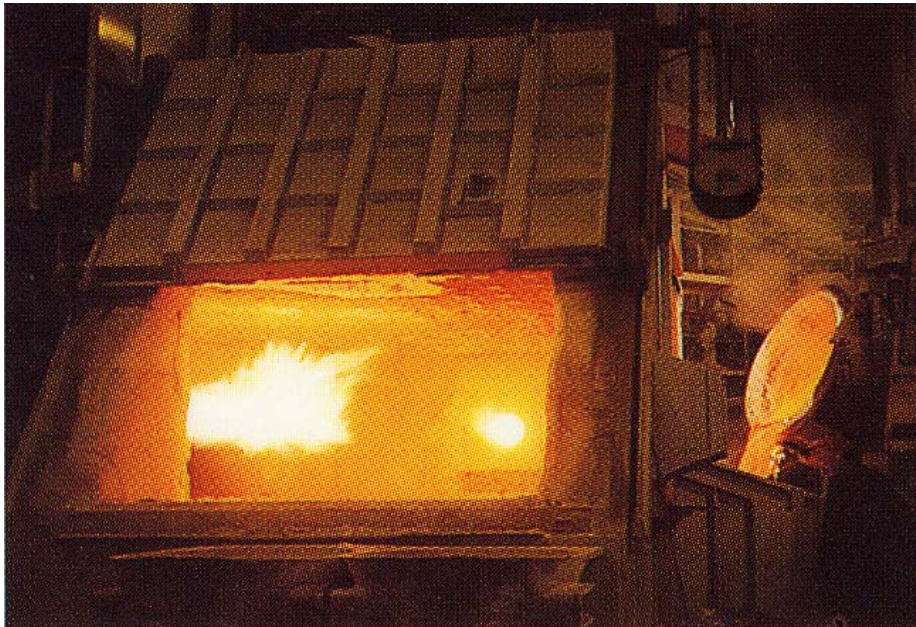




ØKO SMELT

Optimalisering av smelteovnsdrift



Hovedprosjekt utført ved Høgskolen Stord/Haugesund - Avd. for ingeniørfag

Studieretning Maskin

Av : Rune Bringedal

Haugesund

2002



Høgskolen Stord/Haugesund
 Avdeling for ingeniørfag
 Bjørnsonsgt. 45
 5528 HAUGESUND
 Tlf. nr. 52 70 26 00
 Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel		Rapportnummer
ØKO SMELT Optimalisering av smelteovnsdrift		
Utført av		
Rune Bringedal		
Linje Maskin		Studieretning Prosess og energiteknikk
Gradering Åpen	Innlevert Dato	Veileder ved HSH Jorunn S Nysted
Oppdragsgiver Hydro Aluminium Karmøy Rolling Mill		Kontaktperson hos oppdragsgiver Vidar Tveit

Ekstrakt

Dette prosjektet er gjennomført for Hydro Aluminium Karmøy Rolling Mill, og i oppgaven blir det sett på muligheten for å redusere gassforbruket og dermed kostnaden ved ned smelting av aluminium til støpeprosessen.

I denne oppgaven legges det sterk vekt på hvordan styringen av gassbrennerne bør gjøres for å få best mulig effekt av den energien som tilføres prosessen.

I tillegg er gjort noen undersøkelser på når/hvordan de daglige rutinene erfaringsmessig bør utføres for å gi best mulig virkning på smelte kostnaden.

Gjennom teoretiske beregninger har en funnet den omtrentlige fordeling av tapene i prosessen og ovnsens virkningsgrad.

Forsøkene som fremkommer i rapporten viser at det er betydelig potensiale for kostnadsreduksjon ved forandring av gassbrennerens styringsfilosofi.

Det er også laget et forslag til ny funksjonsbeskrivelse for brennerne og alternative forsøk som kan tenkes at gir gode resultater med tanke på gassforbruket.

