Modellert temperatur med estimert gasspådrag for støpenummer 1518-05	61
4.6	Setpunkt vs Prosessverdi vs Gasspådrag	64
5.1	Sammenligning av estimert- og virkelig gasspådrag	66
5.2	PID-regulator i PL7 programvaren [10]	67
5.3	Verifisering av PI-regulator Simulink	68
5.4	Finn Haugen PID-regulator	69

FIGURER

5.5	Sprangrespons termoelement	70
A.1	Scoop PL7 PI-regulator	ii
A.2	Scoop Finn Haugen PI-regulator	iii
B.1	Boltekapp i kasse	v
B.2	Diverse skrap fra FAC lagret i bing 2	vi
B.3	Blokker importert fra Russland	vii
B.4	Diverse innkjøpt omsmelt a) Blokker fra nyoppstartede verk b) Kina plater	viii
B.5	Digle med elektrolysemetall som tømmes i ovn 6	ix
B.6	Bolt oppbevart på gulvet klare til omsmelt	x
C.1	Gasspådrag for støpeomgang 1143-81	xv
C.2	Gasspådrag for støpeomgang 1518-05	xviii

Tabeller

1	Konstanter	viii
2	Variabler	ix
2.1	Areal ovnsoppbygning	19
2.2	Varmetap gjennom ovnsforingen for ovn 5 og ovn 6 [3]	20
2.3	Metallstrømmene ved ulike dimensjoner	21
B.1	Legeringerstyper	xi

Nomenklatur

Notasjon	Beskrivelse	Verdi	Benevning
c_{p-alu}	Spesifikk varmekapasitet aluminium	900	$[\frac{J}{kg \cdot K}]$
T_{rest}	Temperatur rest	695	$[^{\circ}C]$
T_{kapp}	Temperatur kapp	20	$[^{\circ}C]$
T_{vblokk}	Temperatur varm blokk	200	$[^{\circ}C]$
T_{kblokk}	Temperatur kald blokk	20	$[^{\circ}C]$
T_{elyse}	Temperatur elektrolysemetall	890	$[^{\circ}C]$
T_{bolt}	Temperatur bolt	20	$[^{\circ}C]$
$T_{legering}$	Temperatur legering	20	$[^{\circ}C]$
T_{slag}	Temperatur slag	750	$[^{\circ}C]$
C_{alu}	Spesifikk smeltevarme aluminium	395000	$[\frac{J}{kg}]$
A_{bunn}	Areal ovns bunn	35.5	$[m^2]$
A_{metall}	Areal metallflate	35.5	$[m^2]$
A_{vegg}	Areal ovns vegger	23.1	$[m^2]$
$V_{tap-vegger}$	Varmetap ovnsvegger	880.9	$[\frac{W}{m^2}]$
$V_{tap-bunn}$	Varmetap ovnsbunn	828.1	$[\frac{W}{m^2}]$
$T_{ovn-luft}$	Temperatur ovnsomgivelser	150	$[^{\circ}C]$
$h_{alu-luft}$	Spesifikk varmeovergangstall aluminium til luft	1900	$[\frac{J}{min \cdot m^2 \cdot K}]$

Tabell 1: Konstanter

Nomenklatur

Notasjon	Beskrivelse	Benevning
$u(t)$	Gasspådrag brennerne	$[\frac{m^3}{h}]$
$\omega_{rest}(t)$	Masseinnstrømning rest	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{kapp}(t)$	Masseinnstrømning kapp	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{vblokk}(t)$	Masseinnstrømning varm blokk	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{kblokk}(t)$	Masseinnstrømning kald blokk	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{elyse}(t)$	Masseinnstrømning elektrolysemetall	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{bolt}(t)$	Masseinnstrømning bolt	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{legering}(t)$	Masseinnstrømning legering	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{alu}(t)$	Masseutstrømning støp	$[\frac{kg}{min}]$
$\omega_{slagg}(t)$	Masseutstrømning slagg	$[\frac{kg}{min}]$
$T_{alu}(t)$	Temperatur metall på ovn	$[^{\circ}C]$

Tabell 2: Variabler

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Figur liste	iii
Tabell liste	vii
Nomenklatur	viii
Innholdsfortegnelse	x
1 Innledning	1
1.1 Beskrivelse av bedriften	1
1.2 Beskrivelse av oppgaven	5
1.2.1 utfordringer	5
1.2.2 Plan	7

INNHOOLD

1.3	Litteraturstudie	8
1.3.1	Oksygenbrennere	9
1.3.2	Regenerative brennere	10
1.3.3	Rekuperative varmeveksel brennere	11
1.4	Rapportens inndeling og struktur	12
2	Prosessbeskrivelse	13
2.1	Brennerne	15
2.2	Trykkregulering ovn	16
2.3	Termoelement	17
2.4	Ovn 5 og ovn 6	18
2.4.1	Ovnsforing	19
2.5	Støpeparametre	21
2.6	Berøringskjerm for prosessen	22
3	Modellering	26
3.1	Massebalanse teori	26
3.1.1	Massebalanse ovn	28
3.1.2	Massebalanse implementering	29
3.2	Energibalanse teori	35
3.2.1	Energibalanse ovn	37

INNHOOLD

3.3	Prosessering av logget data	40
3.3.1	Prosessering av logget data Anlegg 5	40
3.4	Energibalanse implementering	43
3.4.1	Implementering av forenklingene gjort i modellen	44
3.5	Modellvalidering	50
4	Estimert og modellerne pådrag	53
4.1	Estimert gasspådrag	53
4.1.1	Estimert energibehov for støpeomgang 1478-54	54
4.2	Modellering med estimert gasspådrag	57
4.2.1	Modell verifisering med estimert gasspådrag for støpeomgang 1478-54	59
4.2.2	Modell verifisering med estimert gasspådrag for støpeomgang 1143-81	60
4.2.3	Modell verifisering med estimert gasspådrag for støpeomgang 1518-05	61
4.3	Estimere setpunkt før elektrolysemetall tømmes på ovn	62
4.4	Estimert tapt energi	64
5	Verifisering av PI regulator parametre	66
5.1	PL7 PID	67
5.2	Finn Haugen PID	69

INNHOOLD

5.3	Sprangrespons termoelementet	70
6	Diskusjon og konklusjon	71
6.1	Forslag til forbedring av prosess	71
6.1.1	Alarm for termoelement brudd	71
6.1.2	Berøringskjerm i hjullasteren	72
6.1.3	Estimert brennetid	72
6.2	Konklusjon	73
	Referanser	74
	Appendix	75
A	Resultater verifisering av PI-regulatorer	i
A.1	Resultat PL7 PI-regulator med scoop	ii
A.2	Resultat Finn Haugen PI-regulator med scoop	iii
B	Tilsetninger ovn 5 og ovn 6	iv
B.1	Boltekapp	v
B.2	Diverse skrap Farsund Aluminium Casting	vi
B.3	Kald og Varm blokker	vii
B.4	Diverse innkjøpt omsmelt	viii
B.5	Elektrolysemetall	ix

INNHOOLD

B.6 Bolt	x
B.7 Legering	xi
C Estimert energibehov støpeomgang 1143-81 og 1518-05	xii
C.1 1143-81	xii
C.2 1518-05	xvi
D Matlab kode	xix
D.1 Massebalanse for støpeomgang 1478-54	xix
D.2 Sprangrespons termoelement	xxiii
D.3 Energibalanse for støpeomgang 1478-54	xxv
D.4 Energibalanse for støpeomgang 1143-81	xxix
D.5 Energibalanse for støpeomgang 1518-05	xxxiii
D.6 Estimert gasspådrag	xxxvii

Kapittel 1

Innledning

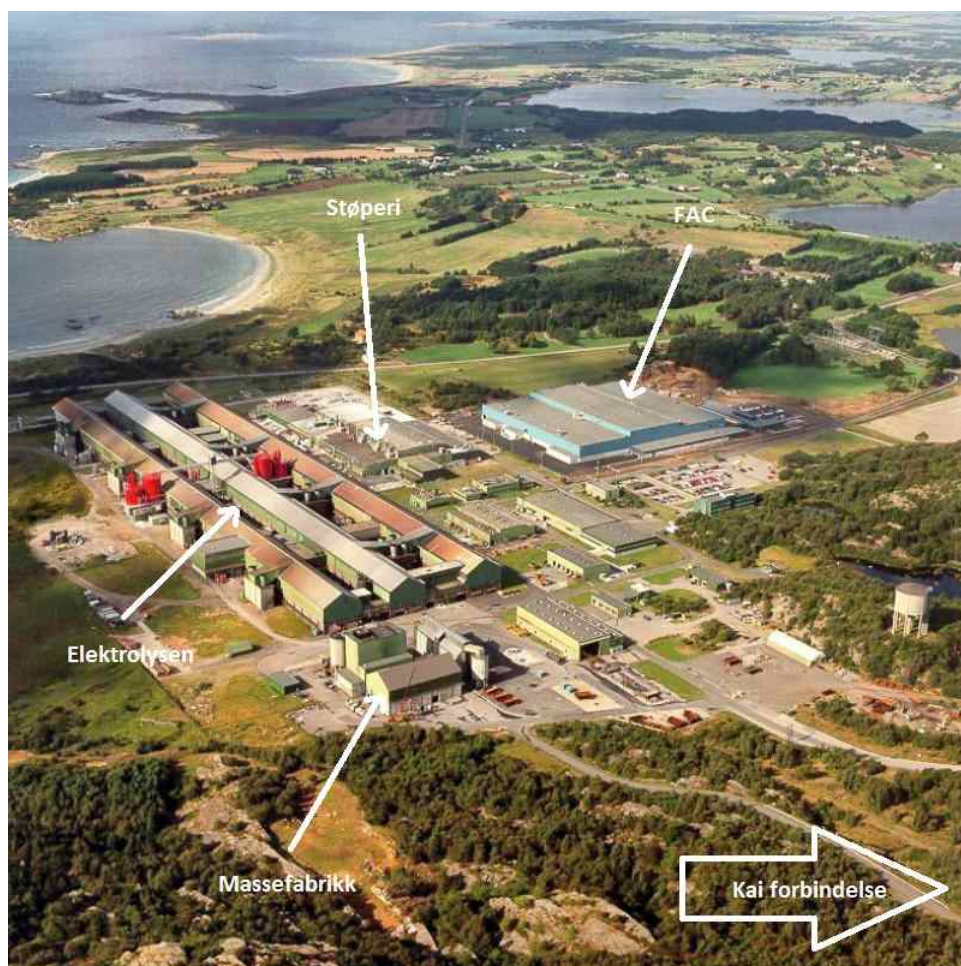
I dette kapitlet blir bedriften, problemstillingen for oppgaven og ulike brennerteknologier beskrevet.

1.1 Beskrivelse av bedriften

Alcoa Lista er et aluminiumsverk i Farsund kommune. Verket het tidligere Elkem Aluminium Lista, og ble offisielt åpnet i år 1971. Gode havne forbindelser gjør at mye av eksporten og importen av råstoffer som benyttes i produksjonen skjer via båt. Aluminiumsverket benytter Ny Søderberg teknologi for å utvinne aluminium ved elektrolyse. Figur 1.1 viser et flyfoto over aluminiumsverket i Farsund.

1.1 Beskrivelse av bedriften

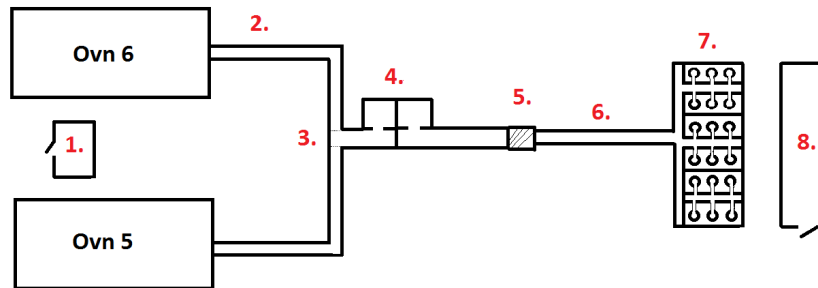
Det er tre parallelle haller med en lengde på 500 meter. I hver hall er det 92 ovner. Hver ovn produserer cirka 950kg aluminium i døgnet som gir en samlet produksjonsmengde på 262 tonn per døgn. Aluminiumet fra elektrolyseovnene blir kjørt ned til støperiet med spesialbygde trucker. Truckene er utstyrt med en digle som rommer opp til 2 tonn aluminium.



Figur 1.1: Flyfoto Alcoa Lista [1]

1.1 Beskrivelse av bedriften

I støperiet er Anlegg 5 sentral i produksjonen av bolter. Anlegg 5 består av ovn 5 og ovn 6, se figur 1.2. Anlegget har til sammen en større støpe kapasitet enn produksjonsmengden til elektrolyseovnene. I gode tider hvor det er stor etterspørsel i markede, blir det brukt blokker (russermetall) i ovnene sammen med elektrolysemetallet. Blokkene har dårligere kvalitet, og er ypperlig til omsmelt.

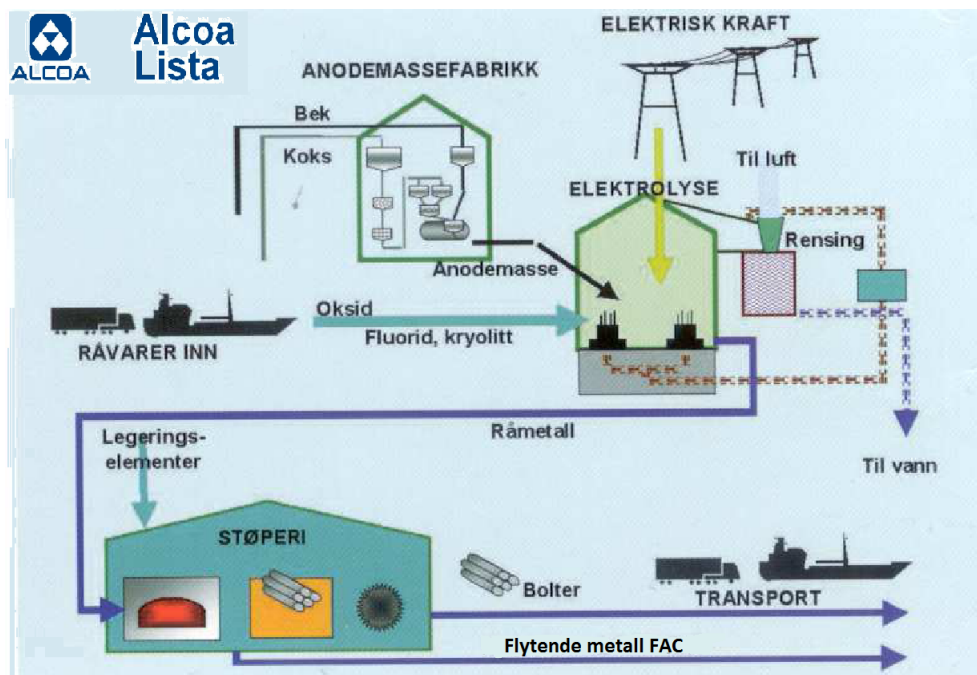


Figur 1.2: Prinsippkisse Anlegg 5

1. Ovnsbu. Operatøren styrer ovnene herifra med berøringsskjermer og kontrollpult.
2. Renne. Når ovnen tippes, renner metallet i rennene.
3. Kryss. Ovn 5 og ovn 6 er sammenkoblet til samme rennesystem og et kryss skiller ovnene.
4. SIR. Et filter som benytter argon for å få ut uønskede partikler i metallet som støpes.
5. Platefilter. Et siste filter for å fjerne uønskede partikler i metallet som støpes.
6. Vipperenne. Etter avsluttet støp kjøres tipperenna opp for å kunne kjøre av støpebordet, slik at boltene kan heises opp med traverskran.
7. Støpebord. Støpebordet er der hvor boltene blir produsert, hvor vann, luft og olje blir benyttet.
8. Støpebu. Operatørene sin kontrollpost, hvor de styrer og overvåker støpingen av bolter.

1.1 Beskrivelse av bedriften

Etter en støpeomgang er avsluttet bruker operatøren en hjullaster for å tømme inn kappet fra sag og blokker til omsmelting. Metallet fra elektrolyseovnene blir deretter tømt i ovnen. Etterhvert som kappet og blokkene smeltes ned og ovnen nærmer seg full, stikkes termoelementet ned i metallet og temperaturen reguleres til ønsket setpunkt. Ovnene blir så tilsatt ulike legeringer for å tilfredstille kundes krav til innhold i metallet. For å bekrefte og dokumentere at metallet holder seg innenfor kravene til kunden, blir det tatt en metallprøve som blir analysert i en spektrograf. Etter avsluttet støpeomgang blir boltene kontrollert av operatøren, for deretter å transporteres på rullebane gjennom ultralyd for å sjekkes for indre sprekker. Alle boltene som godkjennes blir varmet opp til 575°C og homogenisert. Boltene sages så opp, og pakkes klare for levering. Figur 1.3 viser en grafisk fremstilling av prosessen.



Figur 1.3: Oversikt over prosessen ved Alcoa Lista [2]

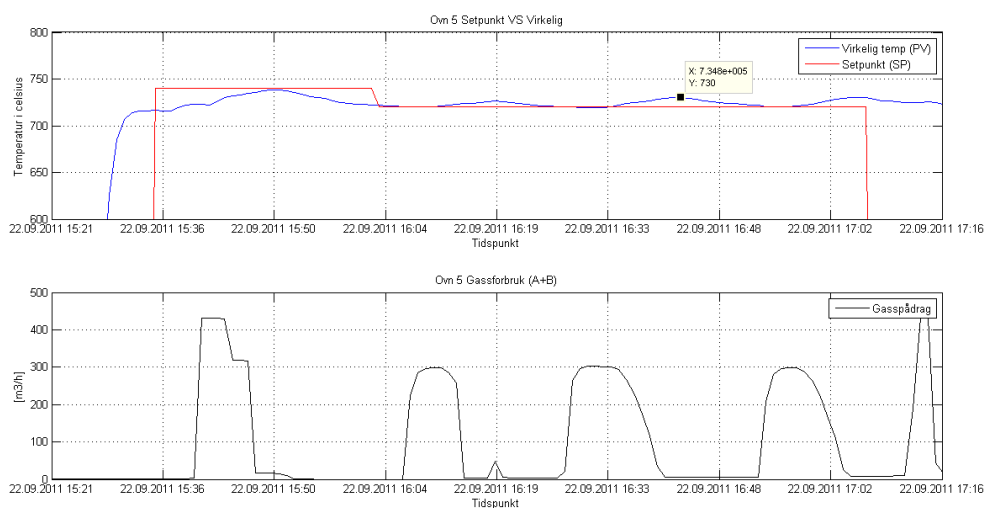
1.2 Beskrivelse av oppgaven

1.2 Beskrivelse av oppgaven

Hovedoppgaven omfatter å studere om det er noe mulighet for å spare naturgass som benyttes som energikilde på Anlegg 5. Det blir lagt vekt på to hovedutfordringer.

1.2.1 Utfordringer

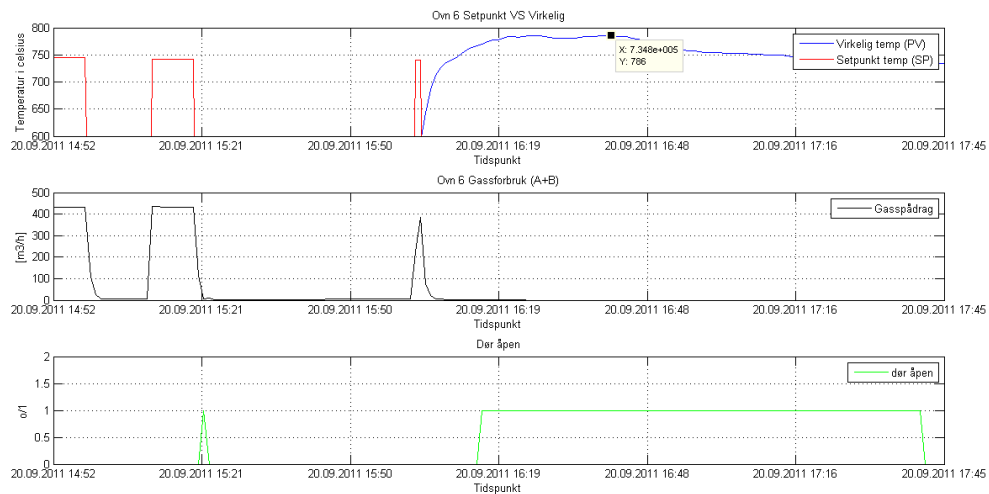
Den første utfordringen er å holde temperaturen på ønsket setpunkt, noe som ikke er mulig idag fordi regulatoren er tunet veldig aggressiv. Figur 1.4 viser utfordringen plottet i **Matlab** hvor setpunkt er 720°C og virkelig temperatur svinger opp til 730°C .



Figur 1.4: Utfordringen plottet i Matlab hvor regulatoren er for aggressiv tunet

1.2 Beskrivelse av oppgaven

Den andre utfordringen er at brennerne fyres manuelt med makspådrag uten noe måling av temperatur i metallet. Operatøren har ikke kontroll over ovnen før termoelementet stikkes ned i metallet, dette kan ikke gjøres før det er tømt i cirka 25 tonn metall. Det hender ofte at operatøren stikker termoelementet i for seint, eller at brennerne har stått i manuelt med makspådrag for lenge. Blir ovnen altfor varm må døra åpnes for å kjøle ned metallet slik at man oppnår ønsket temperatur på 720°C , som er kritisk støpetemperatur. Energien som slippes ut gjennom døra er energi som kunne vært spart. Figur 1.5 viser utfordringen plottet i **Matlab** hvor ovnen ble 786°C og døra måtte stå åpen over 1 time for at temperaturen skulle synke ned til setpunkt.

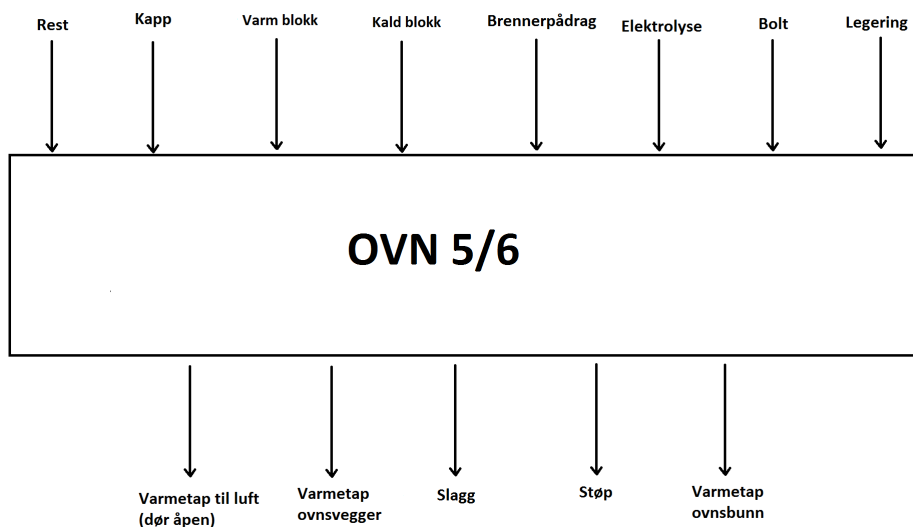


Figur 1.5: Utfordringen plottet i Matlab hvor termoelementet er stikket i for seint og temperaturen er blitt for høy

1.2 Beskrivelse av oppgaven

1.2.2 Plan

Å lage en differensial ligning ved å benytte formler for energibalanse og gjenskape dynamikken til temperaturen i metallet på ovnen. Figur 1.6 viser de ulike energitilsatsene og energitapene ut fra metallet i ovnen.



Figur 1.6: Fremstilling av energibalanse på ovnene

Det første som skal gjøres er å analysere logget data fra ovnene som lagres i et Excel-ark for hvert minutt. Regulatoren skal designes i **Simulink** ved å regulere på avviket mellom setpunkt og prosessverdi fra virkelige loggede verdier fra ovnene. K_p , T_i og T_d verdiene varieres til man finner en regulator som gjenskaper virkelig gasspådrag.

Differensial ligningen for temperaturen implementeres i **Matlab/Simulink** og verifiseres mot virkelig temperatur gjort under tre ulike støpeomganger. Excel-arket inneholder ikke nok informasjon til å implementere differensial ligningen direkte. Må derfor implementere masse, tidspunkt og temperatur manuelt i **Matlab** for følgende: rest, kapp, varm blokk, kald blokk, elektrolysemetall, bolt og legering.

1.3 Litteraturstudie

Når alt er implementert i **Matlab/Simulink** modelleres temperaturen ut fra tre virkelige situasjoner og sammenlignes med virkelig logget temperatur.

Til slutt vil jeg lage en modell som regner ut hvor mange minutter gasspådraget må fyres på maks for å oppnå ønsket temperatur på metallet når man tar hensyn til rest, kapp, varm blokk, kald blokk og elektrolysemetall.

1.3 Litteraturstudie

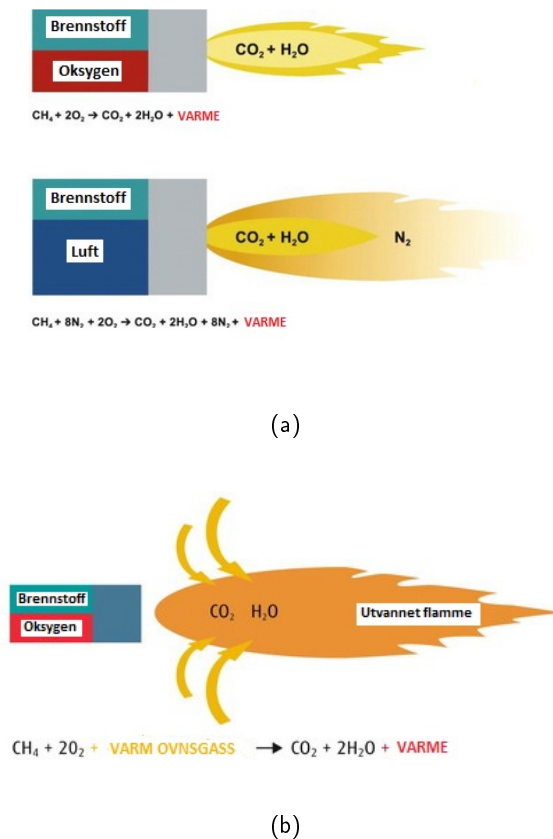
Det ble kartlagt ulike brenner teknologier, og hvordan reguleringsystemene fungerer. Ulike brennerteknologier er kjent, men hvordan temperaturen reguleres er noe leverandørene ikke vil oppgi.

Alcoa Lista har fått et pristilbud fra leverandør Invensys AS som vil levere komplett overvåkningssystem for prosessen på Anlegg 5. Leverandøren har en løsning på utfordringen ved at man ikke har noe måling av temperatur før termoelementet stikkes ned i metallet på ovnen. Litt av løsningen til leverandøren er å montere et termoelement i pipa på avgassen som vil gi en puls når metallet går fra fast til flytende. Pristilbudet var på 1 million NOK.

1.3 Litteraturstudie

1.3.1 Oksygenbrennere

Oksygenbrennere er en forbrenningsteknologi som istedenfor luft bruker ren oksygen til forbrenningen. Luft inneholder cirka 21% oksygen (O_2) og cirka 78% nitrogen (N_2). I forbrenningsprosessen blir nitrogen en uønsket gass som kun går med til å stjele varme fra forbrenningsprosessen. Med oksygenbrennere blir flammen utvannet med ovnstemperaturen som gjør at flammearealet blir større og vi får en mer uniform fordeling av temperatur i ovnen. Figur 1.7 viser grafisk hvordan oksygenbrennerne fungerer.

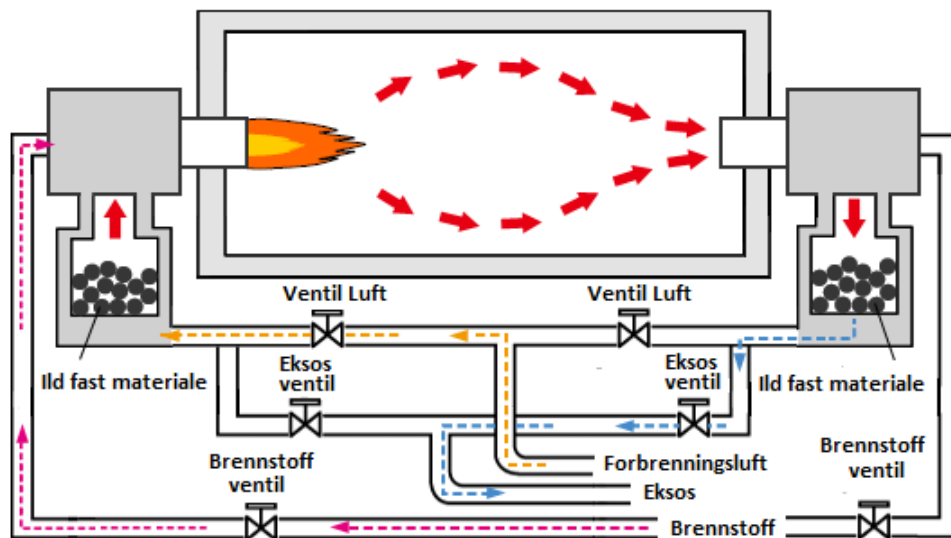


Figur 1.7: Oksygenbrennere [11]

1.3 Litteraturstudie

1.3.2 Regenerative brennere

Regenerative brennere øker forbrenningens virkningsgrad ved å øke effektiviteten i forbrenningen. Dette gjøres ved å øke mengden av fri varme i forbrenningsluften, samtidig som man reduserer fri varme som går tapt ut av eksosen. Et regenerativt brennersystem kan for eksempel bestå av et par brennere (A og B) som vekselvis fyrer eller ivaretar varmen fra forbrenningseksosen. Forbrenningseksosen passerer gjennom et medie som inneholder et ildfast materiale. Det ildfaste materialet blir oppvarmet av forbrenningseksosen. Når mediet til brenneren som er avskrudd har oppnådd tilstrekkelig oppvarming, slår brenneren som fyrer seg av, og brenneren med det oppvarmede mediet starter. Mediet som er oppvarmet varmer opp luften før forbrenningen skjer. Slik går syklusen vekselvis. Figur 1.8 viser grafisk hvordan regenerative brennere fungerer.

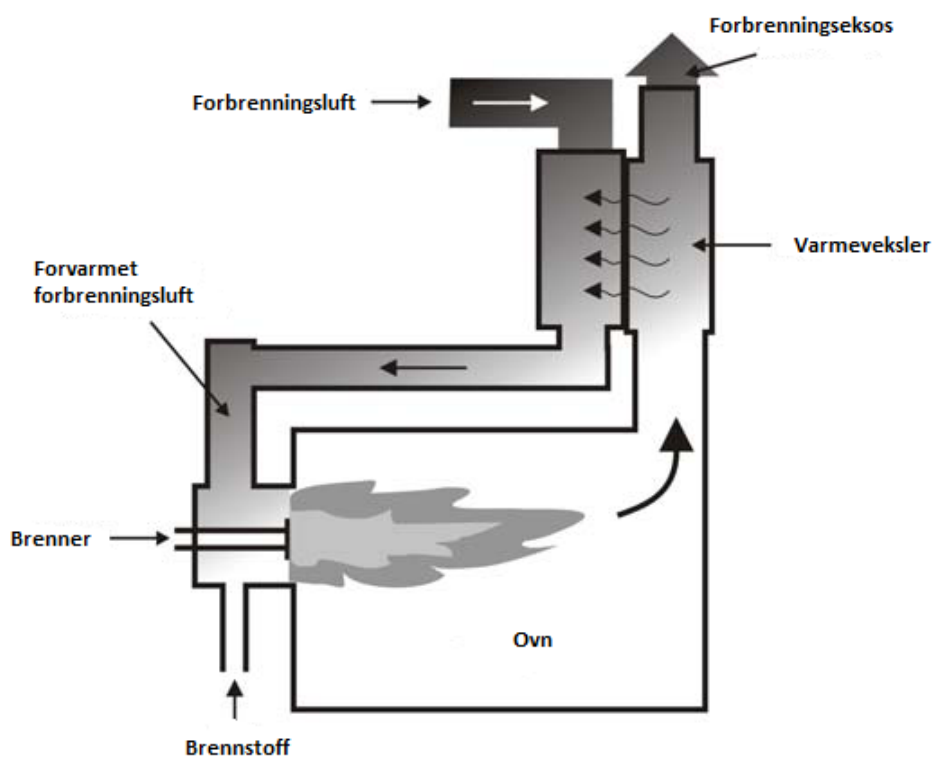


Figur 1.8: Regenerative Brennere [12]

1.3 Litteraturstudie

1.3.3 Rekuperative varmeveksel brennere

Forbrenningseksosen er knyttet direkte til en luftforvarmer. I de fleste ovner (ikke elektrolyseovner) på et aluminiumsverk er forbrenningseksosen for høy for materialet som er brukt i luftforvarmeren. Temperaturen må derfor reguleres ned. Denne typen brennere gir en 40-60% varmeoppsamling. Figur 1.9 viser grafisk hvordan rekuperative varmeveksel brennere fungerer.



Figur 1.9: Rekuperative varmeveksel brennere [14]

1.4 Rapportens inndeling og struktur

1.4 Rapportens inndeling og struktur

- **Kapittel 1.** Innledning : Beskrivelse av bedriften, problemstillingen og studere ulike brennerteknologier.
- **Kapittel 2.** Prosessbeskrivelse : Anlegg 5.
- **Kapittel 3.** Modelling : Massebalanse, energibalanse og implementere modell for temperatur.
- **Kapittel 4.** Estimere og modellere gasspådrag.
- **Kapittel 5.** Verifisering av PI-regulator : PL7 PID, Finn Haugen PID og sprangrespons termoelement.
- **Kapittel 6.** Diskusjon og konklusjon : Forbedringsforslag.

Kapittel 2

Prosessbeskrivelse

I dette kapitlet blir prosessen ved Anlegg 5 beskrevet.

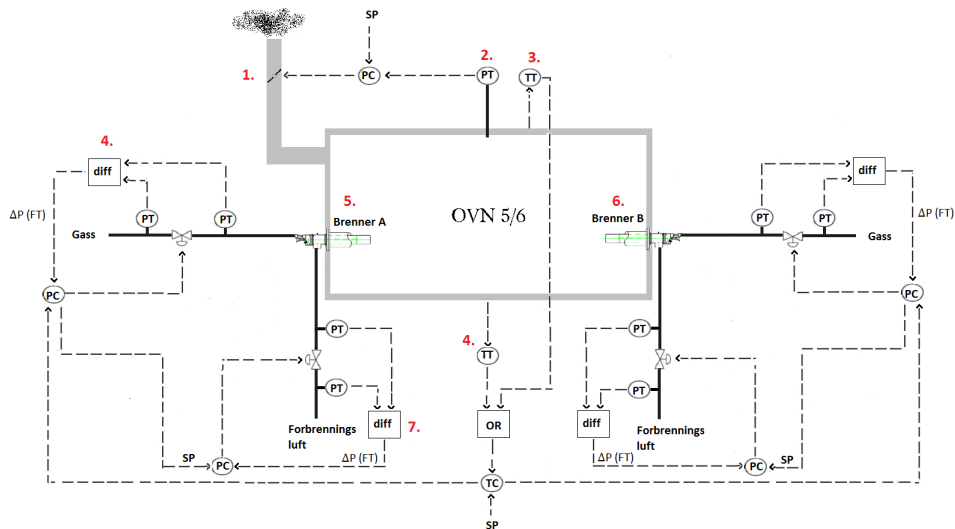
Anlegg 5 slik figur 1.2 viste består av ovn 5 og ovn 6. Begge ovnene bruker naturgass som energikilde levert av Gasnor AS. Leveransen kommer enten via båt eller bil, som LNG (flytende naturgass). Figur 2.1 viser gassforsyningsanlegget ved Alcoa Lista.



Figur 2.1: Gassforsyningsanlegget ved Alcoa Lista

Prosessbeskrivelse

Figur 2.2 viser et "Piping and Instrumentation Diagram" (P&ID) over ovn 5 og ovn 6.



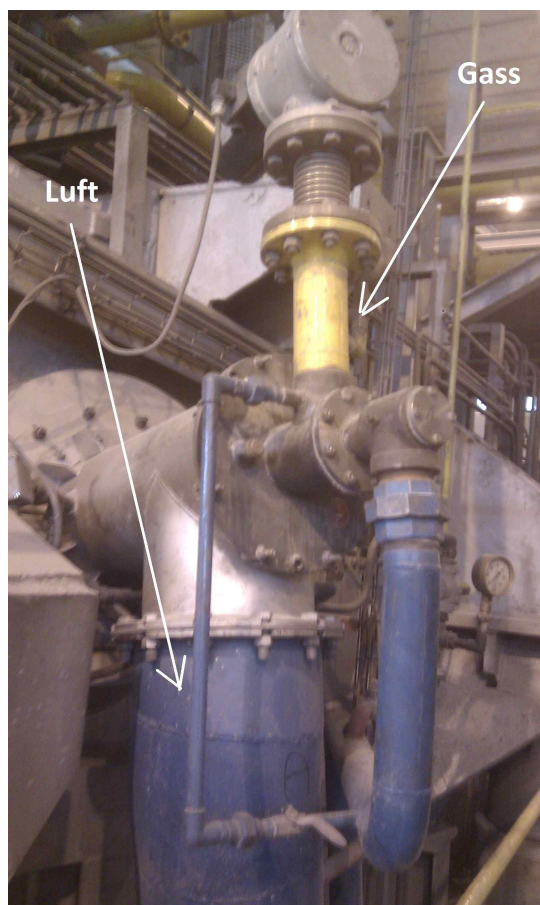
Figur 2.2: P&ID for ovn 5 og ovn 6

1. Spjeld skorstein, for regulering av trykket i ovnen.
2. Trykktransmitter, for ovnstrykk.
3. Termoelement montert på mekanisk heis oppå ovnstaket, for måle temperaturen på metallet i ovnen.
4. Differansen mellom to trykktransmittere omgjort til strømning for naturgassen til brenner A.
5. Brenner A.
6. Brenner B.
7. Differansen mellom to trykktransmittere omgjort til strømning for luften til brenner A.

2.1 Brennerne

2.1 Brennerne

Ovn 5 og ovn 6 har begge to hovedbrennere (A og B), se figur 2.2 og to pilotbrennere (Pilot A og Pilot B). Pilotbrennerne tenner hovedbrennerne. Brennersystemet er av typen Hiram NA 6575-12 som er kombinasjonsbrennere som enten kan bruke gass eller olje som brennstoff. Ved Alcoa Lista brukes natugass som brennstoff. Maks effekt per brenner er 2.25 MW, som gir en samlet effekt på 4.5 MW per ovn [5]. Det brukes kaskaderegulering for å få riktig sammensetning av luft og natugass i blandingen til brennerne. Forholdet mellom luft og gass er 1:10, hvor luft er den dominerende delen av blandingen.

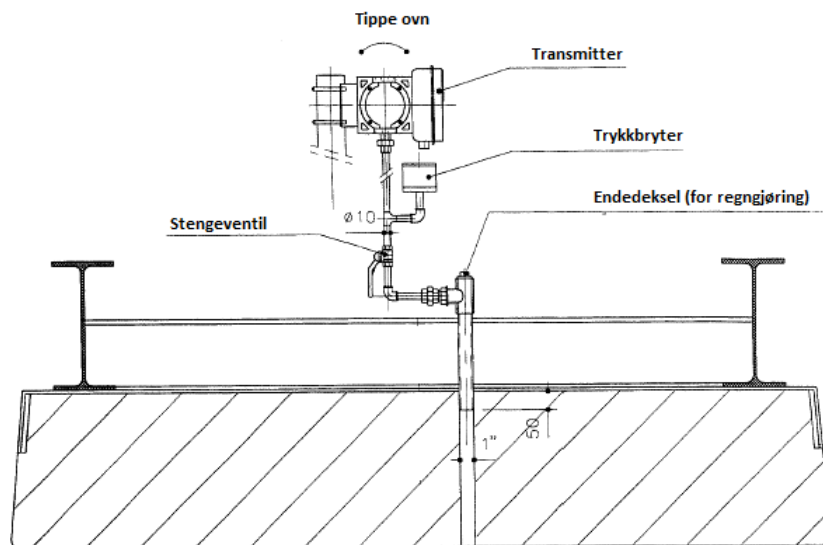


Figur 2.3: Brenner A vist utenfra ovn 6

2.2 Trykkregulering ovn

2.2 Trykkregulering ovn

For å holde atmosfærisk trykk i ovnen er det montert et spjeld i skorsteinen som er et eget reguleringssystem, se figur 2.2. En trykktransmitter er montert midt oppe på ovnstaket, og registrerer trykkforskjellen mellom atmosfæren i støperiet og ovnen, se figur 2.4. Med atmosfærisk trykk i ovnen har man en balansegang mellom inn- og utgangsstrømning, og forbrenningseksosen slippes ut gjennom skorsteinen. Med et overtrykk i ovnen vil det lekke forbrenningseksos ut til atmosfæren i støperiet via åpninger i ovnen som påfyllingstuter, støpetut og rundt døren. Med et undertrykk i ovnen vil det suges inn falsk luft via åpningene i ovnen, og kjøle metallet i ovnen. Med trykkreguleringsspjeldet som ble installert og satt i drift på ovn 5 i år 2010 og ovn 6 i år 2011, fikk man en bedre utnyttelse av energien ifra brennerne. Det ble beregnet og redusere gassutgiftene med cirka 750 000 NOK i året.



Figur 2.4: Trykktransmitter montert oppå ovnen for å regulere ovnstrykket [6]

2.3 Termoelement

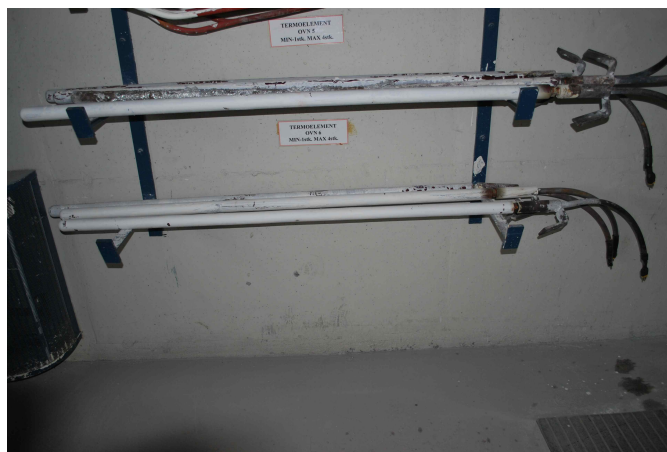
2.3 Termoelement

For å regulere temperaturen på metallet i ovnen blir temperaturen i metallet målt med et termoelement. Det er to muligheter for å måle temperaturen på metallet i ovnen, se figur 2.2.

Den ene måten er at operatøren stikker termoelementet ned i metallet gjennom ovnstuten når det er tømt cirka 25 tonn metall i ovnen. Hvis termoelementet settes i for tidlig vil stikkflammene ødelegge elementet.

Den andre muligheten er et termoelement som er montert på en mekanisk heis oppå ovnstaket som operatøren må sette i drift når metallet i ovnen er flytende. Termoelementet vil knekke hvis det settes i drift før det faste metallet har smeltet. Termoelementet på ovnstaket er programmert slik at det kjøres ned i metallet og måler i 30 sekunder før det kjøres opp av metallet og avkjøles i 2 minutter. Kjølingen er nødvendig fordi termoelementet vil bli ødelagt av stikkflammene ifra brennerne over lengre tid.

Figur 2.5 som viser reserve termoelementer som ligger klare til bruk.



Figur 2.5: Termoelement som operatøren stikker ned i metallet gjennom ovnstuten

2.4 Ovn 5 og ovn 6

2.4 Ovn 5 og ovn 6

Ovn 5 og ovn 6 er tilnærmet like, se figur 2.6. Eneste forskjellene er at det ble byttet ovnsforing og montert ny dør uten kjølekappe på ovn 5 i år 2008. Den nye døren utvider seg ikke slik den gamle gjorde under høye temperaturer, dermed er det ikke nødvendig med kjølekappe. Det er forventet å bytte ovnsforing og dør på ovn 6 med tilsvarende type som på ovn 5 i fremtiden. Begge ovnene har samme regulering som figur 2.2 viser.



Figur 2.6: Ovn 5 og ovn 6

2.4 Ovn 5 og ovn 6

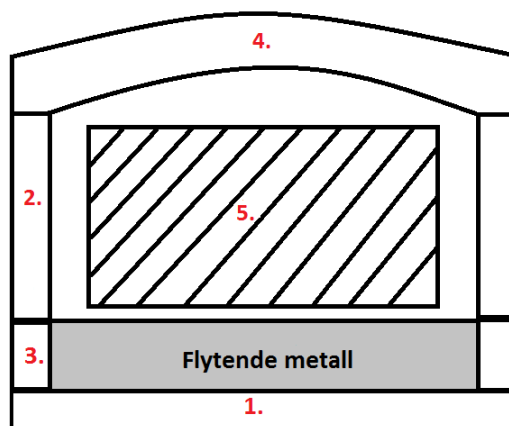
2.4.1 Ovnsforing

Ovnsforingen er bygd opp med ulike spesielle typer stein for å tåle den høye temperaturen. Ovnsforingen fungerer også som isolerende lag, slik at varmetapet ut fra ovnen blir redusert. I modellen som lages blir det antatt at ovn 5 og ovn 6 er rektangulære med flat bunn. Data benyttet i modellering er fra tegningene i programvaren **Autocad** over ovnene [4].

Tabell 2.1: Areal ovnsoppbygning

Del	Areal [m^2]	Nummer figur 2.7
Bunn	35.5	1
Sidevegger over metall	25.3	2
Sidervegger under metall	23.1	3
Tak	35.5	4
Dør	9.7	5

Figur 2.7 viser en grafisk fremstilling hvordan ovnene er bygd opp.



Figur 2.7: Oppdeling av areal ovnsoppbygning

2.4 Ovn 5 og ovn 6

Stine Toft Skagestad utførte en master oppgave for Elkem Lista våren 2007, hvor hun studerte energiforbruket i støperiet [3]. Hun konkluderte med følgende varmetap for ovn 5 og ovn 6, se tabell 2.2.

Tabell 2.2: Varmetap gjennom ovnsforingen for ovn 5 og ovn 6 [3]

Del	Totalt varmetap [$\frac{W}{m^2}$]	Max areal [m^2]	Max varmetap [kW]
Bunn	828	35.5	29.3
Sidevegger over metall	839	25.3	21.2
Sidevegger under metall	880	23.1	20.3
Tak	838	35.5	29.7
Dør	846	9.7	8.2

Data for varmetap gjennom bunn og sidevegger under metall blir benyttet i modelleringen for temperatur på metallet i ovnene.

2.5 Støpeparametre

2.5 Støpeparametre

Alcoa Lista kan støpe ulike dimensjoner på boltene etter hva kunden ønsker, men det brukes alltid samme dimensjon på en støpeomgang. Støpebordet er bygd opp med ulike antall kokiller. En kokille er der støpeprosessen skjer med en kombinasjon av vann, luft og olje. Tabell 2.3 viser de ulike dimensjoner og metallstrømmene for boltene som kan støpes.

Tabell 2.3: Metallstrømmene ved ulike dimensjoner

Dimensjon	Antall kokiller	Metallstrøm bolt [$\frac{kg}{min}$]	Metallstrøm set [$\frac{kg}{min}$]
130	144	5	748
140	98	5.8	570
152	98	6	624
154	98	7	690
177	98	7.8	768
203	72	10	724
216	68	10.9	740
228	60	10.7	642
254	50	11.5	575
270	44	12.1	531
317	32	16.2	517

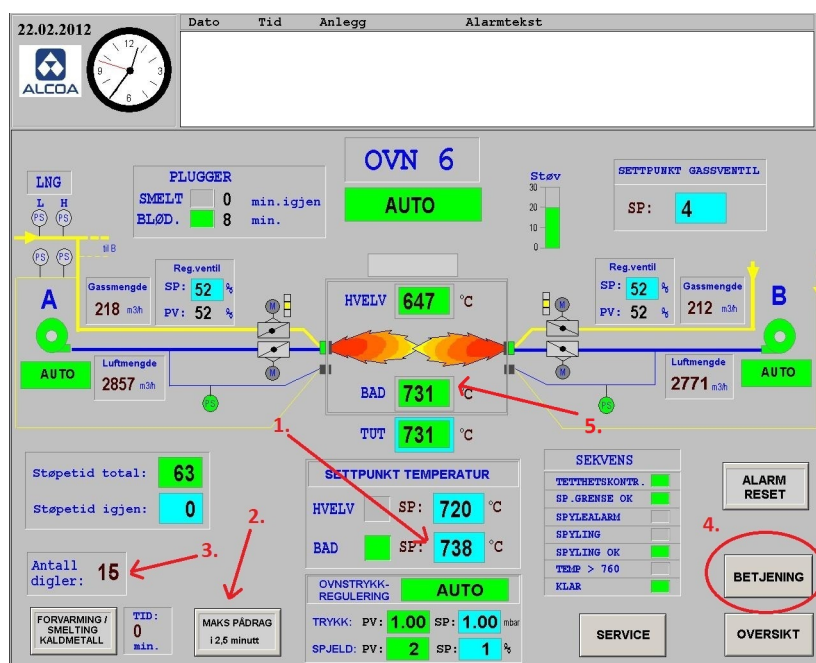
En regulator tipper ovnen og regulerer nivået i rennene slik at metallbehovet til dimensjonene opprettholdes stabil. Senken på bunnen til støpebordet blir regulert etter hva slag dimensjon som støpes.

Parametrene i tabell 2.3 bli brukt videre i modelleringen av temperaturen på metallet i ovnene.

2.6 Berørings skjerm for prosessen

2.6 Berørings skjerm for prosessen

Hensikten med dette delkapittelet er å forklare hvordan prosessen blir overvåket og styrt av operatørene via berørings skjermene i ovnsbua eller i støpebua. Ovn 5 og ovn 6 har identisk oversiktsbilde på berørings skjermene, se figur 2.8.

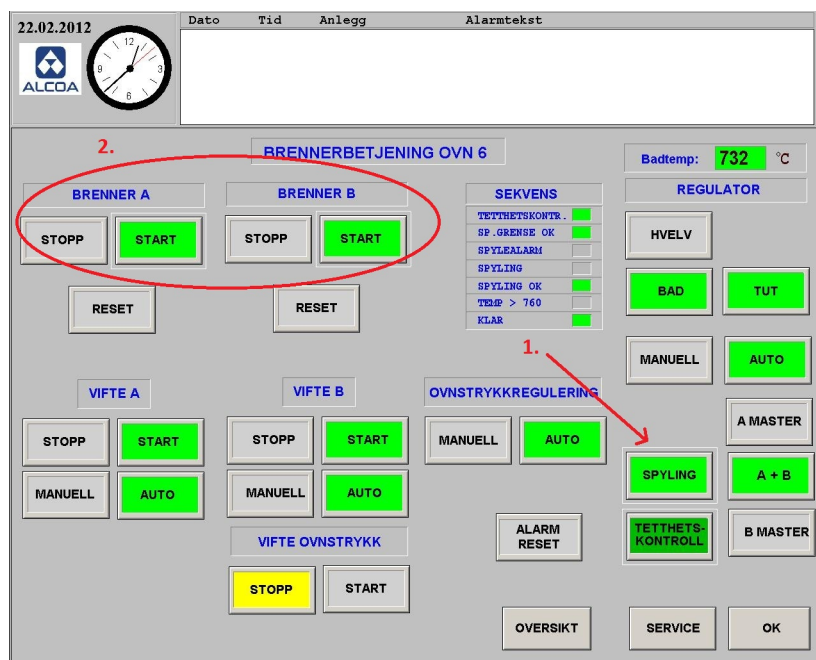


Figur 2.8: Oversiktsbilde berørings skjerm ovn 6

1. Operatøren legger inn ønsket temperatur for metallet i ovnen.
2. Setter brennerne (A + B) i manuell og fyrer med maks pådrag 2.5 minutter, uavhengig av temperaturen på metallet i ovnen.
3. En oversikt over hvor mange digler med elektrolysemetall som er tømt i ovnen.
4. BETJENING-knappen for å komme videre til neste skjerm bilde, se figur 2.9.
5. Virkelig temperatur på metallet i ovnen.