FORORD

I begynnelsen av tredje året på maskinlinjen ved Høgskolen Stord/Haugesund fikk jeg denne oppgaven etter å ha snakket med Valseverket på Hydro Karmøy. Omsmelting av aluminium er en svært energi og kostnads krevende prosess og Valseverket har i den forbindelse byttet en av brennerne som inngår i smelteprosessen som en del av et energibesparende prosjekt. Dette har ført til redusert gassforbruk og oppgaven jeg fikk var da å se på om det var ytterligere muligheter for besparelse med dette utstyret i drift, da hovedsakelig med tanke på styringen av brennerne.

Det er noen kapitler som går rent teoretisk på smelteprosessen hvor energibehovet og prosessstapene blir gjennomgått. Siden blir det mye tallbearbeiding i Excel som er fremstilt grafisk i diagrammer og forsøkt forklart og diskutert.

Det har vært både lærerikt og interessant og jobbe med dette prosjektet og de praktiske problemene som har oppstått under veis har ikke vært større enn at en har kommet gjennom disse uten for store forsinkelser. Hadde det vært mer tid kunne en sett mer på de andre ovnene og gjerne spesielt på støpeovnene som det ikke har blitt anledning til.

Tilslutt vil jeg takke ekstern veil. Vidar Tveit og intern veil. Jorunn S. Nysted for god hjelp og veiledning

Takker også andre som har gitt noen tips og forslag under veis og ellers alle i avdelingen som har strukket en hjelpende hånd i forbindelse med prosjektet.

Haugesund 02.05.02

Rune Bringedal

SAMMENDRAG

Hensikten med denne oppgaven var å se på mulighetene for å redusere gassforbruket ved nedsmelting av aluminium ved Hydro Aluminium Karmøy Rolling Mill. Oppgaven er spesielt fokusert på styringen av naturgass brennerne som kanskje er den viktigste delen av smelteprosessen.

For å gjennomføre prosjektet innen tidsfristen er det gjort noen avgrensninger slik som at alle data, registreringer og forsøk er gjort rundt én smelteovn og at hovedtrekkene vil da enkelt kunne overføres til andre smelteovner som er like.

Ut fra beregningene som ble gjort på en tilfeldig charge ser en at virkningsgraden for smelteovnen ligger på ca. 31 %. Det største tapet ligger i den varme røykgassen, her forsvinner om lag 55 % av all tilført energi. Ved å nytte denne energien til forvarming av kaldt metall ville man fått en betydelig reduksjon i kostnaden ved smelting av aluminium. Denne energien kunne også vært brukt til andre indirekte formål som kunne gitt store besparelser på de respektive områdene. Ellers er det rundt 6 % av energien som forsvinner gjennom ovnsforingen og resten fordeler seg på andre områder som nevnes i kap. 5.2.4.

Det ble gjort noen loggninger av driften for å danne referanse verdier som kunne nyttes opp mot forsøkene som ble planlagt. Målinger og informasjon ble bearbeidet i Excel for å kunne sammenligne gassforbruket fra forsøkene.

Fra de resultatene som vi fikk fra forsøkene kan følgende konklusjon trekkes :

I alle de forsøkene hvor bruken av 2,2 MW brenner er redusert, har smeltetiden økt noe, samtidig har vi fått en mer stabil ovns atmosfære og et tydelig redusert gassforbruk.

Dette kan skyldes bedre utnyttelse av den økende stråleeffekten vi får ved høyere flammehastighet fra brenner 1, samtidig som effekttilførselen ikke må være for stor i forhold til metallens evne til å ta i mot denne energien.

Dette er hovedgrunnlaget for forslaget til ny funksjonsbeskrivelse som kort fortalt er kun en brenner i drift om gangen. I første fase av nedsmeltingen nyttes stor brenner med effekt 2,2 MW og i resterende tid benyttes liten brenner 1,1 MW.