2.6 Berøringsskjerm for prosessen

For å starte eller stoppe brennerne må man trykke på BETJENING-knappen i oversiktsbildet. Da vil det komme opp et nytt skjermbilde, se figur 2.9.

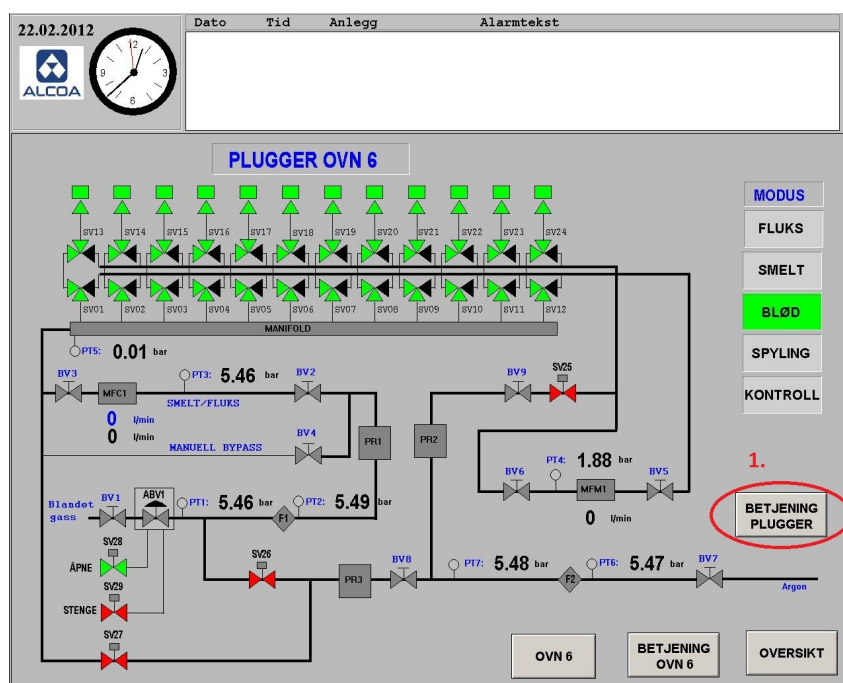


Figur 2.9: Berøringsskjerm for brennerbetjening ovn 6

1. For å starte brennerne, må ovnen gjennom en syklus som lufte ut hele volumet i ovnen, for å unngå eksplosjonsfare ved gasslekasje. En "Burner Control Unit" (BCU) kontrollerer at utluftingen er godkjent og brennerne startes.
2. Her stoppes brennerne.

2.6 Berørings skjerm for prosessen

For å få uniform fordeling av temperaturen på metallet i ovnen, er det montert 12 plugger fordelt jevnt over ovnsbunnen. Disse spyer argon inn i metallet for å få omrøring. Figur 2.10 viser skjermbildet for plugger ovn 6 på berørings skjermen.

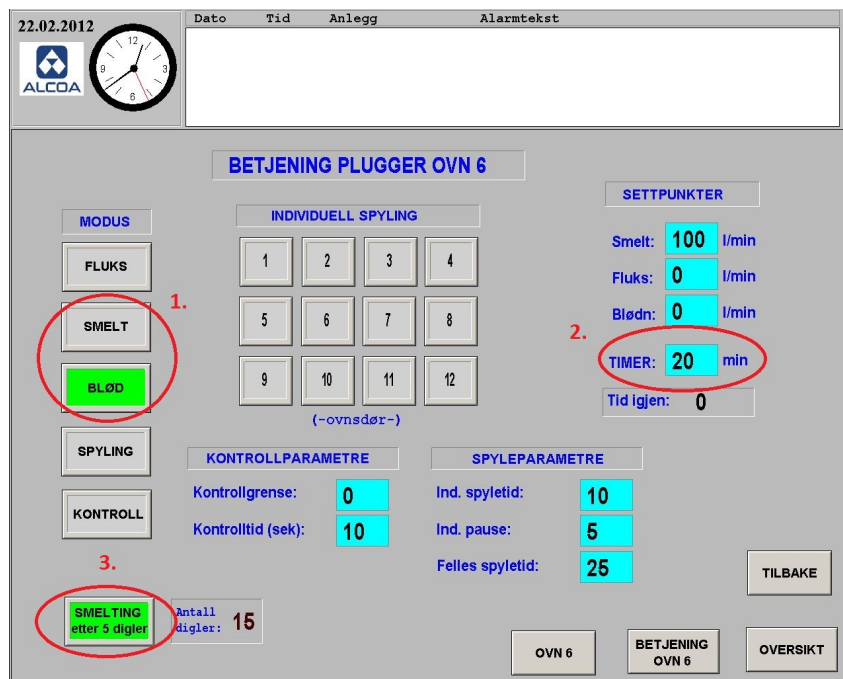


Figur 2.10: Berørings skjerm for oversikt over pluggene i ovn 6

1. BETJENING PLUGGER-knappen for å aktivere pluggene i neste skjerm-bilde, se figur 2.11.

2.6 Berørings-skjerm for prosessen

Bilde på berørings-skjermen som kommer opp etter å ha trykket på BETJENING PLUGGER-knappen, er slik figur 2.11 viser.



Figur 2.11: Berørings-skjerm for plugge innstillinger i ovn 6

1. Velger her om pluggene skal brukes til smelt eller blød. Smelt benyttes når ovnen ikke er flytende, slik at det blir god omrøring i ovnen. Blød brukes når ovnen er smeltet ned, og kun ønsker en liten omrøring, for å holde jevn temperatur fordeling.
2. Operatøren velger hvor mange minutter pluggene skal stå på. Ovnen må stå uten smelt eller blød i minimum 1 time før en støp kan startes, for å la partikler synke til bunns og ikke komme med i støping av boltene.
3. For å ikke glemme pluggene, er de programmert slik at de skruer seg på automatisk etter 5 digler er tømt i ovnen.

Kapittel 3

Modellering

I dette kapitlet settes det opp en massebalanse og en energibalanse for ovnene. Energibalansen blir brukt til å lage en modell som gjensker virkelig temperatur på metallet i ovnene.

3.1 Massebalanse teori

I delkapitlet blir teorien om massebalansen kort forklart. Teorien blir benyttet når massebalansen for ovnene settes opp.

Massebalanse er summen av masserater inn i systemet minus summen av masserater ut av systemet.

$$\frac{d}{dt}(m(t)) = \sum_i \omega_{inn}(t) - \sum_i \omega_{ut}(t) \quad (3.1)$$

3.1 Massebalanse teori

Hvor:

- $m(t)$ er systemets masse [kg]
- $\omega_{inn}(t)$ er masserater inn i systemet [$\frac{kg}{s}$]
- $\omega_{ut}(t)$ er masserater ut av systemet [$\frac{kg}{s}$]

$m(t)$ har følgende betydning:

$$m(t) = \rho \cdot V(t) \quad (3.2)$$

Hvor:

- ρ er tetthet [$\frac{kg}{m^3}$]
- $V(t)$ er volum [m^3]

Volumet ($V(t)$) har følgende betydning:

$$V(t) = A \cdot h(t) \quad (3.3)$$

Hvor:

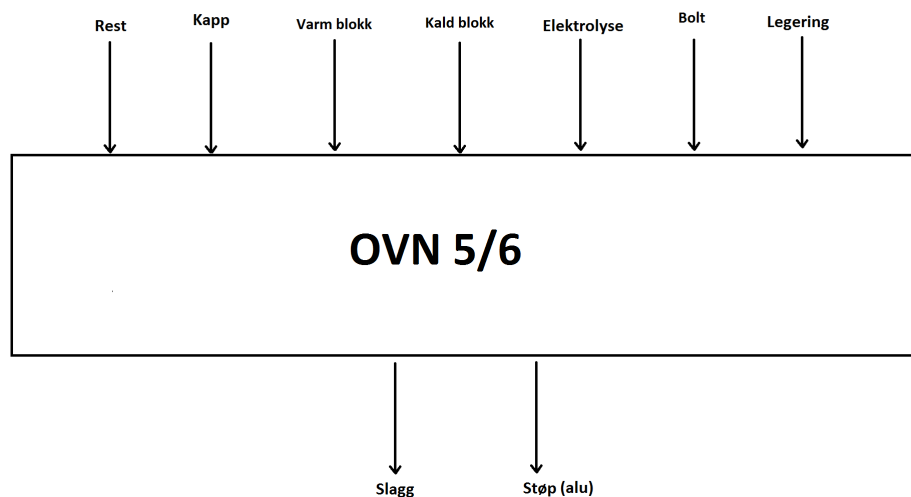
- A er tverrsnittsareal [m^2]
- $h(t)$ er høyde [m]

Kombinerer man disse formlene kan høyden i ovnene modelleres, eller man kan bruke massebalansen direkte i energibalansen.

3.1 Massebalanse teori

3.1.1 Massebalanse ovn

I dette delkapittelet settes massebalansen for ovnene opp. Se figur 3.1 som viser tilsatsene og fratreckene i metallet på ovnene.



Figur 3.1: Fremstilling av massebalanse ovn 5 og ovn 6

Masserater inn på ovnene [$\frac{kg}{min}$]:

$$\sum_i \omega_{inn}(t) = \omega_{rest}(t) + \omega_{kapp}(t) + \omega_{kblokk}(t) + \omega_{vblokk}(t) + \omega_{elyse}(t) + \omega_{bolt}(t) + \omega_{legering}(t)$$

3.1 Massebalanse teori

Masserater ut av ovnene [$\frac{kg}{min}$]:

$$\sum_i \omega_{ut}(t) = \omega_{slagg}(t) + \omega_{alu}(t)$$

Komplett massebalanse for ovnene:

$$\begin{aligned} \frac{d(m(t))}{dt} = & \omega_{rest}(t) + \omega_{kapp}(t) + \omega_{kblokk}(t) + \omega_{vblokk}(t) + \omega_{elyse}(t) \\ & + \omega_{bolt}(t) + \omega_{legering}(t) - \omega_{slagg}(t) - \omega_{alu}(t) \end{aligned} \quad (3.4)$$

3.1.2 Massebalanse implementering

I dette delkapittelet blir komplett massebalanse for ovnene (3.4) implementert i **Matlab/Simulink**.

Restene fra forrige støpeomgang modelleres slik at det blir antatt at massen påføres ovnen i iløpet av 2 minutter. $\omega_{rest}(t)$ regnes ut når massen implementeres i **Matlab**, deretter deles massen på 2 minutter. Se eksempelet under:

```
1 %----- Rest -----%
2 tid_rest = 2; %Tid aa 'fyller' rest [min]
3 rest_starttid = 1; %Min fra nullstill
4 m_rest = 6300; %Masse [kg]
5 omega_rest = (m_rest/tid_rest); %[kg/min]
6 %-----%
```

Slik eksempelet over viser er gjort med $\omega_{kapp}(t)$, $\omega_{kblokk}(t)$, $\omega_{vblokk}(t)$, $\omega_{bolt}(t)$, $\omega_{legering}(t)$ og $\omega_{slagg}(t)$ hvor massen er delt på ulike antall minutter det har tatt og tømme tilsatsene i ovnen.

3.1 Massebalanse teori

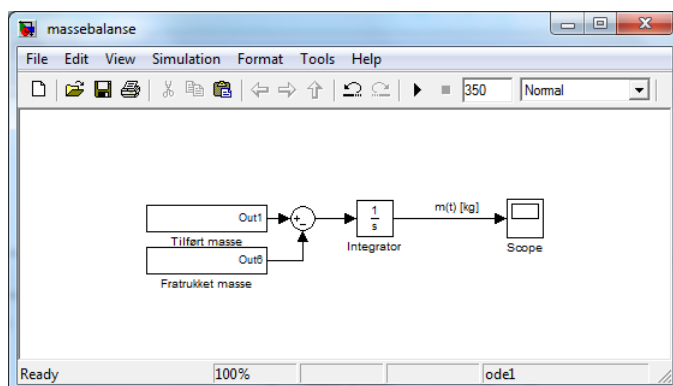
$\omega_{elyse}(t)$ er massen til elektrolysemetallet fordelt på antall digler. Massen per digle divideres på 2 minutter som er gjennomsnitt observert tid det tar å tømme en full digle i ovnene. Diglene blir implementert i *elyse.mat* med virkelig tidspunkt for tømning i ovnen. Videre blir *elyse.mat* implementert i **Simulink** modellen. Under blir det vist et eksempel på hvordan *elyse.mat* lages:

```
1 %-----Elektrolyse metall-----%
2 tid_elyse = 2; %Tid aa 'fyller' 1 digle paa ovn [min]
3 Antall_digle = 18;
4 m_elyse = (32970/Antall_digle); %Masse [kg]
5 T_elyse = 890; %Temperatur rest [C]
6 omega_elyse = (m_elyse/tid_elyse); % [kg/s]
7 %----- Lager m-file -----%
8 Elyse = zeros(1000,1);
9 for i = 15:16 %Diglene kommet paa 15-16 min ifra nullpunkt
10     Elyse(i) = omega_elyse;
11 end
12
13 Elyse_ = zeros(1000,2);
14 for i = 1:length(Elyse)
15     Elyse_(i) = i;
16 end
17 Elyse_(1001:end) = Elyse;
18 Elyse = Elyse_;
19 save('Elyse.mat', 'Elyse')
20 %-----%
```

$\omega_{alu}(t)$ er hentet direkte ut fra databladet til de ulike dimensjonene til boltene som støpes, se tabell 2.3.

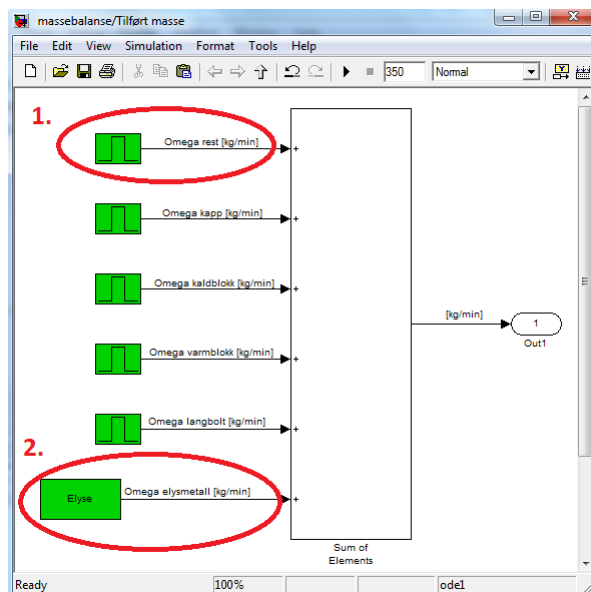
3.1 Massebalanse teori

Figur 3.2 viser hvordan massebalansen er implementert i **Simulink**.



Figur 3.2: Massebalansen Simulink

Implementere ω for de ulike tilsatsene og fratrekkenene. Se figur 3.3 som viser implementerte tilsatser i **Simulink**.

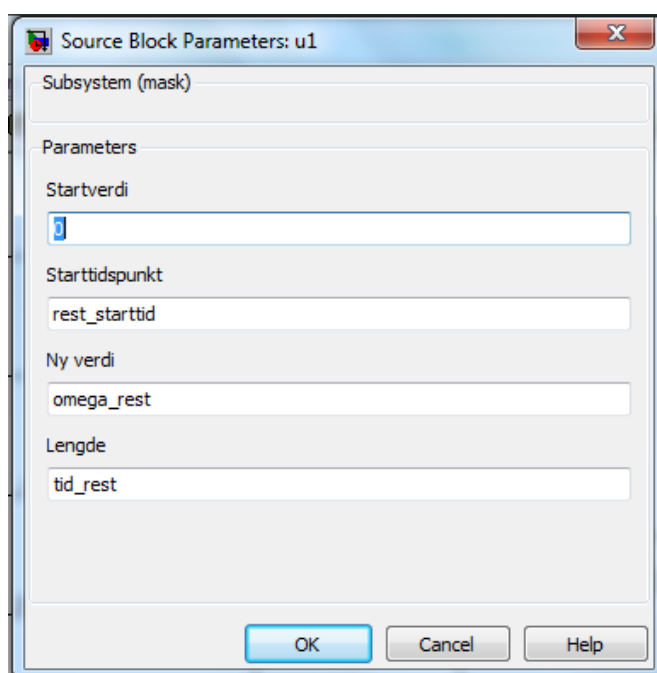


Figur 3.3: Tilsatser massebalansen Simulink

3.1 Massebalanse teori

Som indikert i figur 3.3 (rød ring med 1-tall) er tilsatsen av restmengden implementert som en puls. Måten denne pulsen er implementert er vist i figur 3.4 hvor parameteren *rest_starttid* er starttidspunktet for tilsatsen. Tilsatsen har verdien *omega_rest*. Lengden på pulsen er *tid_rest*.

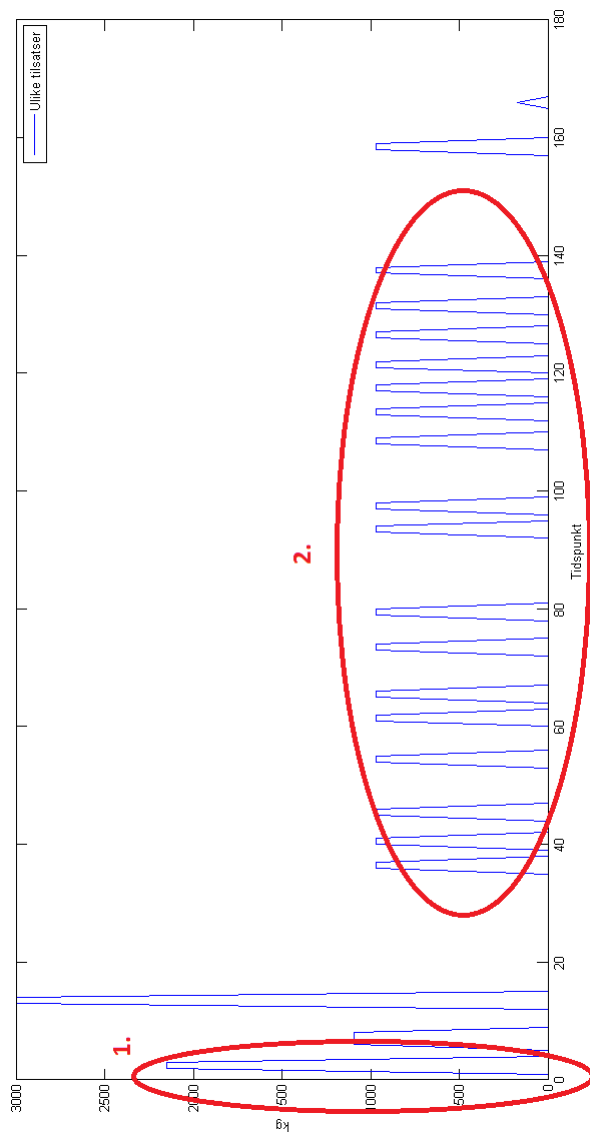
Som indikert i figur 3.3 (rød ring med 2-tall) er tilsatsen av elektrolysemetall implementert som et pulstog. Tilsatsen lagres i en *mat*-fil.



Figur 3.4: Puls *rest* Simulink

3.1 Massebalanse teori

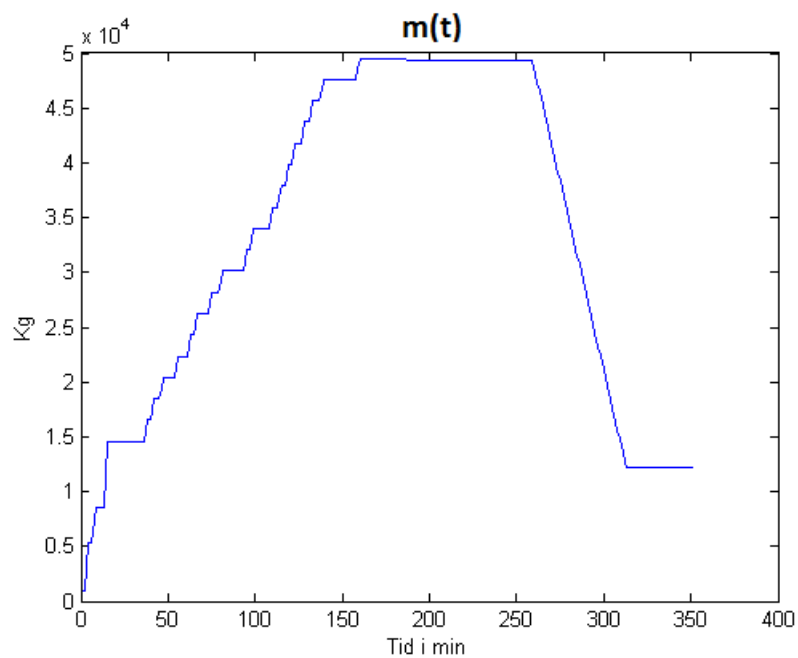
Figur 3.5 viser tilsatsene summert i **Simulink**, hvor resten (rød ring med 1-tall) er implementert som en puls og elektolysemetallet (rød ring med 2-tall) som et pulstog.



Figur 3.5: Tilsatsene i Simulink

3.1 Massebalanse teori

Modellert $m(t)$ for støpeomgang 1478-54, se figur 3.6.



Figur 3.6: Modellert $m(t)$ for støpeomgang 1478-54 i Simulink

I vedlegget Massebalanse for støpeomgang 1478-54 vises **Matlab** kode for massebalansen.

3.2 Energibalanse teori

3.2 Energibalanse teori

I delkapittelet blir teorien om energibalanse kort forklart. Teorien blir benyttet når energibalansen for ovnene settes opp.

Energibalansen til et system er summen av energi inn i systemet minus summen av energi ut ifra systemet.

$$\frac{d}{dt}(E(t)) = \sum_i Q_{inn}(t) - \sum_i Q_{ut}(t) \quad (3.5)$$

Hvor:

- $E(t)$ er systemets energi [J]
- $Q_{inn}(t)$ er energistrømning inn i systemet [$\frac{J}{s}$]
- $Q_{ut}(t)$ er energistrømning ut av systemet [$\frac{J}{s}$]

Systemets energi er spesifikk varmekapasitet for inneholdet multiplisert med massen som igjen multipliseres med temperaturen.

$$E(t) = c_p \cdot m(t) \cdot (T(t) - T_0) \quad (3.6)$$

Hvor:

- $E(t)$ er energi [J]
- c_p er spesifikk varmekapasitet [$\frac{J}{kg \cdot K}$]
- $m(t)$ er massen [kg]
- $T(t)$ er temperatur [$^{\circ}C$]
- T_0 er temperatur [$^{\circ}C$]

3.2 Energibalanse teori

For å finne **Varmetransport** sees det på den samlede mengden energi som tilføres systemet med ulike rater.

$$Q(t) = c_p \cdot T(t) \cdot \omega(t) \quad (3.7)$$

Hvor:

- $Q(t)$ er energistrømning inn/ut av systemet [$\frac{J}{s}$]
- c_p er spesifikk varmekapasitet [$\frac{J}{kg \cdot K}$]
- $\omega(t)$ er rate [$\frac{kg}{s}$]
- $T(t)$ er temperatur [$^{\circ}C$]

For å finne **Konveksjon** sees det på varmeoverføringen som oppstår mellom kald- og varmside.

$$Q(t) = A \cdot h \cdot (T_{varm}(t) - T_{kald}(t)) \quad (3.8)$$

Hvor:

- $Q(t)$ er energistrømning inn/ut av systemet [$\frac{J}{s}$]
- A er areal [m^2]
- $T_{varm}(t)$ er temperatur [$^{\circ}C$]
- $T_{kald}(t)$ er temperatur [$^{\circ}C$]
- h er spesifikk varmeovergangstall [$\frac{J}{s \cdot m^2 \cdot K}$]

3.2 Energibalanse teori

3.2.1 Energibalanse ovn

I dette delkapittelet settes energibalansen for ovnene opp. Figur 1.6 i innledningskapittelet viste en grafisk fremstilling av energibalansen på ovnene.

Gjort følgende antagelser for å sette opp energibalansen:

1. Konstant temperatur på kappet som tømmes inn i ovnen.
2. Varm blokk er målt til 180°C og det blir antatt at alle varme blokkene er 180°C.
3. Elektrolysemetallet blir dividert på antall digler og antas å ha en temperatur på 890°C når metallet tømmes i ovnen.
4. Konstant varmetap gjennom foringen på ovnsbunnen.
5. Konstant varmetap gjennom foringen på ovnsveggen.
6. Jevn fordeling av temperatur på metallet i ovnen.
7. c_p for legering settes lik c_p for aluminium 900 $[\frac{J}{kg \cdot K}]$ [15].
8. Tar ikke hensyn til energi som forsvinner ut av ovnen når det slagges.
9. Ovnsbunnen rektangulær og flat.
10. Av gasspådraget blir 40.5% av effekten tilført metallet. Resterende forsvinner ut av skorsteinen, ovnsforingen og åpninger i ovnen.
11. Spesifikk varmeovergangstall fra aluminium til luft er $1900 [\frac{J}{min \cdot m^2 \cdot K}]$. Ovnens dør er bare åpen når ovnen tilsettes legering og blandes. Da er energitapet stort.
12. Konstant omgivelse temperatur i ovnen på 150°C når døren er åpen.
13. Modellen tar ikke hensyn til når metallet går fra fast til flytende. Ved å benytte formel (4.2) trekkes energien fra i modellen, i det området hvor det ikke er måling av temperatur.