Med denne forandringen vil en kunne forvente en reduksjon i gassforbruket på ca. 10 %.

Ytterligere reduksjoner kan oppnås ved bedre fokus på tidligere slagging for å fjerne det isolerende laget på bad overflaten.

Det vil også være viktig å sette fokus på at port og luke i ovnen ikke står unødige lenge oppe.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	2
SAMMENDRAG	3
INNHOLDSFORTEGNELSE	4
1 INNLEDNING	6
FREMDRIFTSPLAN	8
2 METODER	9
2.1 FORBRENNINGS PROSESSEN.....	9
2.1.1 Brensel.....	10
2.1.2 Brennerne	11
2.1.3 Luft/brenselforholdet	12
2.2 VARMEOVERFØRINGSMETODER	13
2.2.1 Stråling	13
2.2.2 Konveksjon	15
2.2.3 Konduksjon	15
2.3 SMELTETEKNIKK	17
2.3.1 Chargesering	17
2.3.2 Ulike typer kaldmetall	18
2.3.3 Smelteovnen.....	19
2.3.4 Holde/støpeovnen	19
2.3.5 Funksjonsbeskrivelse for styring av smelteovn.....	19
2.3.6 Holdetid	19
2.4 VIRKNINGSGRAD OG TAP I PROSESSEN	20
2.4.1 Virkningsgrad.....	20
2.4.2 Tap.....	20
3 FORBEREDELSE AV FORSØK	21
3.1 ANALYSE AV DATA.....	22
3.2 REFERANSEVERDIER.....	22
4 FORSØK	23
4.1 BARE BRENNER NR. 2 I DRIFT (2,2MW).....	23
4.2 BARE BRENNER 1 I DRIFT (1,1MW)	23
4.3 FORSØK MANUELL STYRING	23
5 RESULTATER	24
5.1 BEREGNINGER.....	24
5.1.1 Generell forbrenning.....	24
5.1.2 Brennverdi	25
5.1.3 Røkgassen	27
5.1.4 Overtrykk	28
5.1.5 Varmestrøm i ovnsforingen	30
5.1.6 Overflate areal av smelteovn	31
5.2 HVOR BLIR DET AV ENERGIEN VI TILFØRER.....	32
5.2.1 Virkningsgrad ovn	33
5.2.2 Tap som røykgass	33
5.2.3 Tap gjennom ovnsforing.....	34



5.2.4	<i>Fordeling av tilført energi</i>	34
5.3	BEST PRAKSIS	35
5.4	REFERANSE LOGGING	36
5.5	BRENNER 2,2 MW	36
5.6	BRENNER 1,1 MW	37
5.7	MANUELL STYRING	37
6	DISKUSJON/KONKLUSJON	38
6.1	REFERANSE	38
6.2	SKRAPTYPE VS GASSFORBRUK	38
6.3	BRENNER 2,2 MW	39
6.4	BRENNER 1,1 MW	39
6.5	MANUELL STYRING	39
6.6	SKORSTEINSTEMP,[SKT.]	40
6.7	OVNSATMOSFÆREN	40
6.8	OVNS RUTINER	40
6.9	TIDSPUNKT FOR TILSATS AV FLYT METALL	41
6.10	FORSLAG TIL NY FUNKSJONSBEKRIVELSE	42
6.10.1	<i>Grafisk forslag til funksjonsbeskrivelse</i>	43
6.11	BESPARELSE	44
7	FORSLAG TIL VIDEREFØRING AV PROSJEKTET	45
7.1	ALTERNATIV 1	45
7.2	ALTERNATIV 2	45
8	LITTERATUR	46

VEDLEGG 1-4 : ALLE FORSØK I DETALJ FRA EXCEL

VEDLEGG 5-17 : DIAGRAMMER FRA HVERT ENKELT FORSØK

1 INNLEDNING

Tema

Produksjonen ved Hydro Karmøy startet i 1967, og valseverkets situasjon var noe spesiell i forhold til sine konkurrenter med tanke på lett tilgjengelighet av flytende metall fra elektrolysen.