3.2 Energibalanse teori

Energitransporten inn på ovnene [$\frac{J}{min}$]:

$$\sum_i Q_{inn}(t) = Q_{rest}(t) + Q_{kapp}(t) + Q_{kblokk}(t) + Q_{vblokk}(t) + Q_{brennere}(t) \\ + Q_{elyse}(t) + Q_{bolt}(t) + Q_{legering}(t)$$

Energitransporten ut av ovnene [$\frac{J}{min}$]:

$$\sum_i Q_{ut}(t) = Q_{tap-bunn}(t) + Q_{tap-vegger}(t) + Q_{tap-door}(t) + Q_{alu}(t)$$

$$Q_{rest}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{rest}(t) \cdot T_{rest}$$

$$Q_{kapp}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{kapp}(t) \cdot T_{kapp}$$

$$Q_{vblokk}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{vblokk}(t) \cdot T_{vblokk}$$

$$Q_{kblokk}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{kblokk}(t) \cdot T_{kblokk}$$

$$Q_{brennere}(t) = u(t) \cdot 0.405$$

$$Q_{elyse}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{elyse}(t) \cdot T_{elyse}$$

$$Q_{bolt}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{bolt}(t) \cdot T_{bolt}$$

$$Q_{legering}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{legering}(t) \cdot T_{legering}$$

$$Q_{tap-bunn}(t) = A_{bunn} \cdot V_{tap-bunn}$$

$$Q_{tap-vegger}(t) = A_{vegger} \cdot V_{tap-vegger}$$

$$Q_{tap-door}(t) = A_{metall} \cdot h_{alu-luft} \cdot (T_{alu}(t) - T_{ovn-luft})$$

$$Q_{alu}(t) = c_{p-alu} \cdot \omega_{alu}(t) \cdot T_{alu}(t)$$

3.2 Energibalanse teori

$E(t)$ har to variabler som varierer med tiden, bruker dermed kjerneregelen:

$$\begin{aligned} E(t) &= c_{p\text{-alu}} \cdot m(t) \cdot T_{alu}(t) \\ \frac{d(E(t))}{dt} &= c_{p\text{-alu}} \cdot \frac{d(m(t) \cdot T_{alu}(t))}{dt} \\ &= c_{p\text{-alu}} \cdot \left(m(t) \cdot \frac{d(T_{alu}(t))}{dt} + T_{alu}(t) \cdot \frac{d(m(t))}{dt} \right) \\ &= c_{p\text{-alu}} \cdot m(t) \cdot \frac{d(T_{alu}(t))}{dt} + c_{p\text{-alu}} \cdot T_{alu}(t) \cdot \frac{d(m(t))}{dt} \end{aligned}$$

Løse med hensyn på $T_{alu}(t)$:

$$\begin{aligned} \frac{d(T_{alu}(t))}{dt} &= \frac{1}{c_{p\text{-alu}} \cdot m(t)} \left(\sum_i Q_{inn}(t) - \sum_i Q_{ut}(t) \right) \\ &\quad - \frac{1}{m(t)} \cdot T_{alu}(t) \cdot \left(\omega_{rest}(t) + \omega_{kapp}(t) + \omega_{kblockk}(t) + \omega_{vblockk}(t) \right. \\ &\quad \left. + \omega_{elyse}(t) + \omega_{bolt}(t) + \omega_{legering}(t) - \omega_{slagg}(t) - \omega_{alu}(t) \right) \end{aligned} \tag{3.9}$$

Ligning 3.9 beskriver dynamikken til temperaturen på ovn 5 og ovn 6.

3.3 Prosessering av logget data

3.3 Prosessering av logget data

I dette delkapittelet blir logget data fra ovnene prosessert i **Matlab** for å benyttes til verifisering av modell.

3.3.1 Prosessering av logget data Anlegg 5

Data som logges fra ovnene lagres i et Excel-ark. For å kunne bruke dataene til verifikasjon av modellen i ligning 3.9, må de lastes inn i **Matlab** og prosesseres.

Figur 3.7 viser et utdrag logget data fra ovnene.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Tid	Ovn	Spjeld_tid	Luft A	Luft B	Luft Tot	Bad-temp	Hvelv-temp	Stoping	Dor oppe	Bad SP	PP_Gass	Ovnstrykk	Stov	Bad maaling	Gass A	Gass B	Gass Tot	Tut-temp	Hvelv-fast
2	12.04.2012 10.00	6	19	1	158	27	718	395	5	0	7	0	0,9	8	0	0	10	10	718	618
3	12.04.2012 10.01	6	19	0	192	32	718	392	5	0	7	0	0,9	8	0	0	11	11	718	618
4	12.04.2012 10.02	6	19	0	191	32	718	389	5	0	7	0	0,9	9	0	0	12	12	717	617
5	12.04.2012 10.03	6	19	1	232	39	718	386	5	0	7	0	0,9	9	0	0	13	13	717	617
6	12.04.2012 10.04	6	19	1	170	29	717	383	5	0	7	0	0,9	9	0	0	12	12	717	616
7	12.04.2012 10.05	6	19	1	202	34	717	379	5	0	7	0	0,9	9	0	0	14	14	717	616
8	12.04.2012 10.06	6	19	1	195	33	717	377	5	0	7	0	0,92	9	0	0	15	15	716	615
9	12.04.2012 10.07	6	19	1	162	27	717	376	5	0	7	0	0,94	8	0	0	15	15	716	615
10	12.04.2012 10.08	6	19	1	325	54	716	380	5	0	7	0	0,97	8	0	0	16	16	716	615
11	12.04.2012 10.09	6	19	1	187	31	716	389	5	0	7	0	0,98	7	0	0	17	17	715	615
12	12.04.2012 10.10	6	19	1	169	28	716	399	5	0	7	0	0,98	7	0	0	17	17	715	615
13	12.04.2012 10.11	6	19	1	189	32	715	410	5	0	7	0	0,99	7	0	0	18	18	715	616
14	12.04.2012 10.12	6	19	1	55	9	715	419	5	0	7	0	0,98	6	0	0	19	19	715	616
15	12.04.2012 10.13	6	19	1	78	13	715	427	5	0	7	0	0,98	6	0	0	19	19	714	616
16	12.04.2012 10.14	6	19	1	508	85	715	435	5	0	7	0	0,98	6	0	0	20	20	714	616
17	12.04.2012 10.15	6	19	1	541	90	715	442	5	0	7	0	0,99	6	0	0	20	20	714	616
18	12.04.2012 10.16	6	19	1	428	72	714	448	5	0	7	0	0,98	6	0	0	21	21	714	616
19	12.04.2012 10.17	6	19	1	615	103	714	453	5	0	7	0	0,98	6	0	0	21	21	713	616
20	12.04.2012 10.18	6	19	1	176	30	714	458	5	0	7	0	0,98	6	0	0	22	22	713	616
21	12.04.2012 10.19	6	19	0	42	7	714	462	5	0	7	0	0,98	6	0	0	22	22	713	616
22	12.04.2012 10.20	6	19	0	162	27	713	466	5	0	7	0	0,98	6	0	0	22	22	713	616
23	12.04.2012 10.21	6	19	0	346	58	713	469	5	0	7	0	0,98	6	0	0	22	22	713	616
24	12.04.2012 10.22	6	19	0	608	101	713	473	5	0	7	0	0,98	6	0	0	23	23	713	616
25	12.04.2012 10.23	6	19	0	216	36	713	475	5	0	7	0	0,98	6	0	0	23	23	712	615
26	12.04.2012 10.24	6	19	5	380	64	713	477	5	0	7	0	1,07	5	0	0	52	52	712	615

Figur 3.7: Utdrag Brennere anl 5 uke 38-2011 [9]

3.3 Prosessering av logget data

Funksjonen `xlsread` ble benyttet for å laste inn data fra ovnene lagret i Excel-arket til "Workspace" i **Matlab**. Deretter ble det foretatt en prosessering av dataene. Det som er tilfellet med dataene i kolonne 6 "bad temp" er at det noen plasser plutselig hopper fra en virkelig verdi til 1000°C iløpet av ett minutt. Det som skjer er at operatøren har dratt ut termoelementet, eller at det er brudd på kableen. Det er programmert slik fordi 1000°C er høyere en hva setpunkts temperatur vil være. Dermed reguleres brennerne ned på minimum gasspådrag. Har valgt og ta vekke hele raden av ulike data der "bad temp" har vist 1000°C , dette fordi det ikke skjer så ofte. Det går ikke mange minutter før termoelementet er fikset og i drift igjen.

Under er et utdrag av **Matlab** koden som prosesserer og lager mat-filer som benyttes i **Simulink** modellen.

```
1 clear all; close all; clc;
2 %----- Leser inn excel ark ovn 5 -----%
3 [num5,txt5,row5] = xlsread('2012-02-20 Ovnslogg 14 feb.xlsx',1);
4 %----- Omraade plott -----%
5 omr = 105:420; %Velge omraade [min]
6 %----- PV -----%
7 badtemp5 = num5(omr,6); %Virkelig temp [C]
8 hel5 = badtemp5 < 1000 ;
9 badtemp5 = badtemp5(hel5); %Fjerner 1000 grader fra celle
10 %----- gjør om -----%
11 badtemp5_ = zeros([length(badtemp5) 2]);
12 for i = 1:length(badtemp5)
13     badtemp5_(i) = i;
14 end
15 badtemp5_(length(badtemp5)+1:end) = badtemp5;
16 badtemp5 = badtemp5_;
17 save('badtemp5.mat', 'badtemp5')
18 %-----%
```

Tilsvarende slik eksemplet over viser er gjort med setpunkt temperatur, gasspådrag og dør åpen.

3.3 Prosessering av logget data

For å lage en modell for temperaturen på metallet i ovnene, trengs det mer data enn hva som er logget i Excel-arket. Følgende data måtte observeres for å gjøre modellen komplett:

- Rest på ovnen etter forrige støpeomgang.
- Når ulikt kapp og mengde tømmes i ovnen.
- Hvor mye elektolysemetall som tømmes i ovnen.
- Når diglene med elektrolysemetall blir tømt i ovnen.
- Når bolt smeltes.
- Når ovnen tilsettes legering og blandes.
- Når støp startes og avsluttes.

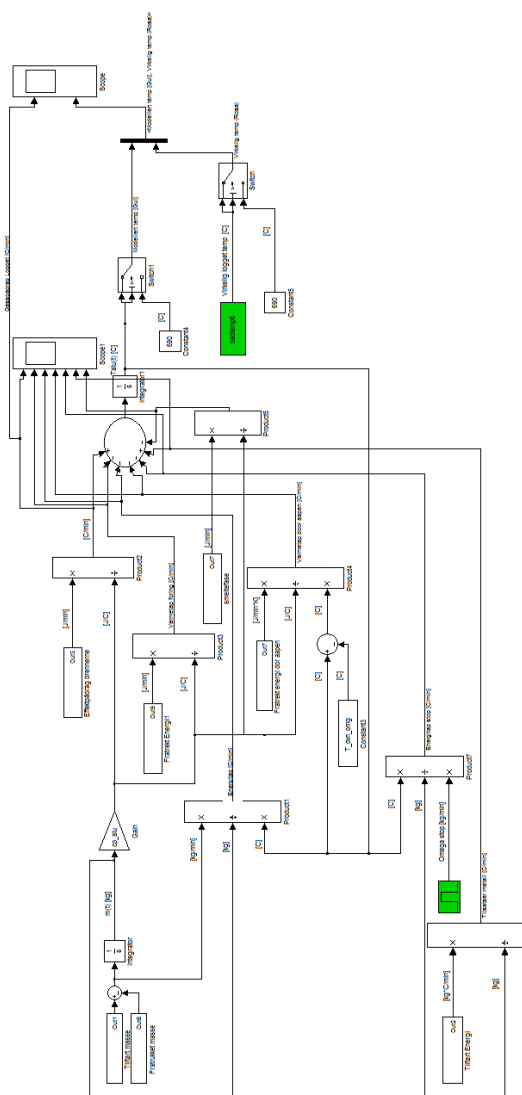
Observert data implementeres i **Matlab** kode. Se eksempelet under:

```
1  %----- Rest -----%
2  tid_rest = 2; %Tid aa 'fyllle' rest
3  rest_starttid = 1; %Min fra nullstill
4  m_rest = 7500; %Masse [kg]
5  T_rest = 700; %Temperatur rest [C]
6  omega_rest = (m_rest/tid_rest); %[kg/min]
7  %----- Kapp -----%
8  tid_kapp = 1;%Tid aa 'fyllle' kapp
9  kapp_starttid = 3; %Min fra nullstill
10 m_kapp = 2180; %Masse [kg]
11 T_kapp = 20; %Temperatur kapp [C]
12 omega_kapp = (m_kapp/tid_kapp); %[kg/min]
13 %-----%
```

3.4 Energibalanse implementering

3.4 Energibalanse implementering

Modell for temperaturen på metallet i ovnene implementert i **Simulink**, se figur 3.8.



Figur 3.8: Komplette modell for temperatur på metallet i ovnene

3.4 Energibalanse implementering

3.4.1 Implementering av forenklingene gjort i modellen

I dette delkapittelet er det beskrevet ulike antagelser som er gjort i modellen, og hvordan de er implementert i **Matlab/Simulink**.

Energi som trengs for å gå fra fast til flytende aluminium

Smeltepunkt for aluminium er $660.32^{\circ}C$ [7]. Energien som trengs for at metallet skal gå fra fast til flytende regnes ut med formel (3.10)

$$q = C_{alu} \cdot m \quad (3.10)$$

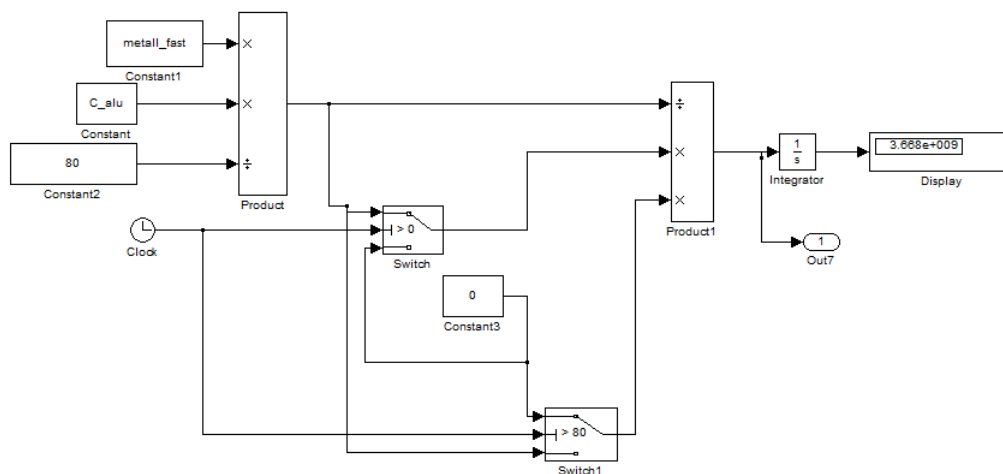
Hvor:

- q er energi [J]
- C_{alu} er spesifikk smeltevarme $395000 \left[\frac{J}{kg}\right]$, hentet fra Bringedal [13]
- m er masse [kg]

Energien som trengs for å gå fra fast til flytende form, blir regnet ut i **Matlab** ved å addere sammen alle tilsatsene i fast form og multiplisere med spesifikk smeltevarme for aluminium.

3.4 Energibalanse implementering

Figur 3.9 viser hvordan energi fra fast til flytenden ble fratrukt i modellen. Hvor total energi blir delt på de første 80 minuttene med hjelp av funksjonene "Clock" og "Switch". I det aktuelle tidsrommet fra 0-80 minutter er det ikke noe måling av temperatur på metallet i ovnen. I modellen settes området til en konstant (690°C).

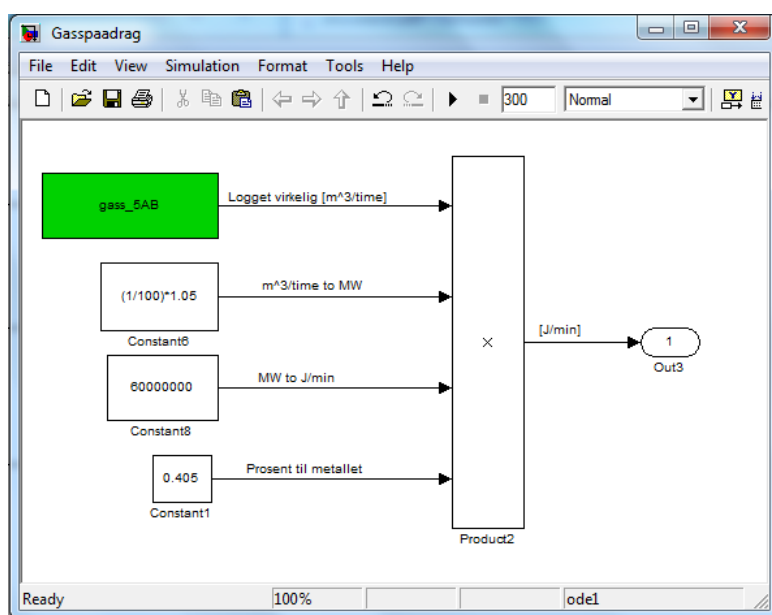


Figur 3.9: Fratrukt energi smelteovergangen fra fast til flytende aluminium

3.4 Energibalanse implementering

Effektpådrag brennerne

Brennerne på ovnene har ikke i praksis noen annen regulering en av og på. Det ble besluttet å bruke data fra Excel-arket som logger det totale gassforbruket i $[\frac{m^3}{h}]$ og omgjør det til 4.5 MW som er den totale effekten til brennerne for maks pådrag. For å få modellen i samme benevning ble data gjort om til $[\frac{J}{min}]$ og multiplisert med virkningsgraden til energien som tilknytter seg til metallet, se figur 3.10.

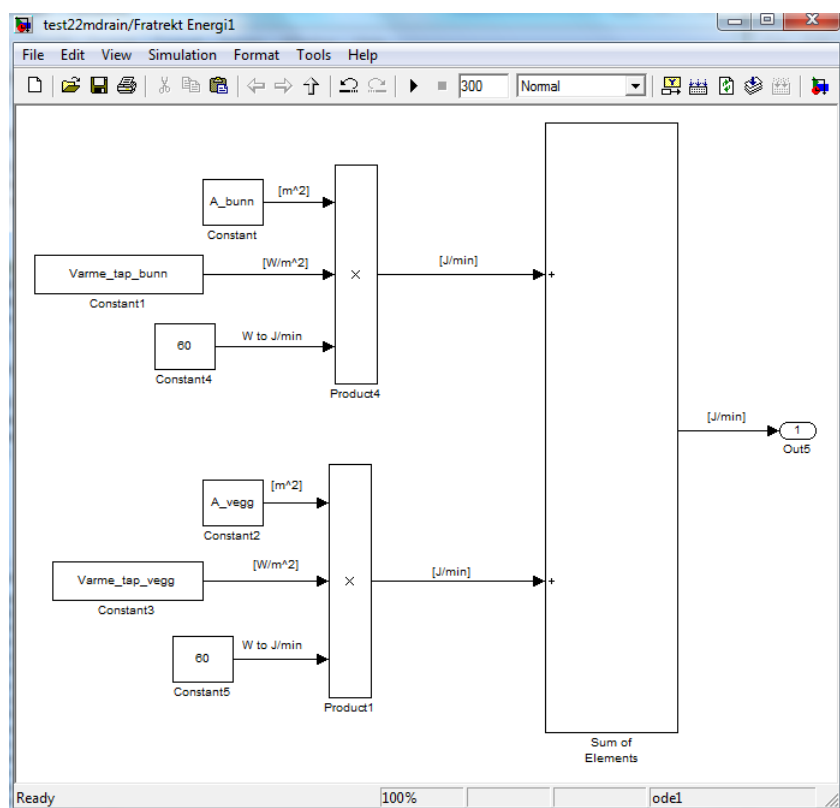


Figur 3.10: Gasspådraget implementert i Simulink

3.4 Energibalanse implementering

Energitap ovsforing

Varmetapet gjennom ovsforingen er forenklet, og det benyttes konstant areal multiplisert med konstant varmetap i modellen. For å få modellen i samme benevning ble produktet gjort om til $[\frac{J}{min}]$, se figur 3.11.



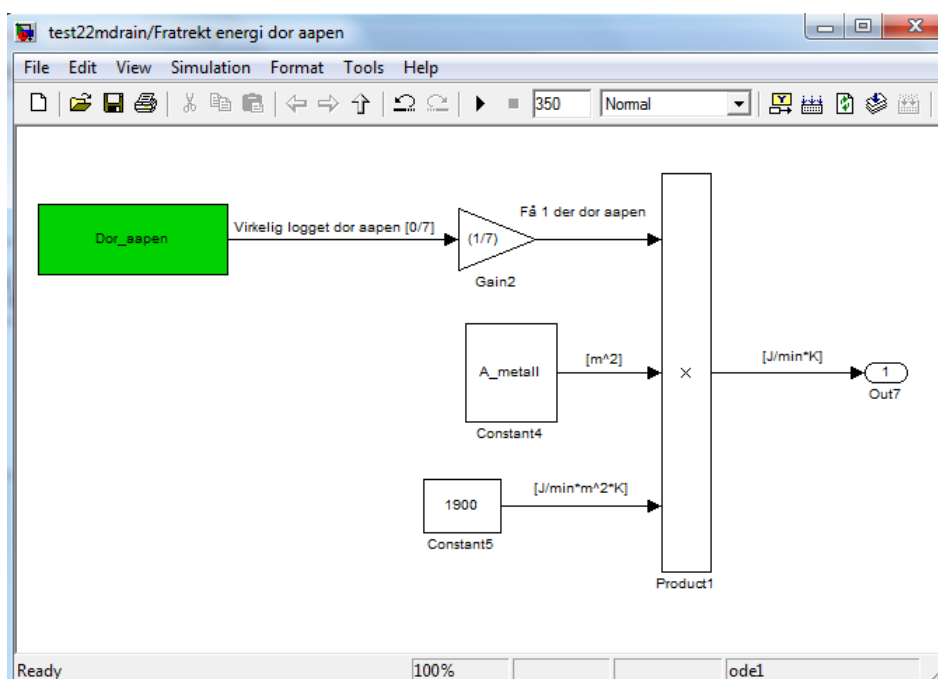
Figur 3.11: Energitap ovsforingen implementert i Simulink

3.4 Energibalanse implementering

Energitap under utblanding av legering

Av den loggede dataen i Excel-arket blir det logget "7" i kolonne "J" hvor døra på ovnen har vært åpen, se figur 3.7. Døra er kun åpen når kapp tømmes i ovnen eller når ovnen tilsettes legering og blandes. Derfor settes spesifikk varmeovergangstall mellom aluminium og luft til $1900 \left[\frac{J}{\text{min} \cdot \text{m}^2 \cdot K} \right]$.

Produktet slik figur 3.12 viser blir deretter multiplisert med differansen mellom den modellerte temperaturen på metallet og temperaturen i ovnsomgivelsene. Temperaturen i ovnsomgivelsene settes konstant til $150^{\circ}C$.

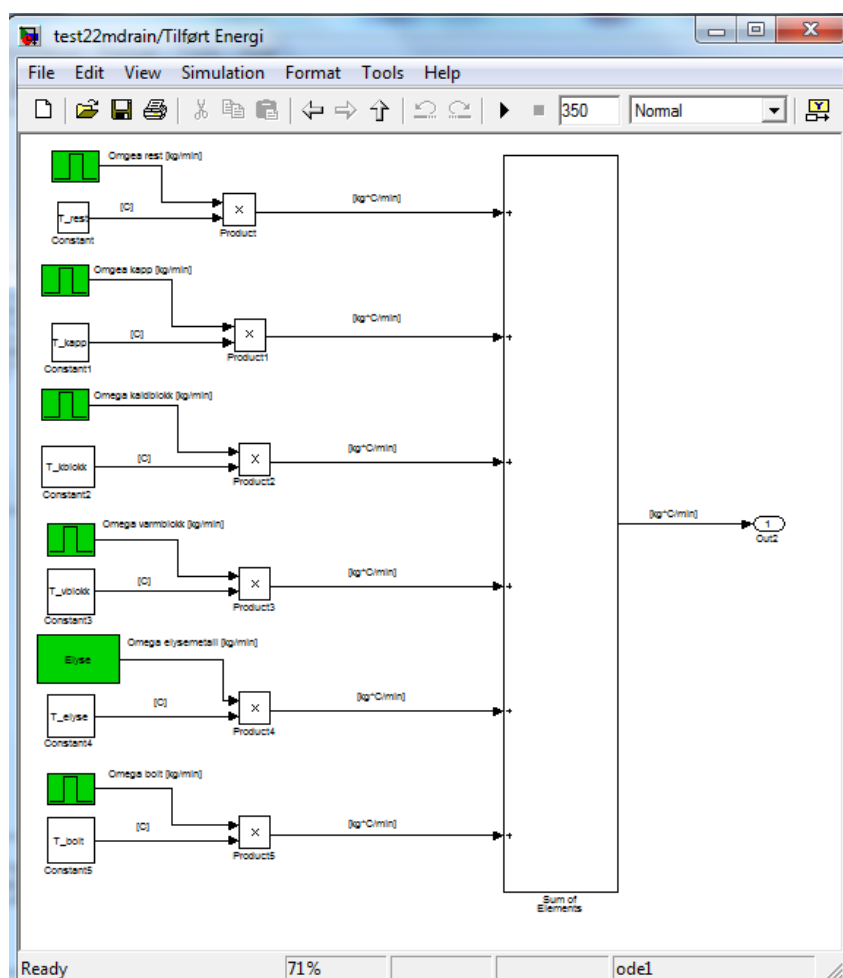


Figur 3.12: Energitap under utblanding av legering implementert i Simulink

3.4 Energibalanse implementering

Energi tilsatser

Massen til tilsatsene blir multiplisert med temperaturen og summert, se figur 3.13.