Det var også lagt opp til en da ny prosess hvor en støpte bånd som ble videreforedlet til tynnplater. Teknologien som ble benyttet var fra Harvey og de samme maskinene er i drift i dag, men med en del moderniseringer. Det er også kommet nyere støpemaskiner til verket. Den årlige produksjonen hos KRM ligger på ca 60-70 tusen tonn i året.

Produksjon av tynnplater i form av båndstøping krever at man har flytende metall. Og for å få metallet fra fast til flytende form kreves det store mengder energi. Avdelingen har normalt 6 smelteovner i drift der fem av disse er stort sett like og drives med to gassbrennere hver. De tilhørende støpeovnene har bare en brenner da disse bare skal holde smelten på en gitt temperatur.

Når det gjelder metallforsyningen til støpemaskinene blir det smeltet kaldt eksternt skrap som ofte importeres fra Russland, sammen med flytende metall fra elektrolysen. Smelteovnene ble den gang drevet av oljefyrte brennere som energi kilde, metallet som ble overført til støpeovnene før utstøpingen ble her holdt på riktig temperatur av tilsvarende oljefyrte brennere.

Når en kunde bestiller et produkt med en gitt kvalitet er det de fysiske kravene og den kjemiske sammensetningen som er betydningsfull. De fysiske kravene behandles i støpeprosessen og i videreforedlingen mens den kjemiske sammensetningen beregnes og klargjøres før og under selve smelteprosessen.

Formål

I oppgaven blir det gjort en del beregninger rundt energi transporten i en smelteovn, her prøver en å kartlegge de ulike tapene i størrelsesorden og finne virkningsgraden for smelteovnen. Det er kjent at det er meget store tap ved drift av slike prosesser, men en kan kanskje få et bilde på hvordan tapene fordeler seg i prosessen.

Energien som brukes for å smelte det kalde metallet tilføres på to måter, den ene er gass og den andre er gjennom smeltet metall fra elektrolysen. Det er flere faktorer som kan ha innvirkning på energiforbruket ved smelting av aluminium, den faktoren som blir tyngst vektlagt i denne oppgaven er selve styringen av gass brennerne og en håper å komme frem til en ny og bedre styringsfilosofi. Andre ting som er fokusert på i mindre grad er tidspunkt for tilsats av flyt metall og rutiner for slagging.

Problemstilling

Hensikten med oppgaven er å prøve å optimalisere driften av smelteovnene slik at man på en mest økonomisk måte får smeltet metallet med det utstyret som er i bruk i dag. dvs. redusere det totale gassforbruket pr. tonn smeltet metall.

Gassforbruket til en smelteovn varierer en del fra måned til måned, men en gjennomsnittlig årskostnad kan ligge fra 1,5 – 2 mill. kroner.

Avgrensninger

For å komme gjennom oppgaven innen tidsfristen ble det satt en del avgrensninger til denne. Siden all logging og datainnsamling ble et relativt møysomlig arbeid har vi holdt oss til én smelteovn (SM 05).

Siden det var brennerne og styringen av disse som var angitt som det mest interessante området fra oppdragsgiver er dette sterkest vektlagt under utførelsen av prosjektet.

FREMDRIFTSPLAN

I starten av prosjektet laget jeg en fremdriftsplan slik at jeg hadde en viss mal å gå etter for å bli ferdig til leveringsfristen 3. mai. Det er ikke alltid like lett å avsette tid til de ulike oppgavene på forhånd, men de aller fleste stemte bra med planen.

Siden all logging av data måtte skje manuelt tok dette ganske mye lengre tid en forventet, og dette var vel den største sprekken i planen.

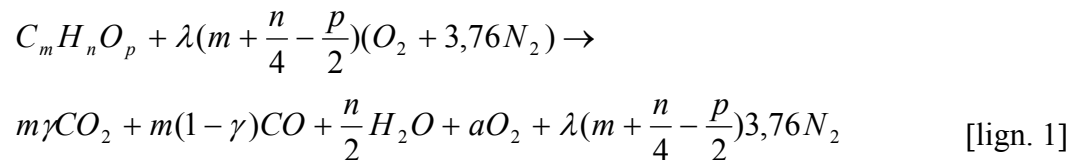
Uke/Aktivitet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13-16
Litteratursøk	■	■											
Beregninger			■	■	■								
Søke etter bestpraksis					■	■							
Logge data fra drift						■	■						
Forberede forsøk							■	■	■	■			
Forsøk								■	■	■	■		
Analysere resultater										■	■	■	■
Oppsummering													■
Rapportskriving				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

2 METODER

2.1 Forbrennings prosessen

Alle forbrenningsreaksjoner er eksoterme dvs at de avgir varme til omgivelsene. Ved forbrenningstekniske beregninger kan en bruke formlene som er angitt under og finne mengden av de ulike komponentene i både reaktanter og produkter.

Generell formel for forbrenning :



Formel for støkiometriske luftkoeffisient :

$$\left(m + \frac{n}{4} - \frac{p}{2} \right) \quad [\text{lign. 2}]$$

2.1.1 Brensel

Naturgass består hovedsakelig av metan, og er den mest anvendelige energibæreren som er tilgjengelig i dag. Naturgassen til Hydro transporteres i rør, som CNG (komprimert naturgass).

Når det gjelder miljømessige hensyn er naturgass å foretrekke siden denne har en del fordeler i forhold til andre energibærere. Svoveldioksid utslippet blir totalt eliminert, utslippene av CO₂, NO_x og sot blir redusert. Bruken av naturgass skal også gi mindre støy, større fleksibilitet, høyere virkningsgrad og enklere vedlikehold av utstyret.

Brennerne nytter naturgass som brensel ved normal drift og denne er sammensatt av hovedsaklig metan og etan, men også noen andre gasser se avsnitt 5.1.1 for detaljert sammensetning.

Noen omregningsfaktorer

$$\begin{aligned} 1 \text{ Nm}^3 &= 1,092 \text{ Sm}^3 \\ 1 \text{ Sm}^3 &= 10,5 \text{ kWh} \\ 1 \text{ Nm}^3 &= 11,466 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Sm³ = Standard kubikkmeter (Temp. 25°C, trykk 1 atm.)

Nm³ = Normal kubikkmeter (Temp. 0°C, trykk 1 atm.)

KWh = Kilowatt time

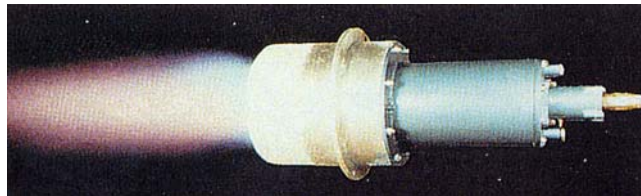
2.1.2 Brennerne

Naturgass er hoved energikilden ved smelting av aluminium mens energi fra smeltet elektrolysemetall står for en mindre del av energitilførselen.

Brennerne som benyttes i ovnene er av typen Stordy Firemix en kombinasjonsbrenner som normalt kjøres på naturgass.

Den tilførte effekten i en ovn er totalt 3,18 MW fordelt på to brennerne, den minste yter 1,06 MW ($110 \text{ Nm}^3/\text{h}$) og den store yter 2,12 MW ($210 \text{ Nm}^3/\text{h}$) ved fullt pådrag.