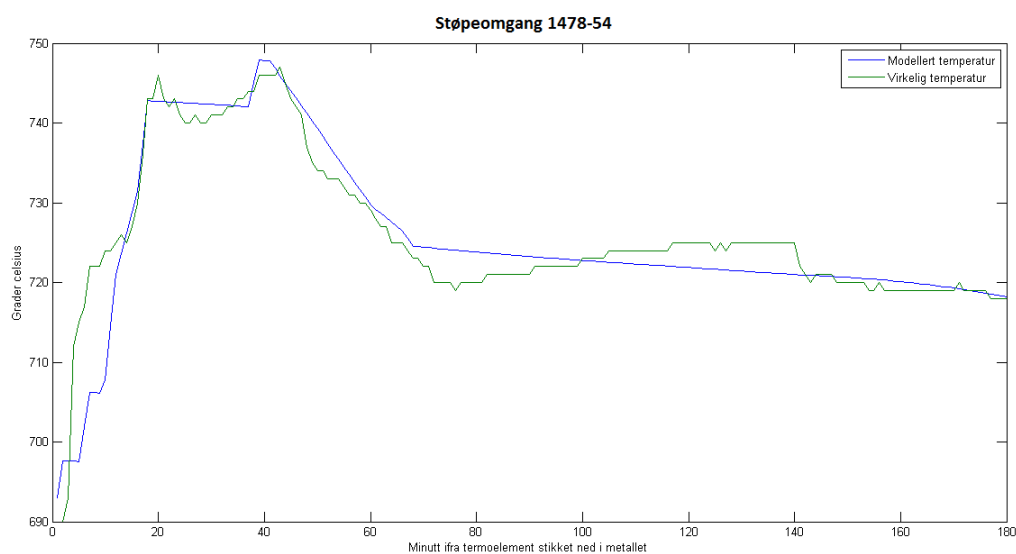
Figur 3.13: Energi tilsatsene implementert i Simulink

3.5 Modellvalidering

3.5 Modellvalidering

Tre ulike støpeomganger ble implementert og sammenlignet. Området som er interessant er når termoelementet stikkes ned i metallet.

Første observerte og modellerte støpeomgang var med støpenummer 1478-54 den 14.02.2012, se figur 3.14.

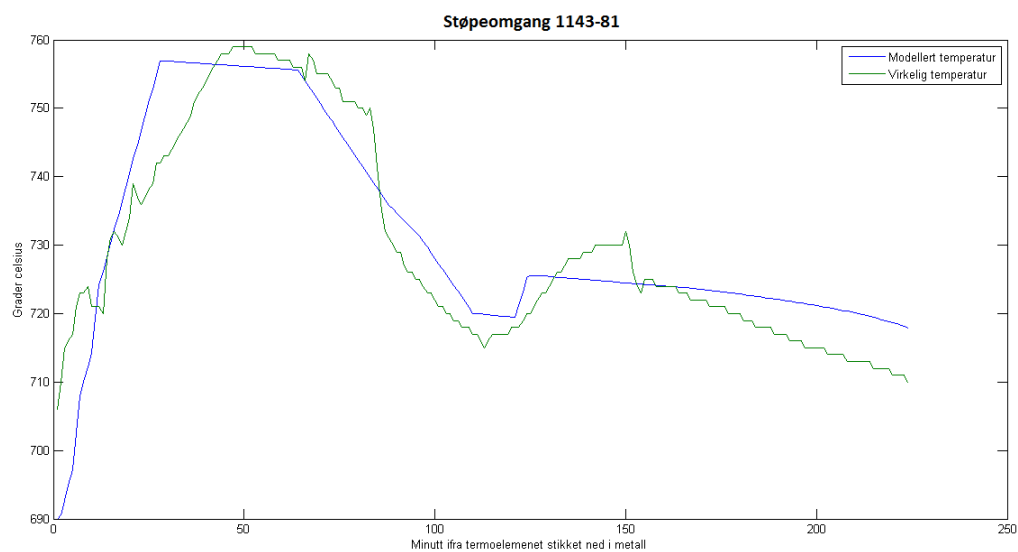


Figur 3.14: Modelleert temperatur vs virkelig temperatur for støpeomgang 1478-54

Se **Matlab** kode for å se de ulike tilsatsene, temperatur og mengden i vedlegget: Energibalanse for støpeomgang 1478-54

3.5 Modellvalidering

Andre observerte og modellerte støpeomgang var med støpenummer 1143-81 den 12.04.2012, se figur 3.15.

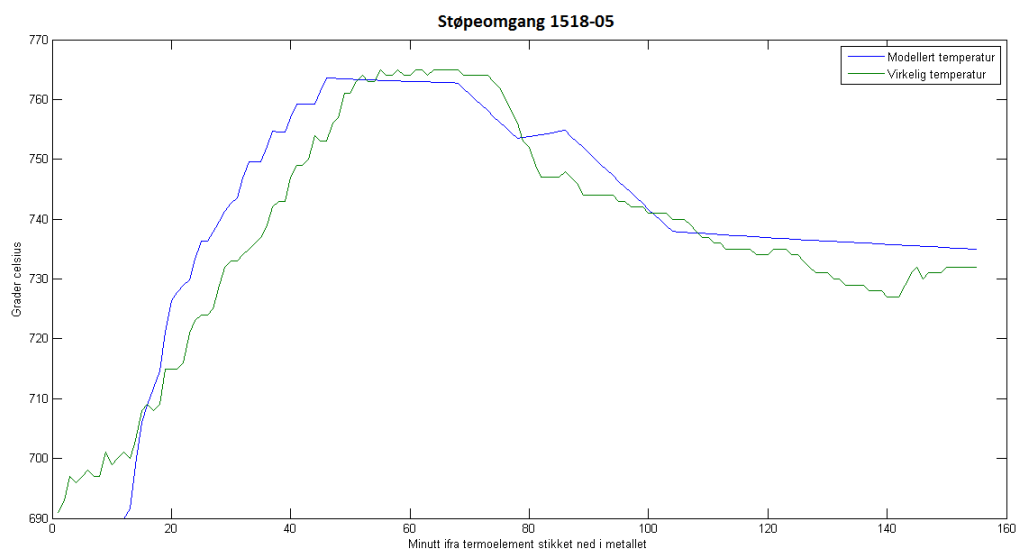


Figur 3.15: Modelleert temperatur vs virkelig temperatur for støpeomgang 1143-81

Se **Matlab** kode for å se de ulike tilsatsene, temperatur og mengden i vedlegget: Energibalanse for støpeomgang 1143-81

3.5 Modellvalidering

Tredje observerte og modellerte støpeomgang var med støpenummer 1518-05 den 12.04.2012, se figur 3.16.



Figur 3.16: Modelleert temperatur vs virkelig temperatur for støpeomgang 1518-05

Se **Matlab** kode for å se de ulike tilsatsene, temperatur og mengden i vedlegget: Energibalanse for støpeomgang 1518-05

Kapittel 4

Estimert og modellerne pådrag

I dette kapitlet blir det estimert hvor mye energi som må tilføres fra brennerne for å oppnå ønsket temperatur på metallet i ovnen. Estimert gasspådrag blir implementert i modellen for verifisering.

4.1 Estimert gasspådrag

Ved Alcoa Lista stikkes termoelement ned i metallet av operatøren, men det er ingen prosedyre eller indikasjon på når det burde stikkes ned i metallet. Ved å bruke formlene (4.1) og (4.2), estimeres brennetiden for å treffe ønsket temperatur, og dermed sparer bedriften for unødvendig bruk av gass.

$$q = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

4.1 Estimert gasspådrag

$$q = C_{alu} \cdot m \quad (4.2)$$

Formel (4.1) benyttes til å estimere energien for å øke temperaturen opp til ønsket setpunkt. Deretter benyttes formel (4.2) til å regne ut energien for å gå fra fast til flytende aluminium. For å finne den totale energien må produktene summeres.

4.1.1 Estimert energibehov for støpeomgang 1478-54

Estimert energi som må tilføres fra brennerne for å oppnå setpunkts temperatur på metallet i ovnen.

Fast (solid) aluminium:

Kapp

$$q_{oppvarming} = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 3285 \cdot (660 - 20) = 1892.1 \text{ [MJ]}$$

$$q_{smelt} = C_{alu} \cdot m = 395000 \cdot 3285 = 1297.5 \text{ [MJ]}$$

$$q_{oppvarming} = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 3285 \cdot (745 - 660) = 251.3 \text{ [MJ]}$$

Varm blokk

$$q_{oppvarming} = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 6000 \cdot (660 - 180) = 2592 \text{ [MJ]}$$

$$q_{smelt} = C_{alu} \cdot m = 395000 \cdot 6000 = 2370 \text{ [MJ]}$$

$$q_{oppvarming} = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 3285 \cdot (745 - 660) = 459 \text{ [MJ]}$$

Totalt energi for å oppnå 745°C på de faste tilsatsene over = 8862 [MJ]

4.1 Estimert gasspådrag

Flytende (liquid) aluminium:

Rest

$$q = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 4300 \cdot (745 - 700) = 174.1 \text{ [MJ]}$$

Totalt energi for å oppnå 745°C på rest fra forrige støpeomgang = 174.1 [MJ]

Elektrolysemetall

$$q = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 34970 \cdot (890 - 745) = 4563.5 \text{ [MJ]}$$

Totalt tilført energi fra elektrolysemetallet = 4563.5 [MJ]

Resterende energi som må tilføres fra brennerne = 4472.6 [MJ]

Brennerne gir en samlet effekt på 4.5 [MW] som omregnet blir 270 $\frac{\text{MJ}}{\text{min}}$. Det antas at 40.5% av energien som blir tilført fra brennerne tilknytter seg metallet.

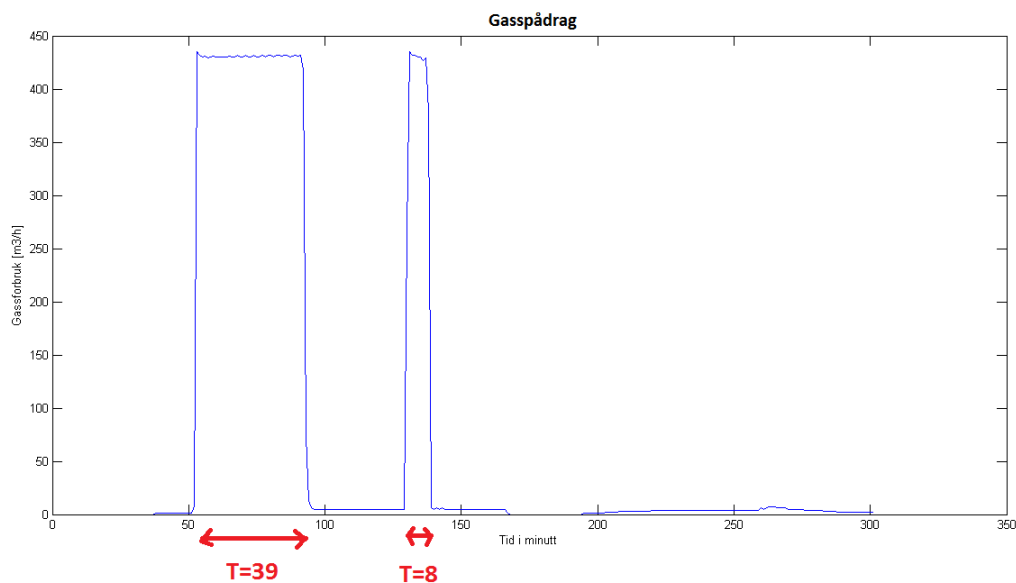
Maxpådrag brennere:

$$\frac{4472.6}{0.405 \cdot 270} = 41 \text{ minutter}$$

Begge brennerne må fyres på makspådrag i 41 minutter for å oppnå ønsket temperatur på 745°C.

4.1 Estimert gasspådrag

Data hentet fra støpeomgang 1478-54, og benyttet for å sammenligne estimert tid med virkelig tid.



Figur 4.1: Gasspådrag for støpeomgang 1478-54

Figur 4.1 viser at brennerne har fyrt på makspådrag i 47 minutter. Det er oppnådd en temperatur på 745 °C. Differansen på 6 minutter mellom virkelig og estimert brennetid er bra innenfor akseptabelt område.

I vedlegg er samme estimering gjort for støpeomgangene 1143-81 og 1518-05.

4.2 Modellering med estimert gasspådrag

4.2 Modellering med estimert gasspådrag

I dette kapittelet blir det estimerte gasspådraget implementert og verifisert i modellen.

Nedenfor er likningene (4.1) og (4.2) for energi implementert i **Matlab**.

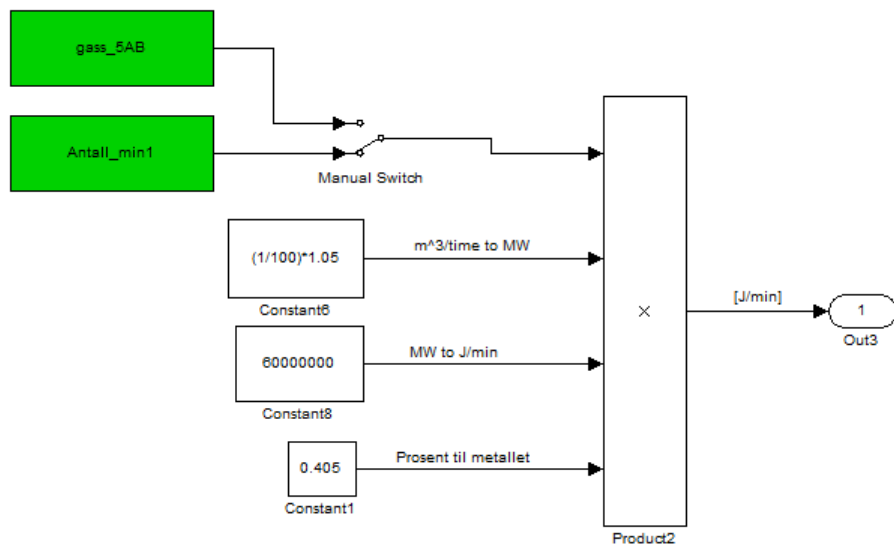
```
1  %----- Utregnet energi -----%
2  %-----%
3  T_SP = 745; % SP temperatur [C].
4  cp_alu = 900; % Spesifikk varmekapasitet [J/kg*C].
5  C_alu = 395000; % Spesifikk smeltevarme aluminium [J/kg].
6  t_kapp = 20; % Temperatur kapp [C].
7  m_kapp = 1000; % Massen kapp [kg].
8  %----- Kapp (fast)-----%
9  q1_opp1 = cp_alu*m_kapp*(660-t_kapp); % Energi opp til smelt.
10 q1_smelt = C_alu*m_kapp; % Energi fra fast til flytende.
11 q1_opp2 = cp_alu*m_kapp*(T_SP-660); % Energi fra smelte til SP.
12 q1_tot = q1_opp1+q1_smelt+q1_opp2; % Total energi behov.
13 %-----%
```

Tilsvarende som eksemplet over er gjort for alt av fast metall som er tømt i ovnen. Deretter blir energien som er tilført ifra elektrolysemetallet trukket i fra. Se vedlegg Estimert gasspådrag for komplett **Matlab** kode.

Estimert gasspådrag implementeres slik at det lages en *m - fil* som benyttes direkte i **Simulink** modellen hvor det fyres med makspådrag i estimert tid. Etter estimert tid reguleres brennerne ned på minimum.

4.2 Modellering med estimert gasspådrag

Figur 4.2 viser hvordan det ved hjelp av en "Switch" kan velges om det skal modelleres med virkelig gasspådrag eller estimert gasspådrag for støpeomgangen.

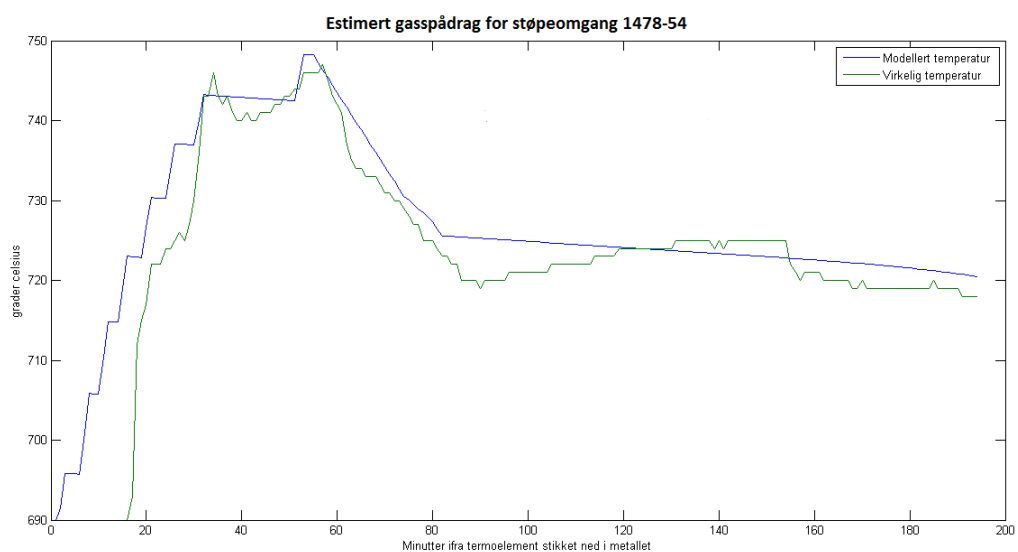


Figur 4.2: Gasspådraget ved virkelig- eller estimert

4.2 Modellering med estimert gasspådrag

4.2.1 Modell verifisering med estimert gasspådrag for støpeomgang 1478-54

Estimert gasspådrag implementert i modellen for støpeomgang 1478-54, se figur 4.3.



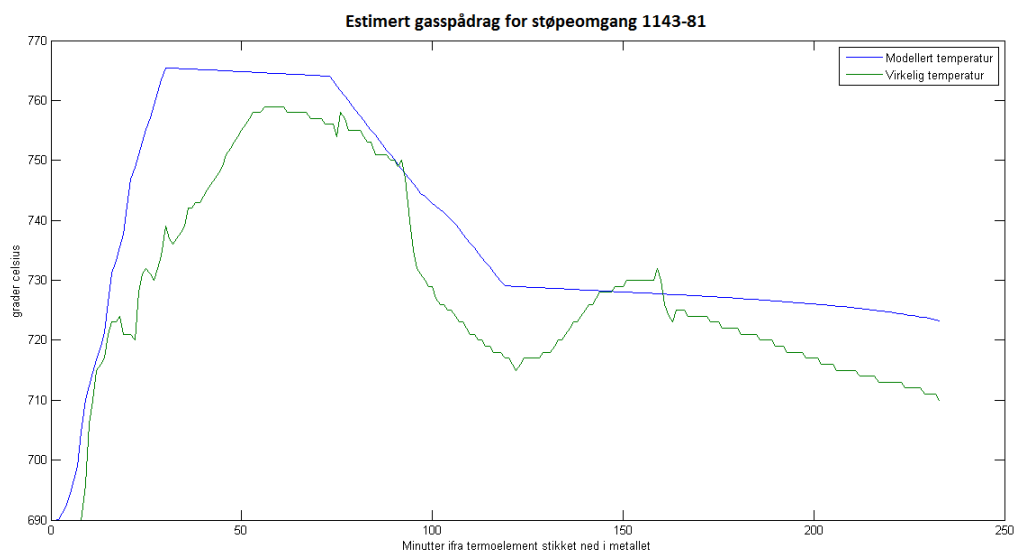
Figur 4.3: Modellert temperatur med estimert gasspådrag for støpenummer 1478-54

Slik figur 4.3 viser treffer modellen bra med estimert gasspådrag brukt i modellen.

4.2 Modellering med estimert gasspådrag

4.2.2 Modell verifisering med estimert gasspådrag for støpeomgang 1143-81

Estimert gasspådrag implementert i modellen for støpeomgang 1143-81, se figur 4.4.



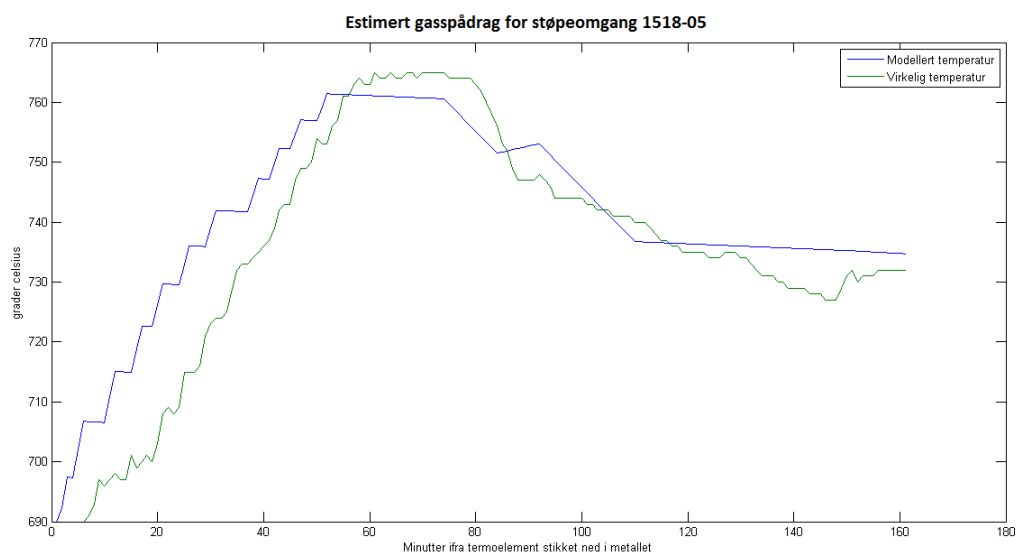
Figur 4.4: Modellert temperatur med estimert gasspådrag for støpenummer 1143-81

Slik figur 4.4 viser treffer ikke modellen helt med estimert gasspådrag.

4.2 Modellering med estimert gasspådrag

4.2.3 Modell verifisering med estimert gasspådrag for støpeomgang 1518-05

Estimert gasspådrag implementert i modellen for støpeomgang 1518-05, se figur 4.5.



Figur 4.5: Modellert temperatur med estimert gasspådrag for støpenummer 1518-05

Slik figur 4.5 viser treffer modellen bra med estimert gasspådrag brukt i modellen.

4.3 Estimere setpunkt før elektrolysemetall tømmes på ovn

4.3 Estimere setpunkt før elektrolysemetall tømmes på ovn

I dette delkapittelet estimeres det setpunkt på temperaturen før elektrolysemetallet blir tømt i ovnen. Ved å fyre brennerne slik at temperaturen på ovnen blir som estimert, reguleres brennerne ned på minimum. Elektrolysemetallet øker temperaturen slik at det oppnås ønsket verdi etter hvert som diglene blir tømt i ovnen. Slik som i eksempelet under blir det tilsatt 30 000kg varme blokker og 15 000kg elektrolysemetall i ovnen

Varm blokk

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 30000 \cdot (660 - 180) = 12960 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{smelt}} = C_{\text{alu}} \cdot m = 395000 \cdot 30000 = 11850 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 30000 \cdot (745 - 660) = 2295 \text{ [MJ]}$$

Totalt energi for å oppnå 745°C på de varme blokkene over = 27105 [MJ]

Elektrolysemetall

$$q = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 15000 \cdot (890 - 745) = 1957.5 \text{ [MJ]}$$

Totalt tilført energi fra elektrolysemetallet = 1957.5 [MJ]

Resterende energi som må tilføres fra brennerne = 25147.5 [MJ]

4.3 Estimere setpunkt før elektrolysemetall tømmes på ovn

Estimert setpunkt temperatur på metallet før elektrolysemetallet tømmes inn på ovnen:

$$q_{\text{oppvarming}} + q_{\text{smelt}} + (900 \cdot 30000 \cdot (x - 660)) = 25147.5 \text{ [MJ]}$$

$$x = 673^{\circ}\text{C}$$

Slik eksempelet viser er det først estimert hvor mye energi som trengs for å oppnå setpunkt på 745°C . Deretter er det trukket ifra energien til elektrolysemetallet. Det settes opp en ligning som løses med hensyn på x . Brennerne fyres på makspådrag til de varme blokkene er smeltet og metallet har en temperatur på 673°C . Etter å ha oppnådd 673°C tømmes elektrolysemetallet i ovnen og øker temperaturen til 745°C , uten at brennerne benyttes.

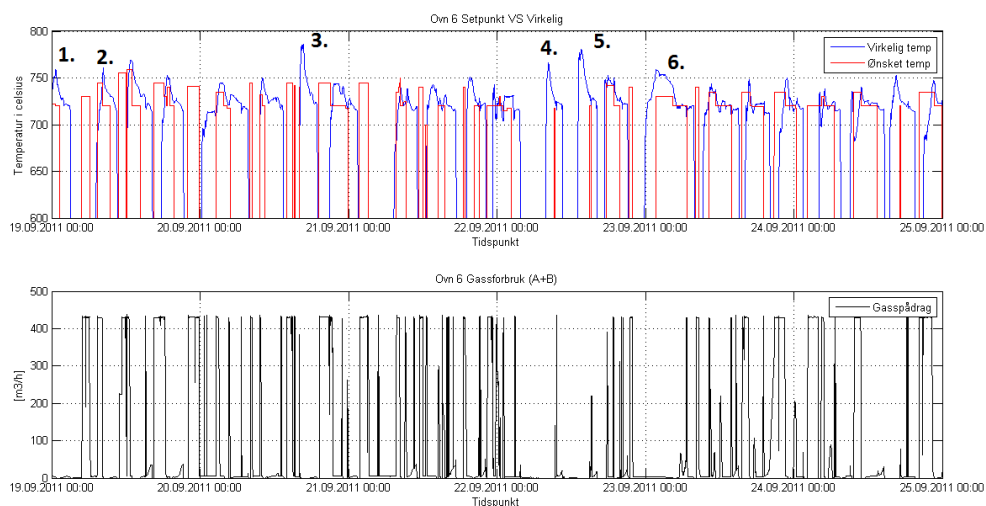
4.4 Estimert tapt energi

4.4 Estimert tapt energi

I dette kapittelet blir det estimert hvor mye energi fra brennerne som unødvendig går tapt i løpet av ett år ved Anlegg 5. Det blir tatt utgangspunkt i 1 uke, og gjort følgende antagelser:

1. Ovnen inneholder 50000kg aluminium oppfylt.
2. Det er en blanding av kapp og elektrolysemetall slik at brennerne må benyttes for å oppnå 745°C .
3. Null bolter til smelting.
4. Ukene er like.

Analyserte tidsrommet 19.09.2011 - 25.09.2011 og studerte temperatur toppene over 750°C . Figur 4.6 viser seks tilfeller i det angitte tidsrommet hvor temperaturen på metallet ble over 750°C .



Figur 4.6: Setpunkt vs Prosessverdi vs Gasspådrag

4.4 Estimert tapt energi

Ved å bruke formlene for energi og antagelser estimeres unødvendig energiforbruk for tidsrommet:

$$q_1 = 900 \cdot 50000 \cdot (759 - 745) = 630 \text{ [MJ]}$$

$$q_2 = 900 \cdot 50000 \cdot (761 - 745) = 720 \text{ [MJ]}$$

$$q_3 = 900 \cdot 50000 \cdot (786 - 745) = 1845 \text{ [MJ]}$$

$$q_4 = 900 \cdot 50000 \cdot (766 - 745) = 945 \text{ [MJ]}$$

$$q_5 = 900 \cdot 50000 \cdot (780 - 745) = 1575 \text{ [MJ]}$$

$$q_6 = 900 \cdot 50000 \cdot (759 - 745) = 630 \text{ [MJ]}$$

Totalt unødvendig energi iløpet av tidsrommet på 1 uke = 6345 [MJ]

Totalt unødvendig energiforbruk iløpet av en uke deles på effekten til brennerne multiplisert med virkningsgraden. Det estimeres antall minutter brennerne har fyrt på maks pådrag unødvendig.

$$\frac{6345}{270 \cdot 0.405} = 58 \text{ minutter}$$

Brennerne forbruker $430 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hour}} \right]$ som medfører et unødvendig gassforbruk på $416 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hour}} \right]$.

Unødvendig gassforbruk multiplisert med gassprisen $5.05 \left[\frac{\text{NOK}}{\text{S} \cdot \text{m}^3} \right]$. Og helkontinuerlig drift hele året.

$$416 \cdot 5.05 \cdot 52 \approx 110000 \text{ NOK}$$

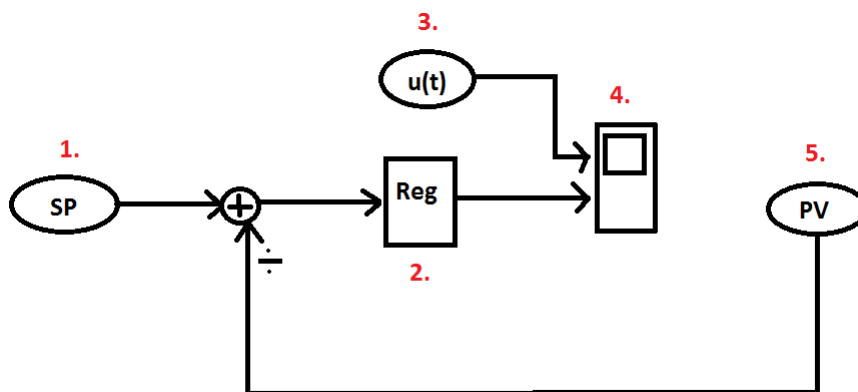
Det er mulig å redusere gassutgiftene med 110 000 NOK i året.

Kapittel 5

Verifisering av PI regulator parametre

I dette kapittelet blir PI-regulatoren verifisert. En sprangrespons på termoelementet ble også utført.

For å verifisere regulatoren ble virkelig gasspådrag sammenlignet med estimert gasspådrag i **Simulink**. K_p , T_i og T_d ble funnet eksperimentelt. Se figur 5.1.



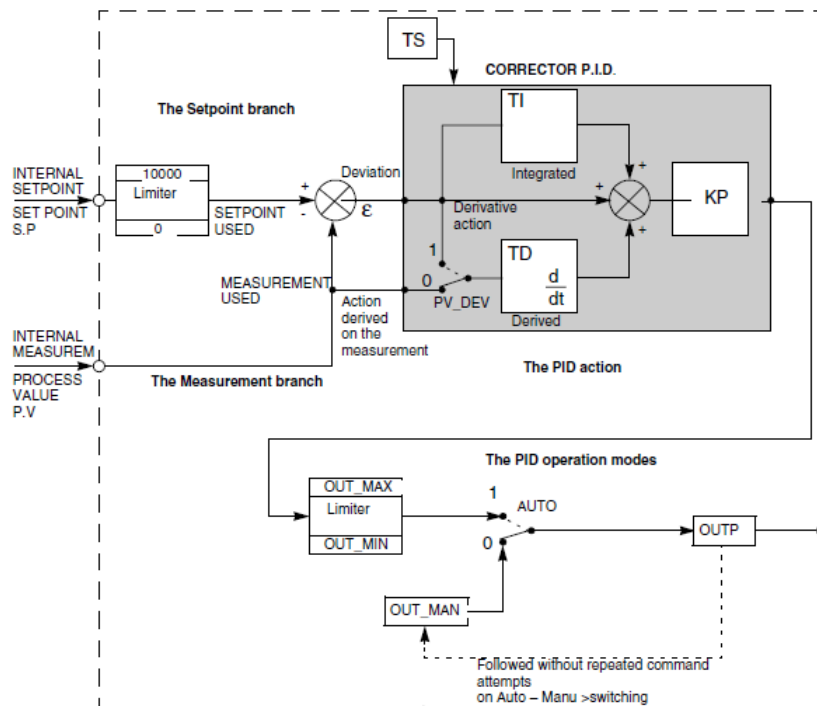
Figur 5.1: Sammenligning av estimert- og virkelig gasspådrag

5.1 PL7 PID

1. Setpunkt. Temperatur fra logget data.
2. Implementert PI-regulator.
3. Gasspådrag fra logget data.
4. Scoop med multiplekser.
5. Prosessverdi. Temperatur fra logget data.

5.1 PL7 PID

Regulatoren som regulerer brennerne er en PI-regulator programmert med Scheider sin **PL7** programvare. En PID-regulator er implementert og fungerer slik figur 5.2 viser.



Figur 5.2: PID-regulator i PL7 programvaren [10]

5.1 PL7 PID

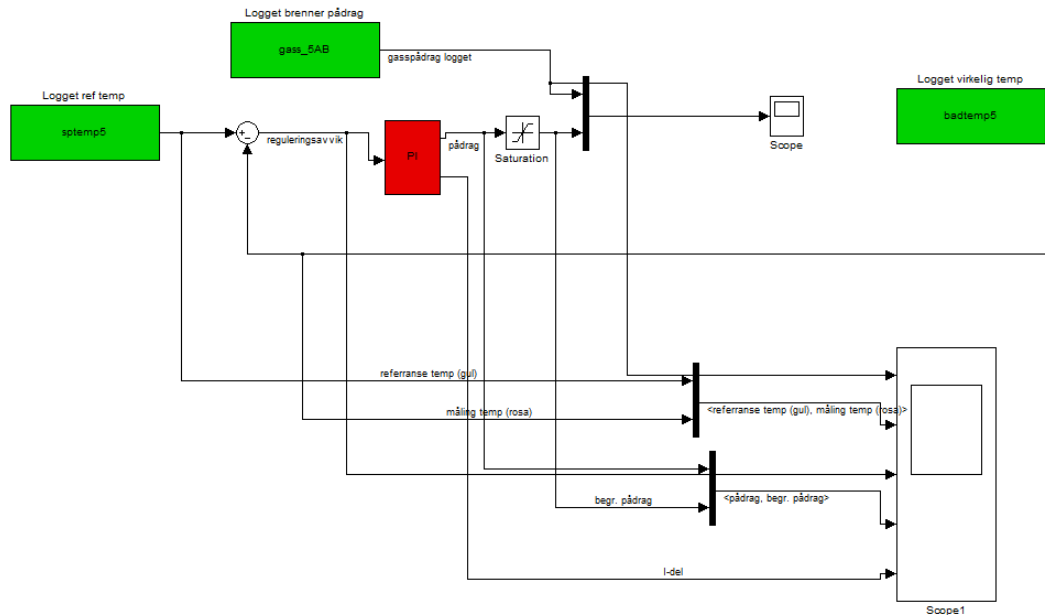
PI(D)-regulatoren har følgende parametre for brennerne på ovn 5 og ovn 6:

$$K_p=500$$

$$T_i=300$$

$$T_d=0$$

PI-regulatoren ble implementert slik figur 5.3 viser.



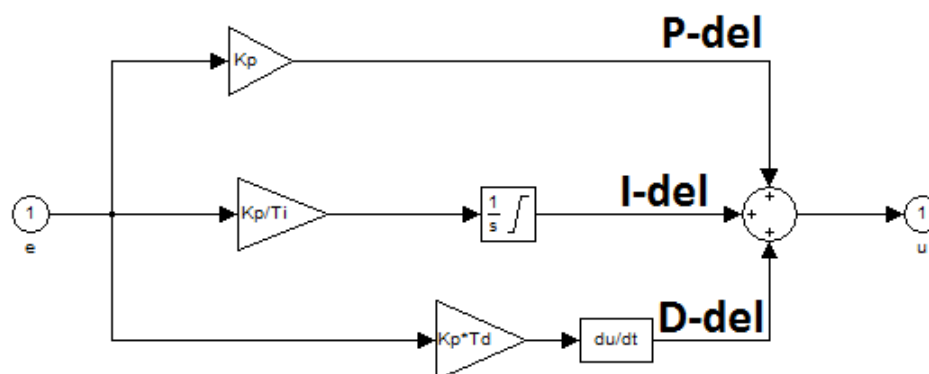
Figur 5.3: Verifisering av PI-regulator Simulink

Figur A.1 i vedlegg viser scoopet med virkelig og modellert gasspådrag. Det modellerte gasspådraget ble ikke helt tilfredsstillende, og det ble besluttet og implementere en PI-regulator slik Finn Haugen [8] beskriver. Grunnen til at det ikke ble funnet parametre som kunne gjenskape virkelig gasspådrag, skyldes at **PL7** programvaren omgjør temperaturen til ett område mellom 0-10 000, se figur 5.2. K_p , T_i og T_d blir multipliseres med 100 under implementering i **PL7** programvaren [10].

5.2 Finn Haugen PID

5.2 Finn Haugen PID

I dette kapitlet blir en PID-regulator slik Finn Haugen beskriver implementert, se figur 5.4.



Figur 5.4: Finn Haugen PID-regulator

Slik Finn Haugen beskriver en PI(D)-regulator håndtere reguleringsavviket direkte uten noe prosessering. K_p , T_i og T_d som gjensker virkelige pådrag ble funnet eksperimentelt.

$$K_p=23$$

$$T_i=2$$

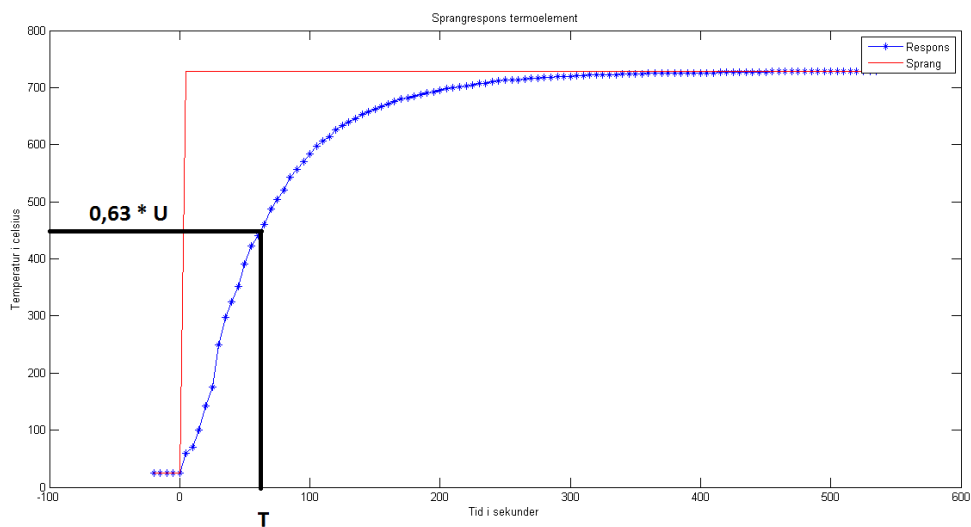
$$T_d=0$$

Figur A.2 i vedlegg viser scoopet med virkelig og modellert gasspådrag.

5.3 Sprangrespons termoelementet

5.3 Sprangrespons termoelementet

For å finne dynamikken til termoelementet ble det gjort en sprangrespons fra 20 til 720°C. Dataen ble plottet i **Matlab** og tidskonstanten ble avlest, se figur 5.5.



Figur 5.5: Sprangrespons termoelement

I vedlegget Sprangrespons termoelement vises **Matlab** koden som ble implementert for å lage figur 5.5.

$$Hm(t) = \frac{K}{Ts + 1} \quad (5.1)$$

Hvor $K=1$ og $T \approx 62$

$$Hm(t) = \frac{1}{62s + 1}$$

Kapittel 6

Diskusjon og konklusjon

I dette kapittelet blir det foreslått ulike forbedringer som kan gjøres i prosessen for å optimalisere og spare gassutgifter ved Anlegg 5.

6.1 Forslag til forbedring av prosess

Etter å ha studert ulike operatører sine faste rutiner for hvordan arbeidet utføres, har jeg sett følgende forbedringsområder:

6.1.1 Alarm for termoelement brudd

Operatøren trekker ut kontakten og legger termoelementet i omgivelses temperatur etter avsluttet støp. Når termoelementet trekkes ut eller det blir brudd vises det en fiktiv verdi på $1000^{\circ}C$, og brennerne reguleres ned på minimum. Operatøren har mulighet til å jobbe i ovnstuten med minimum gasspådrag uten å bli utsatt for stikkflammer. Det som har skjedd er at operatørene glemmer å sette i kontakten til termoelementet etter avsluttet støp, og brennerne fyres på minimum helt til noen oppdager feilen. Når feilen oppdages kan ovnen være

6.1 Forslag til forbedring av prosess

full av omsmelt og masse tid kan være tapt. Med en alarm som varsler hvis termoelementet har vært ute mer en 10 minutter, blir man kvitt problematikken.

6.1.2 Berørings skjerm i hjullasteren

Jobben som operatør kan til tider være stressende. For å lette arbeidet kan det være hensiktsmessig å montere en berørings skjerm i hjullasteren som har samme skjerm bilde og styringsmuligheter som berørings skjermene i ovnsbua og støpebua. Med en slik berørings skjerm kan operatøren bli sittende i hjullasteren og starte brennerne etter kappet er tømt i ovnen. I dag blir det gjort slik at etter operatøren har tømt i kappet med hjullasteren, lukkes døren igjen på ovnen med en fjernkontroll fra hjullasterne. For å starte brennerne må operatøren klatre ut av hjullasteren og gå bort til ovnsbua for å starte brenner syklusen som består av total utlufting for å hindre eksplosjons fare før brennerne starter. Problemstillingen her er at operatøren har veldig mye å gjøre i tidspunktet etter kappet er tømt i ovnen. Noe som medfører at mange operatøren hopper ut av hjullasteren, noe som på lang sikt kan forårsake slitasje og skade i kne og rygg. I tillegg er det ikke alltid brennerne starter etter utluftingen, og operatøren får heller ikke noe alarm om dette i hjullasteren. Eneste mulighet for å se om brennerne har tent når man sitter i hjullasteren, er å kjøre opp døra.

6.1.3 Estimert brennetid

Som beskrevet i **Kapittel 2.3** termoelement, er det to ulike måter å regulere temperaturen på metallet i ovnen. Den ene måten blir ikke brukt idag, hvor termoelementet blir kjørt ned i metallet mekanisk fra taket på ovnen. Grunnen til at termoelementet ikke brukes er at det har blitt kjørt ned for tidlig, noe som har medført at termoelementet har knekt. Dette fordi ikke alt av metall har blitt flytende.

Ved å benytte seg av formler for energi estimeres det hvor mye energi brennerne må tilføre for å oppnå ønsket temperatur. Deretter deles totalt energi på effekt-pådrag fra brennerne for å finne ut hvor lenge brennerne må gå på maks pådrag i antall minutter for å oppnå ønsket temperatur med hensyn på kapp og elektrolysemetall.

6.2 Konklusjon

Ved å implementere formlene og hentet kapp og elektrolysemetall fra **Casper**, som er programvaren som blir benyttet for å estimere legering som må tilsettes kunne PLSen automatisk kjørt ned termoelementet når brennerne har fyrt på makspådrag i de minuttene som er estimert. Skulle dette vise seg å fungere, vil man få en mye bedre kontroll på ovnene ved at man oppnår ønsket temperatur, og slipper å åpne døra for å sjekke om kappet er smeltet ned. Dette vil også medføre mindre energitap. I første omgang blir estimert brennetid implementert på et nettbrett som er montert i hjullasteren. Operatøren vil bli gitt en alarm når estimert brennetid er utført, slik at termoelement kan stikkes ned i metallet.

6.2 Konklusjon

En matematisk modell er laget for temperaturen på metallet i ovn 5 og ovn 6. Modellen ble verifisert med virkelig data fra ovnene som ble logget i et Excel-ark og lastet inn i **Matlab**. Resultatene ble bra etter å modellert og verifisert tre ulike støpeomganger med et resultat pluss/minus $5^{\circ}C$ avvik i området etter ovnene er helt oppfylt med elektrolysemetall.

Med utgangspunkt i modellen og formler for å estimert gasspådrag viser det seg at det er mulig å spare over 100 000 NOK i gassutgifter når likningene blir implementert på nettbrettet i hjullasteren og operatøren fyrer makspådrag i estimerte minutter. På lengre sikt kan likningene implementeres i PLSen slik at termoelementet på ovnstaket kjøres direkte ned i metallet på ovnen når estimert brennetid er utført.

Bibliografi

- [1] Flyfoto Alcoa Lista
<http://www.bis.productionpartner.com/0m-oss/Lokalisering/Farsund>
- [2] Intranett Alcoa Lista
- [3] Stine Tofte Skagestad sin masteroppgave *Energieffektivisering av ovner i aluminiumstøperi* fra Elkem Lista skrevet i 2007
- [4] Autocad tegninger ovnsforing av *Svein Briseid*
- [5] Datablad HiRAM DUAL-FUEL BURNERS
http://www.namfg.com/c-index/c-lit/dual-fuel/6575_bul.pdf
- [6] VISITING REPORT FOR ELKEM ALUMINIUM MOSJØEN NORWAY
Thermcon Ovens B.V.
- [7] Wikipedia fakta om aluminium
<http://nn.wikipedia.org/wiki/Aluminium>
- [8] Dynamiske systemer, modellering, analyse og simulering av *Finn Haugen*
- [9] Brennere anl 5 uke 38-2011.xls av *Liss Pedersen*
- [10] PL7 Junior/Pro Premium PLC Applications Analog, Regulation PID, Weighing
<http://j2eeps.cern.ch/wikis/download/attachments/14778391/tmetp2.pdf?version=1&modificationDate=1246434651000>
- [11] Oksygen brennere
http://www.linde-gas.cz/en/industries/steels_metals/rebox.html

BIBLIOGRAFI

- [12] Regenerative brennere
http://www.tiptonceram.com/oil_refining/burner.html
- [13] Hovedoppgave ØKO SMELT 2002 av *Rune Bringedal*
http://brage.bibsys.no/hsh/handle/URN:NBN:no-bibsys_brage_8246
- [14] Rekuperativ varmeveksler brennere
<http://www.ornl.gov/sci/ees/itp/documents/FnlRptRecuperatorsFinal.pdf>
- [15] Øyvind Solberg sin masteroppgave *Analyse av varmegjenvinning og varmeutnyttelse i aluminiumsverk* fra våren 2007

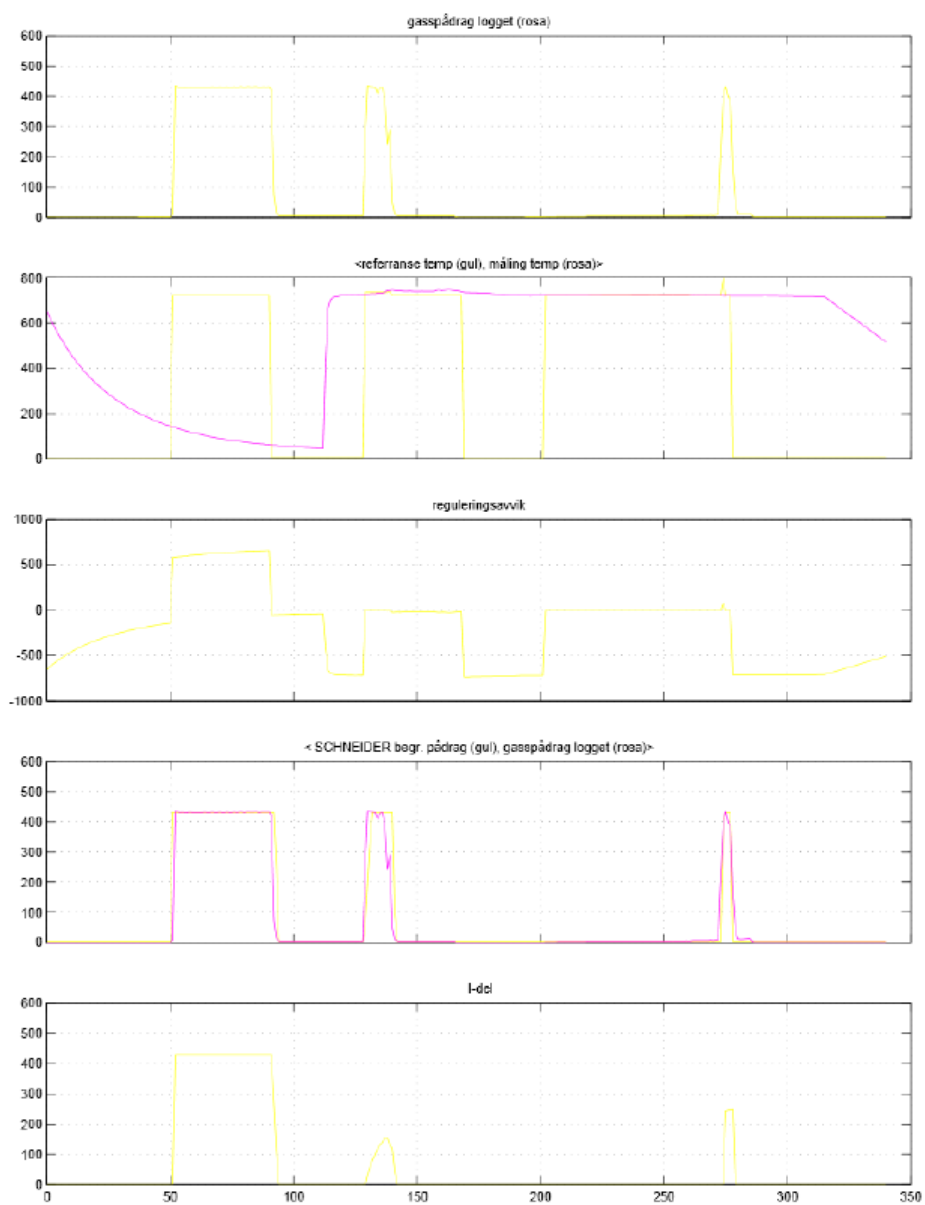
Tillegg A

Resultater verifisering av PI-regulatorer

Neste to sidene viser resultatet når to ulike regulatorer er implementert. En slik PL7 illustrere, og en slik Finn Haugen illustrere.