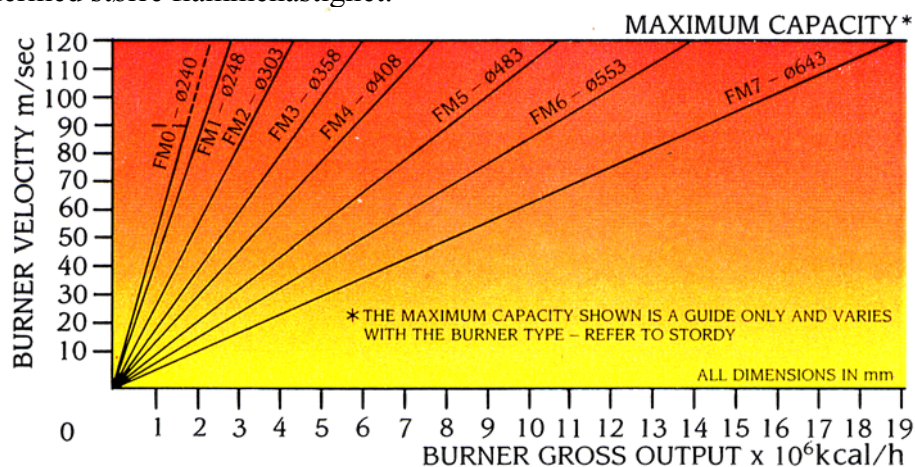
For å utnytte effekten som tilføres maksimalt, har brennerne i smelteovnene av/på regulering. Erfaring viser at ved redusert pådrag blir flammehastigheten mindre og flammen blir slapp/svak og dermed reduseres virkningsgraden betydelig.



Diagrammet fra Stordy viser tydelig sammenhengen mellom flammehastighet og effekt. Ulempen med økt flammehastighet er derimot at det blir en del mer støy av denne.

Brenner 1 – 1,1 MW er den som er merket FM0 $0,92 \times 10^6$ kcal/h
 Brenner 2 – 2,2 MW er den som er merket FM2 $1,82 \times 10^6$ kcal/h

Obs. flammehastigheten som kan leses av her gjelder for brenner med tilsvarende diameter på munnstykket som er angitt i parentes.
 Den lille brenneren som er montert i vår ovn har mindre diameter enn 240 mm og dermed større flammehastighet.



2.1.3 Luft/brenselforholdet

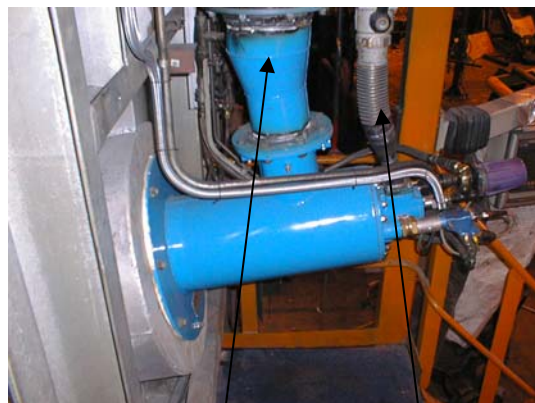
Det støkiometriske luft-brenselforholdet som er nødvendig i en støkiometrisk forbrenningsreaksjon er avhengig av mengden av karbon i brenselet. For hydrokarboner slik som propan som er en aromatisk forbindelse vil luft/brenselforholdet ligge på ca. 15 dette gjelder for alle petroleumsprodukter. (www.sintef.no)

For å finne hvilket luftoverskudd man har, kan en måle O_2 innholdet i røykgassen og benytte formelen :

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_{2\text{-målt}}} \quad [\text{lign. 3}]$$

På bildene under ser vi hvordan en 1,1 MW brenner er montert i ovnsveggen.

På bildene ser vi luft tilførselen og gasstilførselen markert med piler



Luft

Gass



2.2 Varmeoverføringsmetoder

Det er hovedsaklig tre typer av varmeoverføring ; konduksjon, konveksjon og stråling. Under vil en gå litt nærmere inn på hver enkelt av disse.