A.1 Resultat PL7 PI-regulator med scoop

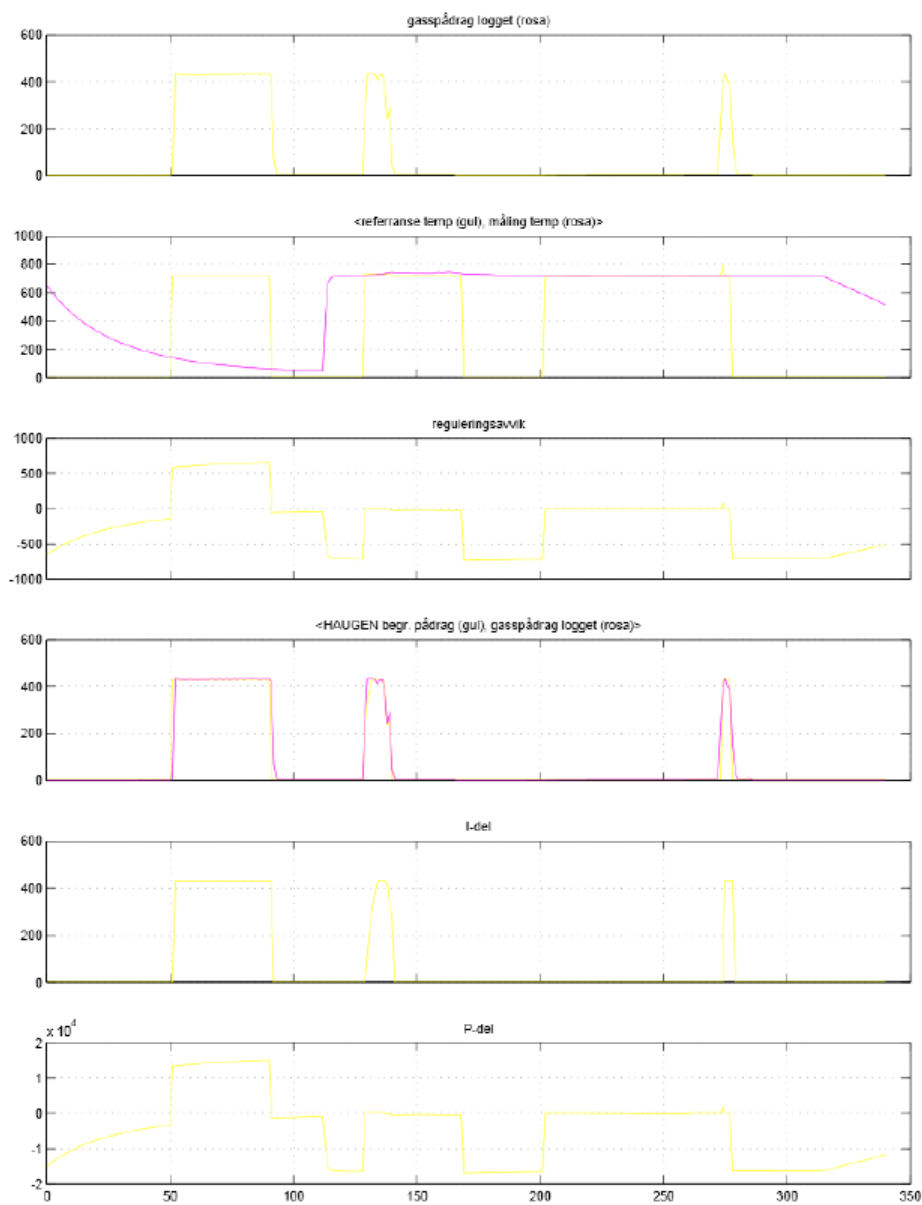
A.1 Resultat PL7 PI-regulator med scoop



Figur A.1: Scoop PL7 PI-regulator

A.2 Resultat Finn Haugen PI-regulator med scoop

A.2 Resultat Finn Haugen PI-regulator med scoop



Figur A.2: Scoop Finn Haugen PI-regulator

Tillegg B

Tilsetninger ovn 5 og ovn 6

Ulike dimensjoner på boltene har forskjellig brutto utstøp og forskjellige krav til legering fra kundene. Hvert eneste støp er forskjellig når det gjelder rest, kapp, kald blokk, varm blokk, legering og elektrolysemetall. For å oppfylle kundens krav har en chargeberegner ansvaret for å sette sammen en kombinasjon av tilsatsene.

Chargeberegneren har også ansvar for å holde verkets støpeplan og for å bruke metallet som er satt opp for tapping på skiftet. Elektrolyseovnene produserer kontinuerlig og metallet må tappes jevnlig. Chargeberegneren har en oversikt over hvilke ovner som må tappes og ovnens innhold som er kartlagt av spektrograf, som analyserer metallprøvene fra elektrolyseovnene.

Det benyttes en programvaren som heter **Casper** til å beregne hva metallet på ovnen vil inneholde etter den er fylt opp, og det settes opp et forslag på hva slags legering som må tilsettes ovnen.

I gode tider med stor etterspørsel i markedet benyttes store mengder importerte blokker (russermetall) som videreforvaltes til bolter.

B.1 Boltekapp

B.1 Boltekapp

Boltene sages og pakkes for levering etter en støpeomgang. Saging medfører en del kapp som blir smeltet og brukt om igjen, se figur B.1. Å tilsette fast aluminium til flytende aluminium er en farlig operasjon fordi innkapslet vann i flytende aluminium kan resultere i dødsulykker. For å unngå ulykker med vann i flytende metall blir det alltid tømt boltekapp og/eller sagspon som er helt tørt i bunnen av ovnen, slik at resten fra forrige støpeomgang blir dekket.



Figur B.1: Boltekapp i kasse

B.2 Diverse skrap Farsund Aluminium Casting

B.2 Diverse skrap Farsund Aluminium Casting

Farsund Aluminium Casting (FAC) er nabobedriften til Alcoa Lista. FAC får flytende aluminium fra Anlegg 1 og Anlegg 2 kjørt over og tømt i deres støpe-maskiner. FAC produserer ulike bildeler som hjuloppheng og bærearmer til ulike kunder.

Delene som ikke blir godkjent samles i kasser og kjøres over til Alcoa Lista og tømmes i bing 2, se figur B.2. Vrakdelene blir smeltet om igjen.



Figur B.2: Diverse skrap fra FAC lagret i bing 2

B.3 Kald og Varm blokker

B.3 Kald og Varm blokker

Blokker importeres fra Russland, og benyttes til omsmelt fordi elektrolysemetallet ikke strekker til under gode tider med stor etterspørsel i markedet. Et varmeskap gjør at blokkene er tørre og holder en temperatur på 180°C . Tilsetningen av blokker på ovnene er en kombinasjon av varme blokker direkte fra varmeskapet og kalde blokker som betraktes som våte. Figur B.3 viser blokkene.



Figur B.3: Blokker importert fra Russland

B.4 Diverse innkjøpt omsmelt

B.4 Diverse innkjøpt omsmelt

Verket kjøper opp ulike kaldmetall fra hele verden når de kommer over gode kjøp. Det kan for eksempel være fra nyoppstartede verk hvor det første metallet som tappes ut fra elektrolyseovnene inneholder for mye jern og det ikke er brukende til annet en omsmelt. Se figur B.4 som viser ulik innkjøpt omsmelt ved Alcoa Lista.



(a)



(b)

Figur B.4: Diverse innkjøpt omsmelt a) Blokker fra nyoppstartede verk b) Kina plater

B.5 Elektrolysemetall

B.5 Elektrolysemetall

Elektrolysemetallet blir kjørt fra elektrolysehallene med tappetrucker til støperiet. Inne i støperiet blir diglene satt på et tappestativ og metallet blir så tømt i ovnene. Metallet i elektrolyseovnene har en temperatur på cirka 950°C , og holder en temperatur på 890°C når det tømmes i ovnene i støperiet. Figur B.5 viser en digle med elektrolysemetall som tømmes i ovn 6.



Figur B.5: Digle med elektrolysemetall som tømmes i ovn 6

B.6 Bolt

B.6 Bolt

Bolt som ikke er godkjent blir smeltet om igjen. Fordi lengdene er større en dørbredden på ovnene, må boltene skyves inn i ovnen når ovnen er full av flytende metall. Dette for at boltene skal smelte fort slik at døra kan lukkes igjen. Figur B.6 viser bolter som skal smeltes om.



Figur B.6: Bolt oppbevart på gulvet klare til omsmelt

B.7 Legering

B.7 Legering

For å tilfredsstille kundens krav til innhold av legering i boltene, tilsettes og blandes det inn ulike legeringer i metallet på ovnen. Chargeberegneren beregner og skriver ut veielapp til operatøren som har som ansvar for å veie opp det chargeberegneren har beregnet av ulike legeringer.

Tabell B.1 viser de ulike legeringstypene som benyttes ved Alcoa Lista.

Legeringstype	Forkortelse
Silisium	Si
Jern	Fe
Magnesium	Mg
Mangan	Mn
Vanadium	V
Titan	Ti
Kobber	Cu
Krom	Cr

Tabell B.1: Legeringerstyper

I tillegg til legeringstypene, blir Blått salt eller Rødt salt tilsatt under utblanding av legering. Blått salt er mest vanlig og blir brukt for å få ut slagg (uønsket partikler) fra metallet i ovnen. Rødt salt tilsettes hvis det uheldigvis tappes bad av elektrolyseovnene. Bad inneholder Natrium (Na) som er uønsket i boltene.

Tillegg C

Estimert energibehov støpeomgang 1143-81 og 1518-05

C.1 1143-81

Estimert energi som må tilføres fra brennerne for å oppnå setpunkts temperatur på metallet i ovnen.

Fast (solid) aluminium:

Kapp

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 2180 \cdot (660 - 20) = 1255.6 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{smelt}} = C_{\text{alu}} \cdot m = 395000 \cdot 2180 = 861.1 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 2180 \cdot (760 - 660) = 196.2 \text{ [MJ]}$$

C.1 1143-81

Kald blokk

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 1500 \cdot (660 - 20) = 864 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{smelt}} = C_{\text{alu}} \cdot m = 395000 \cdot 1500 = 592.5 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 1500 \cdot (760 - 660) = 135 \text{ [MJ]}$$

Varm blokk

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 14250 \cdot (660 - 180) = 6156 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{smelt}} = C_{\text{alu}} \cdot m = 395000 \cdot 14250 = 5628.7 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 14250 \cdot (760 - 660) = 1282.5 \text{ [MJ]}$$

Totalt energi for å oppnå 760°C på de faste tilsatsene over = 16971.7 [MJ]

C.1 1143-81

Flytende (liquid) aluminium:

Rest

$$q = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 7500 \cdot (760 - 700) = 405 \text{ [MJ]}$$

Totalt energi for å oppnå 760°C på rest fra forrige støpeomgang = 405 [MJ]

Elektrolysemetall

$$q = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 27810 \cdot (890 - 760) = 3253.7 \text{ [MJ]}$$

Totalt tilført energi fra elektrolysemetallet = 3253.7 [MJ]

Resterende energi som må tilføres fra brennerne = 14122.9 [MJ]

Brennerne gir en samlet effekt på 4.5 [MW] som omregnet blir 270 $[\frac{MJ}{min}]$. Det antas at 40.5% av energien som blir tilført fra brennerne tilknytter seg metallet.

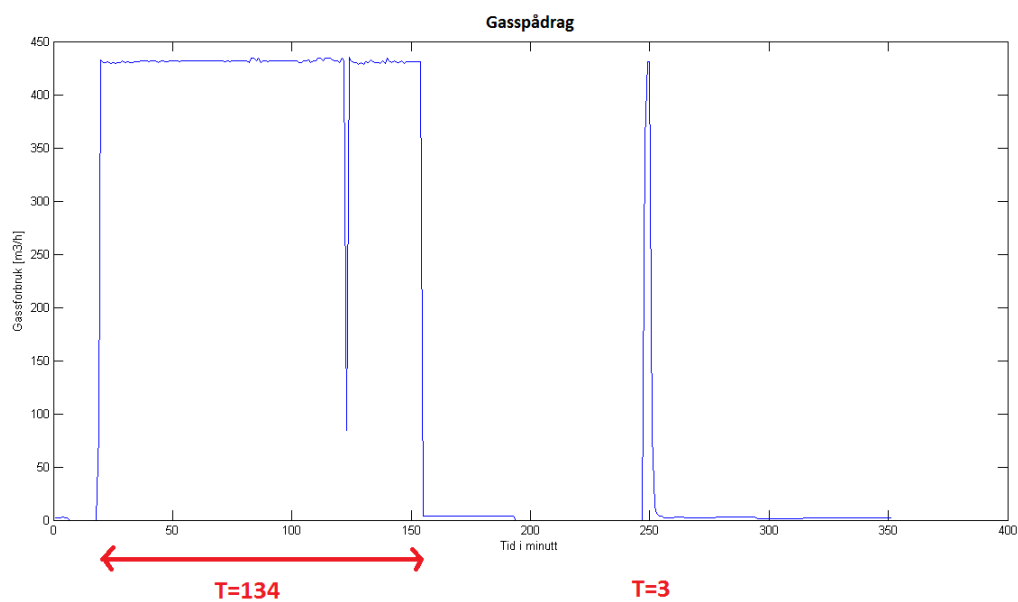
Maxpådrag brennere:

$$\frac{14122.9}{0.405 \cdot 270} = 130 \text{ minutter}$$

Begge brennerne må fyres på maxpådrag i 2 timer og 10 minutter for å oppnå ønsket temperatur på 760°C.

C.1 1143-81

Data hentet fra støpeomgang 1143-81, og benyttet for å sammenligne estimert tid med virkelig tid.



Figur C.1: Gasspådrag for støpeomgang 1143-81

Figur C.1 viser at brennerne har fyrt på maks pådrag i 137 minutter, og oppnådd en temperatur på 760°C . Differansen på 7 minutter mellom virkelig og estimert brennetid er bra innenfor akseptabelt område.

C.2 1518-05

Estimert energi som må tilføres fra brennerne for å oppnå setpunktets temperatur på metallet i ovnen.

Fast (solid) aluminium:

Kapp

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 5345 \cdot (660 - 20) = 3078.7 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{smelt}} = C_{\text{alu}} \cdot m = 395000 \cdot 5345 = 2111.2 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 5345 \cdot (765 - 660) = 505.1 \text{ [MJ]}$$

Kald blokk

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 3750 \cdot (660 - 20) = 2160 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{smelt}} = C_{\text{alu}} \cdot m = 395000 \cdot 3750 = 1481.2 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 3750 \cdot (765 - 660) = 354.3 \text{ [MJ]}$$

Varm blokk

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 8000 \cdot (660 - 180) = 3456 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{smelt}} = C_{\text{alu}} \cdot m = 395000 \cdot 8000 = 3160 \text{ [MJ]}$$

$$q_{\text{oppvarming}} = c_{p\text{-alu}} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 8000 \cdot (765 - 660) = 756 \text{ [MJ]}$$

Totalt energi for å oppnå 765°C på de faste tilsatsene over = 17062.7 [MJ]

C.2 1518-05

Flytende (liquid) aluminium:

Rest

$$q = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 2400 \cdot (765 - 700) = 140.4 \text{ [MJ]}$$

Totalt energi for å oppnå 765°C på rest fra forrige støpeomgang = 140.4 [MJ]

Elektrolysemetall

$$q = c_{p-alu} \cdot m \cdot \Delta t = 900 \cdot 33120 \cdot (890 - 765) = 3726 \text{ [MJ]}$$

Totalt tilført energi fra elektrolysemetallet = 3726 [MJ]

Resterende energi som må tilføres fra brennerne = 13477.1 [MJ]

Brennerne gir en samlet effekt på 4.5 [MW] som omregnet blir 270 $[\frac{MJ}{min}]$. Det antas at 40.5% av energien som blir tilført fra brennerne tilknytter seg metallet.

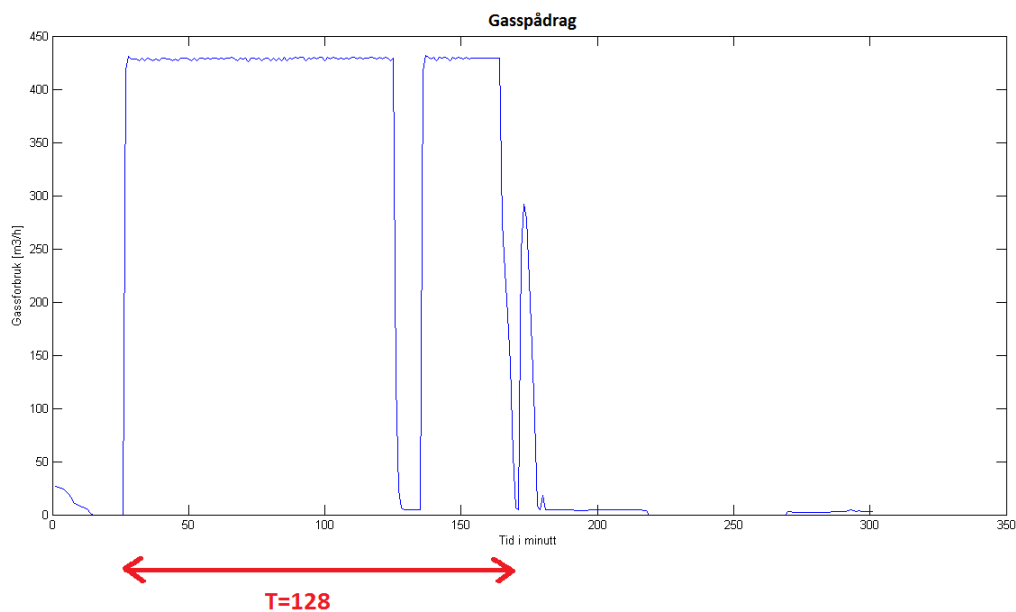
Maxpådrag brennere:

$$\frac{13477.11}{0.405 \cdot 270} = 124 \text{ minutter}$$

Begge brennerne må fyres på makspådrag i 2 timer og 4 minutter for å oppnå ønsket temperatur på 765°C.

C.2 1518-05

Data hentet fra støpeomgang 1518-05, og benyttet for å sammenligne estimert tid med virkelig tid.



Figur C.2: Gasspådrag for støpeomgang 1518-05

Figur C.2 viser at brennerne har fyrt på makspådrag i 128 minutter. Det er oppnådd en temperatur på 765°C . Differansen på 4 minutter mellom virkelig og estimert brennetid er bra innenfor akseptabelt område.

Tillegg D

Matlab kode

D.1 Massebalanse for støpeomgang 1478-54

```
1  %-----%
2  %----- Stopeomgang 1478-54 -----%
3  %-----%
4  clear all; close all; clc;
5  %-----%
6  %----- Rest -----%
7  %-----%
8  tid_rest = 2; %Tid aa 'fylle' rest
9  rest_starttid = 1; %Min fra nullstill
10 m_rest = 4300; %Masse [kg]
11 omega_rest = (m_rest/tid_rest); %[kg/min]
12 %-----%
13 %----- Kapp -----%
14 %-----%
15 tid_kapp = 3; %Tid aa 'fylle' kapp
16 kapp_starttid = 5; %Min fra nullstill
17 m_kapp = 3285; %Masse [kg]
18 omega_kapp = (m_kapp/tid_kapp); %[kg/min]
19 %-----%
20 %----- Kald Blokk -----%
21 %-----%
22 tid_kblokk = 2; %Tid aa 'fylle' kald blokk
23 kblokk_starttid = 9; %Min fra nullstill
24 m_kblokk = 0; %Masse [kg]
```

D.1 Massebalanse for støpeomgang 1478-54

```
25 omega_kblokk = (m_kblokk/tid_kblokk); %[kg/min]
26 %-----%
27 %----- Varm Blokk -----%
28 %-----%
29 tid_vblokk = 2; %Tid aa 'fylle' varm blokk
30 vblokk_starttid = 12; %Min fra nullstill
31 m_vblokk = 6000; %Masse [kg]
32 omega_vblokk = (m_vblokk/tid_vblokk); %[kg/min]
33 %-----%
34 %----- Elektrolyse metall -----%
35 %-----%
36 tid_elyse = 2; %Tid aa 'fylle' 1 digle [min]
37 Antall_digle = 18; %Totalt antall digler
38 m_elyse = (34970/Antall_digle); %Masse per digle [kg]
39 omega_elyse = (m_elyse/tid_elyse); %[kg/min]
40 %----- Lager m-fil -----%
41 Elyse = zeros(1000,1);
42 for i = 35:36
43     Elyse(i) = omega_elyse;
44 end
45 for i = 39:40
46     Elyse(i) = omega_elyse;
47 end
48 for i = 44:45
49     Elyse(i) = omega_elyse;
50 end
51 for i = 53:54
52     Elyse(i) = omega_elyse;
53 end
54 for i = 60:61
55     Elyse(i) = omega_elyse;
56 end
57 for i = 64:65
58     Elyse(i) = omega_elyse;
59 end
60 for i = 72:73
61     Elyse(i) = omega_elyse;
62 end
63 for i = 78:79
64     Elyse(i) = omega_elyse;
65 end
66 for i = 92:93
67     Elyse(i) = omega_elyse;
68 end
69 for i = 96:97
70     Elyse(i) = omega_elyse;
71 end
72 for i = 107:108
73     Elyse(i) = omega_elyse;
```

D.1 Massebalanse for støpeomgang 1478-54

```
74 end
75 for i = 112:113
76     Elyse(i) = omega_elyse;
77 end
78 for i = 116:117
79     Elyse(i) = omega_elyse;
80 end
81 for i = 120:121
82     Elyse(i) = omega_elyse;
83 end
84 for i = 125:126
85     Elyse(i) = omega_elyse;
86 end
87 for i = 130:131
88     Elyse(i) = omega_elyse;
89 end
90 for i = 136:137
91     Elyse(i) = omega_elyse;
92 end
93 for i = 157:158
94     Elyse(i) = omega_elyse;
95 end
96
97 Elyse_ = zeros(1000,2);
98 for i = 1:length(Elyse)
99     Elyse_(i) = i;
100 end
101 Elyse_(1001:end) = Elyse;
102 Elyse = Elyse_;
103 save('Elyse.mat', 'Elyse')
104 load('Elyse.mat');
105 %-----%
106 %----- Bolt -----%
107 %-----%
108 tid_bolt = 4; %Tid aa 'fylle' bolt
109 bolt_starttid = 270; %Min fra nullstill
110 m_bolt = 0; %Masse [kg]
111 omega_bolt = (m_bolt/tid_bolt); %[kg/min]
112 %-----%
113 %----- Legering -----%
114 %-----%
115 tid_legering = 1; %Tid aa 'fylle' legering
116 legering_starttid = 165; %Min fra nullstill
117 m_legering = 170; %Masse [kg]
118 omega_legering = (m_legering/tid_legering); %[kg/min]
119 %-----%
120 %----- Slagg -----%
121 %-----%
122 tid_slagg = 6; %Tid aa slagge
```

D.1 Massebalanse for støpeomgang 1478-54

```
123 slagg_starttid = 180; %Min fra nullstill
124 m_slagg = 160; %Masse [kg]
125 omega_slagg = (m_slagg/tid_slagg); %[kg/min]
126 %-----%
127 %----- Stop -----%
128 %-----%
129 tid_stop = 54; %Stope tid 154 dimensjon
130 stop_starttid = 258; %Min fra nullstill
131 omega_stop = 690; %154 dimensjon [kg/min]
132 %-----%
```


D.2 Sprangrespons termoelement

D.2 Sprangrespons termoelement

```
1 %-----%
2 clear all; close all; clc;
3 %-----%
4 %-----Sprangrespons termoelement-----%
5 %-----%
6 tid = [-20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 ...
7       65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 ...
8       140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 ...
9       205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 ...
10      270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 ...
11      335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 ...
12      400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 ...
13      465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 ...
14      530 535];
15
16 temp = [25 25 25 25 25 60 70 100 143 175 250 297 325 352 ...
17        391 422 441 461 487 504 521 543 557 570 584 598 606 ...
18        614 626 634 640 645 653 657 662 667 671 676 680 682 ...
19        685 688 691 693 696 699 700 702 703 705 707 708 711 ...
20        712 713 714 714 715 716 717 718 718 719 720 720 721 ...
21        721 722 722 722 723 723 724 724 724 724 725 725 725 ...
22        725 726 726 726 726 726 726 726 727 727 727 727 727 ...
23        727 727 727 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
24        728 728 728 728 728 728 728];
25
26 figure
27 plot(tid, temp, '*-')
28 hold on
29 %-----%
30 stid = [-20 -15 -10 -5 0 5 6 7 8 9 10 35 40 45 50 55 60 ...
31        65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 ...
32        135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 ...
33        195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 ...
34        255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 ...
35        315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 ...
36        375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 ...
37        435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 ...
38        495 500 505 510 515 520 525 530 535];
39
40 stemp = [25 25 25 25 25 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
41         728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
42         728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
43         728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
44         728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
45         728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
```

D.2 Sprangrespons termoelement

```
46     728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
47     728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 728 ...
48     728 728 728 728 728 728 728 728];
49
50 plot(stid, stemp, 'r')
51 title('Sprangrespons termoelement')
52 xlabel('Tid i sekunder')
53 ylabel('Temperatur i celsius')
54 %-----%
```

D.3 Energibalanse for støpeomgang 1478-54

D.3 Energibalanse for støpeomgang 1478-54

```
1 %-----%
2 %----- Stopeomgang 1478-54 -----%
3 %-----%
4 clear all; close all; clc;
5 %----- Leser inn excel ark ovn 5 -----%
6 [num5,txt5,raw5] = xlsread('2012-02-20 Ovnslogg 14 feb.xlsx',1);
7 %----- Omraade -----%
8 omr = 105:420; %velge omraade
9 %----- PV -----%
10 badtemp5 = num5(omr,6); %Virkelig temp
11 hel5 = badtemp5 < 1000 ;
12 badtemp5 = badtemp5(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
13 %----- Lager mat-file -----%
14 badtemp5_ = zeros([length(badtemp5) 2]);
15 for i = 1:length(badtemp5)
16     badtemp5_(i) = i;
17 end
18 badtemp5_(length(badtemp5)+1:end) = badtemp5;
19 badtemp5 = badtemp5_;
20 save('badtemp5.mat', 'badtemp5')
21 %----- SP -----%
22 sptemp5 = num5(omr,10); %Setpunkt temp
23 sptemp5 = sptemp5(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
24 for i=1:50
25     sptemp5(i) = 0; %Brennerne avskrudd
26 end
27 for i=169:201
28     sptemp5(i) = 0; %Brennerne avskrudd
29 end
30 for i=274:274
31     sptemp5(i) = 800; %Operator maxpaadrag 2.5 min
32 end
33 %----- Lager mat-file -----%
34 sptemp5_ = zeros([length(sptemp5) 2]);
35 for i = 1:length(sptemp5)
36     sptemp5_(i) = i;
37 end
38 sptemp5_(length(sptemp5)+1:end) = sptemp5;
39 sptemp5 = sptemp5_;
40 save('sptemp5.mat', 'sptemp5')
41 %----- U(t) -----%
42 gass_5AB = num5(omr,17); %Gasspaadrag
43 gass_5AB = gass_5AB(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
44 %----- Lager mat-file -----%
45 gass_5AB_ = zeros([length(gass_5AB) 2]);
```

D.3 Energibalanse for støpeomgang 1478-54

```
46 for i = 1:length(gass_5AB)
47     gass_5AB_(i) = i;
48 end
49 gass_5AB_(length(gass_5AB)+1:end) = gass_5AB;
50 gass_5AB = gass_5AB_;
51 save('gass_5AB.mat', 'gass_5AB')
52 %----- Dor_aapen -----%
53 Dor_aapen = num5(omr,9);
54 Dor_aapen = Dor_aapen(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
55 %----- Lager mat-file -----%
56 Dor_aapen_ = zeros([length(Dor_aapen) 2]);
57 for i = 1:length(Dor_aapen)
58     Dor_aapen_(i) = i;
59 end
60 Dor_aapen_(length(Dor_aapen)+1:end) = Dor_aapen;
61 Dor_aapen = Dor_aapen_;
62 save('Dor_aapen.mat', 'Dor_aapen')
63 %----- Rest -----%
64 tid_rest = 2; %Tid aa 'fylle' rest
65 rest_starttid = 1; %Min fra nullstill
66 m_rest = 4300; %Masse [kg]
67 T_rest = 700; %Temperatur rest [C]
68 omega_rest = (m_rest/tid_rest); %[kg/min]
69 %----- Kapp -----%
70 tid_kapp = 3; %Tid aa 'fylle' kapp
71 kapp_starttid = 5; %Min fra nullstill
72 m_kapp = 3285; %Masse [kg]
73 T_kapp = 20; %Temperatur kapp [C]
74 omega_kapp = (m_kapp/tid_kapp); %[kg/min]
75 %----- Kald Blokk -----%
76 tid_kblokk = 2; %Tid aa 'fylle' kald blokk
77 kblokk_starttid = 9; %Min fra nullstill
78 m_kblokk = 0; %Masse [kg]
79 T_kblokk = 20; %Temperatur kald blokk [C]
80 omega_kblokk = (m_kblokk/tid_kblokk); %[kg/min]
81 %----- Varm Blokk -----%
82 tid_vblokk = 2; %Tid aa 'fylle' varm blokk
83 vblokk_starttid = 12; %Min fra nullstill
84 m_vblokk = 6000; %Masse [kg]
85 T_vblokk = 180; %Temperatur varm blokk [C]
86 omega_vblokk = (m_vblokk/tid_vblokk); %[kg/min]
87 %-----Elektrolyse metall-----%
88 tid_elyse = 2; %Tid aa 'fylle' 1 digle [min]
89 Antall_digle = 18;
90 m_elyse = (34970/Antall_digle); %Masse [kg]
91 T_elyse = 890; % temperatur rest [C]
92 omega_elyse = (m_elyse/tid_elyse); %[kg/min]
93 %----- Lager mat-file -----%
94 Elyse = zeros(1000,1);
```

D.3 Energibalanse for støpeomgang 1478-54

```
95 for i = 35:36
96     Elyse(i) = omega_elyse;
97 end
98 for i = 39:40
99     Elyse(i) = omega_elyse;
100 end
101 for i = 44:45
102     Elyse(i) = omega_elyse;
103 end
104 for i = 53:54
105     Elyse(i) = omega_elyse;
106 end
107 for i = 60:61
108     Elyse(i) = omega_elyse;
109 end
110 for i = 64:65
111     Elyse(i) = omega_elyse;
112 end
113 for i = 72:73
114     Elyse(i) = omega_elyse;
115 end
116 for i = 78:79
117     Elyse(i) = omega_elyse;
118 end
119 for i = 92:93
120     Elyse(i) = omega_elyse;
121 end
122 for i = 96:97
123     Elyse(i) = omega_elyse;
124 end
125 for i = 107:108
126     Elyse(i) = omega_elyse;
127 end
128 for i = 112:113
129     Elyse(i) = omega_elyse;
130 end
131 for i = 116:117
132     Elyse(i) = omega_elyse;
133 end
134 for i = 120:121
135     Elyse(i) = omega_elyse;
136 end
137 for i = 125:126
138     Elyse(i) = omega_elyse;
139 end
140 for i = 130:131
141     Elyse(i) = omega_elyse;
142 end
143 for i = 136:137
```

D.3 Energibalanse for støpeomgang 1478-54

```
144     Elyse(i) = omega_elyse;
145 end
146 for i = 157:158
147     Elyse(i) = omega_elyse;
148 end
149 Elyse_ = zeros(1000,2);
150 for i = 1:length(Elyse)
151     Elyse_(i) = i;
152 end
153 Elyse_(1001:end) = Elyse;
154 Elyse = Elyse_;
155 save('Elyse.mat', 'Elyse')
156 load('Elyse.mat');
157 %----- Bolt -----%
158 tid_bolt = 4; %Tid aa 'fyller' lang bolt
159 bolt_starttid = 270; %Min fra nullstill
160 m_bolt = 0; %Masse [kg]
161 T_bolt = 20; % temperatur bolt [C]
162 omega_bolt = (m_bolt/tid_bolt); %[kg/min]
163 %----- Legering -----%
164 tid_legering = 1; %Tid aa 'fyller' legering
165 legering_starttid = 165; %Min fra nullstill
166 m_legering = 170; %Masse [kg]
167 T_legering = 20; %Temperatur legering [C]
168 omega_legering = (m_legering/tid_legering); %[kg/min]
169 %----- Slagg -----%
170 tid_slagg = 6; % tid aa slagge
171 slagg_starttid = 180; %Min fra nullstill
172 m_slagg = 160; %Masse [kg]
173 T_slagg = 750; %Temperatur slagg [C]
174 omega_slagg = (m_slagg/tid_slagg); %[kg/min]
175 %----- Stop -----%
176 tid_stop = 54; % stope tid 154 dimensjon
177 stop_starttid = 258; %Min fra nullstill
178 omega_stop = 690; %154 dimensjon [kg/min]
179 %-----%
180 cp_alu = 900; %Spesifikk varmekapasitet aluminium [J/kg*C]
181 A_bunn = 35.5; %[m^2]
182 Varme_tap_bunn = 828.14; %[W/m^2]
183 A_vegg = 23.1; %[m^2]
184 Varme_tap_vegg = 880.99; %[W/m^2]
185 A_metall = 35.5; %[m^2]
186 T_ovn_omg = 150 ; %[C]
187 metall_fast = m_kapp+m_kblokk+m_vblokk+m_bolt; %[kg]
188 C_alu = 395000; %spesifikk smeltevarme aluminium [J/kg]
189 %-----%
```

D.4 Energibalanse for støpeomgang 1143-81

D.4 Energibalanse for støpeomgang 1143-81

```
1  %-----%
2  %----- Støpeomgang 1143-81 -----%
3  %-----%
4  clear all; close all; clc;
5  %----- Leser inn excel ark ovn 6 -----%
6  [num6,txt6,raw6] = xlsread('2012-04-12 Brennerlogg.xlsx',2);
7  %----- Omraade -----%
8  omr = 62:425; %Velge omraade
9  %----- PV -----%
10 badtemp6 = num6(omr,6); %Virkelig temp
11 hel6 = badtemp6 < 1000 ;
12 badtemp6 = badtemp6(hel6); %Fjerner celle hvor SP = 1000
13 %----- Lager mat-file -----%
14 badtemp6_ = zeros([length(badtemp6) 2]);
15 for i = 1:length(badtemp6)
16     badtemp6_(i) = i;
17 end
18 badtemp6_(length(badtemp6)+1:end) = badtemp6;
19 badtemp6 = badtemp6_;
20 save('badtemp6.mat', 'badtemp6')
21 %----- SP -----%
22 sptemp6 = num6(omr,10); %Setpunkt temp
23 sptemp6 = sptemp6(hel6); %Fjerner celle hvor SP = 1000
24 %----- Lager mat-file -----%
25 sptemp6_ = zeros([length(sptemp6) 2]);
26 for i = 1:length(sptemp6)
27     sptemp6_(i) = i;
28 end
29 sptemp6_(length(sptemp6)+1:end) = sptemp6;
30 sptemp6 = sptemp6_;
31 save('sptemp6.mat', 'sptemp6')
32 %----- U(t) -----%
33 gass_6AB = num6(omr,17); %Gasspaadrag
34 gass_6AB = gass_6AB(hel6); %Fjerner celle hvor SP = 1000
35 %----- Lager mat-file -----%
36 gass_6AB_ = zeros([length(gass_6AB) 2]);
37 for i = 1:length(gass_6AB)
38     gass_6AB_(i) = i;
39 end
40 gass_6AB_(length(gass_6AB)+1:end) = gass_6AB;
41 gass_6AB = gass_6AB_;
42 save('gass_6AB.mat', 'gass_6AB')
43 %----- Dor_aapen -----%
44 Dor_aapen = num6(omr,9);
45 Dor_aapen = Dor_aapen(hel6); %Fjerner celle hvor SP = 1000
```

D.4 Energibalanse for støpeomgang 1143-81

```
46 %----- Lager mat-file -----%
47 Dor_aapen_ = zeros([length(Dor_aapen) 2]);
48 for i = 1:length(Dor_aapen)
49     Dor_aapen_(i) = i;
50 end
51 Dor_aapen_(length(Dor_aapen)+1:end) = Dor_aapen;
52 Dor_aapen = Dor_aapen_;
53 save('Dor_aapen.mat', 'Dor_aapen')
54 %----- Rest -----%
55 tid_rest = 2; %Tid aa 'fylle' rest
56 rest_starttid = 1; %Min fra nullstill
57 m_rest = 7500; %Masse [kg]
58 T_rest = 700; %Temperatur rest [C]
59 omega_rest = (m_rest/tid_rest); %[kg/min]
60 %----- Kapp -----%
61 tid_kapp = 1;%Tid aa 'fylle' kapp
62 kapp_starttid = 3; %Min fra nullstill
63 m_kapp = 2180; %Masse [kg]
64 T_kapp = 20; %Temperatur kapp [C]
65 omega_kapp = (m_kapp/tid_kapp); %[kg/min]
66 %----- Kald Blokk -----%
67 tid_kblokk = 1; %Tid aa 'fylle' kald blokk
68 kblokk_starttid = 5; %Min fra nullstill
69 m_kblokk = 1500; %Masse [kg]
70 T_kblokk = 20; %Temperatur kald blokk [C]
71 omega_kblokk = (m_kblokk/tid_kblokk); % [kg/min]
72 %----- Varm Blokk -----%
73 tid_vblokk = 5; %Tid aa 'fylle' varm blokk
74 vblokk_starttid = 7; %Min fra nullstill
75 m_vblokk = 14250; %Masse [kg]
76 T_vblokk = 180; %Temperatur varm blokk [C]
77 omega_vblokk = (m_vblokk/tid_vblokk); %[kg/min]
78 %----- Elektrolyse metall -----%
79 tid_elyse = 2; %Tid aa 'fylle' 1 digle [min]
80 Antall_digle = 15;
81 m_elyse = (27810/Antall_digle); %Masse [kg]
82 T_elyse = 890; %Temperatur elektrolysemetall [C]
83 omega_elyse = (m_elyse/tid_elyse); %[kg/min]
84 %----- Lager mat-file -----%
85 Elyse = zeros(1000,1);
86 for i = 43:44
87     Elyse(i) = omega_elyse;
88 end
89 for i = 47:48
90     Elyse(i) = omega_elyse;
91 end
92 for i = 59:60
93     Elyse(i) = omega_elyse;
94 end
```


D.4 Energibalanse for støpeomgang 1143-81

```
95 for i = 54:55
96     Elyse(i) = omega_elyse;
97 end
98 for i = 57:58
99     Elyse(i) = omega_elyse;
100 end
101 for i = 66:67
102     Elyse(i) = omega_elyse;
103 end
104 for i = 72:73
105     Elyse(i) = omega_elyse;
106 end
107 for i = 76:77
108     Elyse(i) = omega_elyse;
109 end
110 for i = 85:86
111     Elyse(i) = omega_elyse;
112 end
113 for i = 90:91
114     Elyse(i) = omega_elyse;
115 end
116 for i = 94:95
117     Elyse(i) = omega_elyse;
118 end
119 for i = 103:104
120     Elyse(i) = omega_elyse;
121 end
122 for i = 108:109
123     Elyse(i) = omega_elyse;
124 end
125 for i = 116:117
126     Elyse(i) = omega_elyse;
127 end
128 for i = 124:125
129     Elyse(i) = omega_elyse;
130 end
131 for i = 131:132
132     Elyse(i) = omega_elyse;
133 end
134 for i = 136:137
135     Elyse(i) = omega_elyse;
136 end
137 Elyse_ = zeros(1000,2);
138 for i = 1:length(Elyse)
139     Elyse_(i) = i;
140 end
141 Elyse_(1001:end) = Elyse;
142 Elyse = Elyse_;
143 save('Elyse.mat', 'Elyse')
```

D.4 Energibalanse for støpeomgang 1143-81

```
144 load('Elyse.mat');
145 %----- Bolt -----%
146 tid_bolt = 4; %Tid aa 'fyller' bolt
147 bolt_starttid = 270; %Min fra nullstill
148 m_bolt = 0; %Masse [kg]
149 T_bolt = 20; %Temperatur bolt [C]
150 omega_bolt=(m_bolt/tid_bolt); %[kg/min]
151 %----- Legering -----%
152 tid_legering = 1; %Tid aa 'fyller' legering
153 legering_starttid = 199; %Min fra nullstill
154 m_legering = 193; %Masse [kg]
155 T_legering = 20; %Temperatur legering [C]
156 omega_legering = (m_legering/tid_legering); %[kg/min]
157 %----- Slagg -----%
158 tid_slagg = 8; %Tid aa slagge
159 slagg_starttid = 214; %Min fra nullstill
160 m_slagg = 160; %Masse [kg]
161 T_slagg = 750; %Temperatur slagg [C]
162 omega_slagg = (m_slagg/tid_slagg); %[kg/min]
163 %----- Stop -----%
164 tid_stop = 81; %Stope tid 254 dimensjon
165 stop_starttid = 278; %Min fra nullstill
166 omega_stop = 616; %154 dimensjon [kg/min]
167 %-----%
168 cp_alu = 900; %Spesifikk varmekapasitet aluminium [J/kg*K]
169 A_bunn = 35.5; %[m^2]
170 Varmerap_bunn = 828.14; %[W/m^2]
171 A_vegg = 23.1; %[m^2]
172 Varmerap_vegg = 880.99; %[W/m^2]
173 A_metall = 35.5; %[m^2]
174 T_ovn_omg = 150 ; %[C]
175 metall_fast = m_kapp + m_kblokk + m_vblokk + m_bolt; %[kg]
176 C_alu = 395000; %Spesifikk smeltevarme aluminium [J/kg]
177 %-----%
```

D.5 Energibalanse for støpeomgang 1518-05

D.5 Energibalanse for støpeomgang 1518-05

```
1 %-----%
2 %----- Støpeomgang 1518-05 -----%
3 %-----%
4 clear all; close all; clc;
5 %----- Leser inn excel ark ovn 5 -----%
6 [num5,txt5,raw5] = xlsread('2012-04-12 Brennerlogg.xlsx',1);
7 %----- Omraade -----%
8 omr = 236:610; %Velge omraade
9 %----- PV -----%
10 badtemp5 = num5(omr,6); %Virkelig temp
11 hel5 = badtemp5 < 1000 ;
12 badtemp5 = badtemp5(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
13 %----- Lager mat-file -----%
14 badtemp5_ = zeros([length(badtemp5) 2]);
15 for i = 1:length(badtemp5)
16     badtemp5_(i) = i;
17 end
18 badtemp5_(length(badtemp5)+1:end) = badtemp5;
19 badtemp5 = badtemp5_;
20 save('badtemp5.mat', 'badtemp5')
21 %----- SP -----%
22 sptemp5 = num5(omr,10);%Setpnbkt temp
23 sptemp5 = sptemp5(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
24 %----- Lager mat-file -----%
25 sptemp5_ = zeros([length(sptemp5) 2]);
26 for i = 1:length(sptemp5)
27     sptemp5_(i) = i;
28 end
29 sptemp5_(length(sptemp5)+1:end) = sptemp5;
30 sptemp5 = sptemp5_;
31 save('sptemp5.mat', 'sptemp5')
32 %----- U(t) -----%
33 gass_5AB = num5(omr,17); %Gasspaadrag
34 gass_5AB = gass_5AB(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
35 %----- Lager mat-file -----%
36 gass_5AB_ = zeros([length(gass_5AB) 2]);
37 for i = 1:length(gass_5AB)
38     gass_5AB_(i) = i;
39 end
40 gass_5AB_(length(gass_5AB)+1:end) = gass_5AB;
41 gass_5AB = gass_5AB_;
42 save('gass_5AB.mat', 'gass_5AB')
43 %----- Dor_aapen -----%
44 Dor_aapen = num5(omr,9);
45 Dor_aapen = Dor_aapen(hel5); %Fjerner celle hvor SP = 1000
```

D.5 Energibalanse for støpeomgang 1518-05

```
46 %----- Lager mat-file -----%
47 Dor_aapen_ = zeros([length(Dor_aapen) 2]);
48 for i = 1:length(Dor_aapen)
49     Dor_aapen_(i) = i;
50 end
51 Dor_aapen_(length(Dor_aapen)+1:end) = Dor_aapen;
52 Dor_aapen = Dor_aapen_;
53 save('Dor_aapen.mat', 'Dor_aapen')
54 %----- Rest -----%
55 tid_rest = 2; %Tid aa 'fylle' rest
56 rest_starttid = 1; %Min fra nullstill
57 m_rest = 2400; %Masse [kg]
58 T_rest = 700; %Temperatur rest [C]
59 omega_rest = (m_rest/tid_rest); %[kg/min]
60 %----- Kapp -----%
61 tid_kapp = 3;%Tid aa 'fylle' kapp
62 kapp_starttid = 5; %Min fra nullstill
63 m_kapp = 5345; %Masse [kg]
64 T_kapp = 20; %Temperatur kapp [C]
65 omega_kapp = (m_kapp/tid_kapp); %[kg/min]
66 %----- Kald Blokk -----%
67 tid_kblokk = 2; %Tid aa 'fylle' kald blokk
68 kblokk_starttid = 9; %Min fra nullstill
69 m_kblokk = 3750; %Masse [kg]
70 T_kblokk = 20; %Temperatur kald blokk [C]
71 omega_kblokk = (m_kblokk/tid_kblokk); %[kg/min]
72 %----- Varm Blokk -----%
73 tid_vblokk = 2; %Tid aa 'fylle' varm blokk
74 vblokk_starttid = 12; %Min fra nullstill
75 m_vblokk = 8000; %Masse [kg]
76 T_vblokk = 180; %Temperatur varm blokk [C]
77 omega_vblokk = (m_vblokk/tid_vblokk); %[kg/min]
78 %----- Elektrolyse metall -----%
79 tid_elyse = 2; %Tid aa 'fylle' 1 digle [min]
80 Antall_digle = 19;
81 m_elyse = (33120/Antall_digle); %Masse [kg]
82 T_elyse = 890; %Temperatur elektrolysemetall [C]
83 omega_elyse = (m_elyse/tid_elyse); %[kg/min]
84 %----- Lager mat-file -----%
85 Elyse = zeros(1000,1);
86 for i = 95:96
87     Elyse(i) = omega_elyse;
88 end
89 for i = 110:111
90     Elyse(i) = omega_elyse;
91 end
92 for i = 114:115
93     Elyse(i) = omega_elyse;
94 end
```

D.5 Energibalanse for støpeomgang 1518-05

```
95 for i = 118:119
96     Elyse(i) = omega_elyse;
97 end
98 for i = 123:124
99     Elyse(i) = omega_elyse;
100 end
101 for i = 129:130
102     Elyse(i) = omega_elyse;
103 end
104 for i = 135:136
105     Elyse(i) = omega_elyse;
106 end
107 for i = 140:141
108     Elyse(i) = omega_elyse;
109 end
110 for i = 143:144
111     Elyse(i) = omega_elyse;
112 end
113 for i = 149:150
114     Elyse(i) = omega_elyse;
115 end
116 for i = 154:155
117     Elyse(i) = omega_elyse;
118 end
119 for i = 158:159
120     Elyse(i) = omega_elyse;
121 end
122 for i = 163:164
123     Elyse(i) = omega_elyse;
124 end
125 for i = 168:169
126     Elyse(i) = omega_elyse;
127 end
128 for i = 176:177
129     Elyse(i) = omega_elyse;
130 end
131 for i = 180:181
132     Elyse(i) = omega_elyse;
133 end
134 for i = 184:185
135     Elyse(i) = omega_elyse;
136 end
137 for i = 189:190
138     Elyse(i) = omega_elyse;
139 end
140 Elyse_ = zeros(1000,2);
141 for i = 1:length(Elyse)
142     Elyse_(i) = i;
143 end
```

D.5 Energibalanse for støpeomgang 1518-05

```
144 Elyse_(1001:end) = Elyse;
145 Elyse = Elyse_;
146 save('Elyse.mat', 'Elyse')
147 load('Elyse.mat');
148 %----- Bolt -----%
149 tid_bolt = 4; %Tid aa 'fylle' bolt
150 bolt_starttid = 270; %Min fra nullstill
151 m_bolt= 0; %Masse [kg]
152 T_bolt = 20; %Temperatur bolt [C]
153 omega_bolt=(m_bolt/tid_bolt); %[kg/min]
154 %----- Legering -----%
155 tid_legering = 1; %Tid aa 'fylle' legering
156 legering_starttid = 216; %Min fra nullstill
157 m_legering = 541; %Masse [kg]
158 T_legering = 20; %Temperatur legering [C]
159 omega_legering = (m_legering/tid_legering); %[kg/min]
160 %----- Slagg -----%
161 tid_slagg = 8; %Tid aa slagge
162 slagg_starttid = 223; %Min fra nullstill
163 m_slagg = 610; %Masse [kg]
164 T_slagg = 750; %Temperatur slagg [C]
165 omega_slagg = (m_slagg/tid_slagg); %[kg/min]
166 %----- Stop -----%
167 tid_stop = 81; % Stope tid 254 dimensjon
168 stop_starttid = 277; %Min fra nullstill
169 omega_stop = 616; %254 dimensjon [kg/min]
170 %-----%
171 cp_alu = 900; %Spesifikk varmekapasitet aluminium [J/kg*C]
172 A_bunn = 35.5; %[m^2]
173 Varme_tap_bunn = 828.14; %[W/m^2]
174 A_vegg = 23.1; %[m^2]
175 Varme_tap_vegg = 880.99; %[W/m^2]
176 A_metall = 35.5; %[m^2]
177 T_ovn_omg = 150 ; %[C]
178 metall_fast = m_kapp+m_kblokk+m_vblokk+m_bolt;
179 C_alu = 395000; %Spesifikk smeltevarme aluminium [J/kg]
180 %-----%
```

D.6 Estimert gasspådrag

D.6 Estimert gasspådrag

```
1  %-----%
2  %----- Estimert gasspaadrag -----%
3  %-----%
4  cp_alu = 900; %Spesifikk varmekapasitet aluminium [J/kg*C]
5  T_SP = 745; %[C]
6  T_rest = 700; %[C]
7  T_kapp = 20; %[C]
8  T_vblokk = 180; %[C]
9  T_kblokk = 20; %[C]
10 T_bolt = 20; %[C]
11 T_elyse = 890; %[C]
12 %----- Kapp (fast) -----%
13 q1_opp1 = cp_alu*m_kapp*(660-T_kapp);
14 q1_smelt = C_alu*m_kapp;
15 q1_opp2 = cp_alu*m_kapp*(T_SP-660);
16 q1_tot = q1_opp1+q1_smelt+q1_opp2;
17
18 %----- Varm blokk (fast) -----%
19 q2_opp1 = cp_alu*m_vblokk*(660-T_vblokk);
20 q2_smelt = C_alu*m_vblokk;
21 q2_opp2 = cp_alu*m_vblokk*(T_SP-660);
22 q2_tot = q2_opp1+q2_smelt+q2_opp2;
23
24 %----- Kald blokk (fast) -----%
25 q3_opp1 = cp_alu*m_kblokk*(660-T_kblokk);
26 q3_smelt = C_alu*m_kblokk;
27 q3_opp2 = cp_alu*m_kblokk*(T_SP-660);
28 q3_tot = q3_opp1+q3_smelt+q3_opp2;
29
30 %----- Bolt (fast) -----%
31 q4_opp1 = cp_alu*m_bolt*(660-T_bolt);
32 q4_smelt = C_alu*m_bolt;
33 q4_opp2 = cp_alu*m_bolt*(T_SP-660);
34 q4_tot = q4_opp1+q4_smelt+q4_opp2;
35
36 %----- Rest (Flytende) -----%
37 q5_opp = cp_alu*m_rest*(T_SP-T_rest);
38
39 %----- Elektrolysemetall (Flytende) -----%
40 q6 = cp_alu*(m_elyse*Antall_digle)*(T_elyse-T_SP);
41
42 Resterne = q1_tot+q2_tot+q3_tot+q4_tot+q5_opp-q6;
43
44 Antall_min_maxpaadrag = round(Resterne/(270000000*0.405))+7;
45
```

D.6 Estimeret gasspådrag

```
46
47
48 %-----%
49 %----- Lager m-file -----%
50 %-----%
51 Antall_min1 = zeros(1000,1);
52 for i = 1:1000
53     Antall_min1(i) = 5;
54 end
55 for i = 10:Antall_min_maxpaadrag+10
56     Antall_min1(i) = 435;
57 end
58
59 Antall_min1_ = zeros(1000,2);
60 for i = 1:length(Antall_min1)
61     Antall_min1_(i) = i;
62 end
63 Antall_min1_(1001:end) = Antall_min1;
64 Antall_min1 = Antall_min1_;
65 save('Antall_min1.mat', 'Antall_min1')
66 load('Antall_min1.mat');
67 %-----%
```