2.2.1 Stråling

For stråling fra omgivelsene til metallet og omvendt bruker vi ligningen for netto stråling

$$q = A \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_V^4 - T_K^4) \quad [\text{lign. 4}]$$

q_s	= Strålings energi	[W]
A	= Areal	[m ²]
T_v	= Temp. varm side	[K]
T_K	= Temp. kald side	[K]
σ	= Stefan Boltzmann konst.	[W/m ² K ⁴]
ϵ	= Emmisivitet	[1]

Dersom man under en forbrenning kjører med understøkiometrisk luftforhold blir det dannet mindre CO₂ og dette fører igjen til at strålingen avtar. Det er derfor viktig å overvåke røygassen slik at man hele tiden har den tilstrekkelige lufttilførselen og dermed får omdannet mesteparten av karbonet til CO₂. Dette er ikke bare av miljø hensyn, men CO₂`en utgjør sammen med H₂O mesteparten av stråle effekten i røygassen. Av kurven på neste side ser vi hvor sterkt strålingen avhenger av temperaturen.

Når en charge er klar til å smeltes ned er alt metallet i fast form. Noe energi eller varme blir da overført fra flammen/eksosen fra brennerne til metallet i form av stråling.

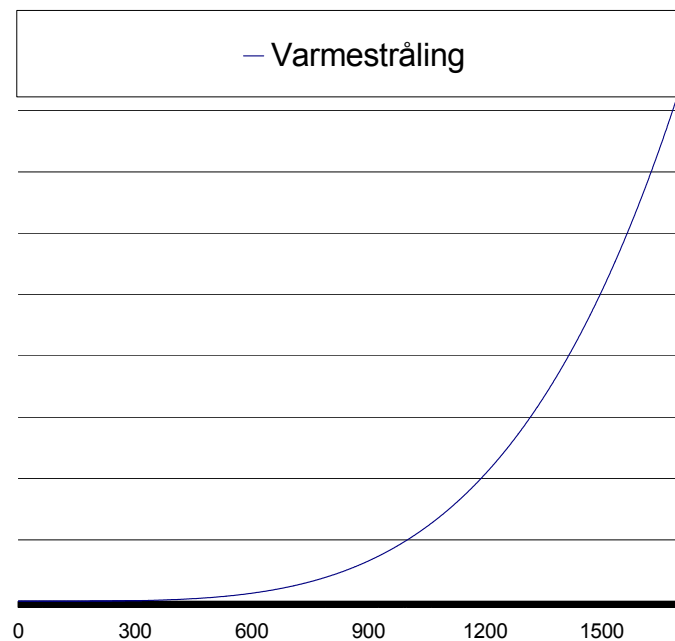
Strålingen forgår i tre trinn :

- den termiske energien i den varme kilden, slik som ovnsveggene og selve flammesonen blir omformet til elektromagnetiske bølger.
- de elektromagnetiske strålene beveger seg i rett linje og treffer det ”kalde” metallet.
- strålene som treffer metallet og blir absorbert og konverteres tilbake til termisk energi/varme.

Når det gjelder stråle effekten er tilførsel av riktig luftmengde viktig. Har man for lite luft i forhold til brennstoff vil dette føre til uforbrent brennstoff og redusert temp, har man derimot for stort luftoverskudd fører det til at man får for mye kald frisk luft inn i ovnen som virker kjøleende på prosessen. Dette går det utover stråle effekten mot metallet som er svært avhengig av temperaturen. Under kan vi se en illustrasjon på forholdet mellom temperatur på x-aksen og strålefluks på y-aksen.

$$q = k \cdot T^4 \quad [\text{lign. 5}]$$

$q =$ Varmestråling	[W]
$k =$ Konstanten for det aktuelle mediet	[W/K ⁴]
$T =$ Temperatur	[K]



2.2.2 Konveksjon

Generell formel for konveksjon

$$q_k = h \cdot A(T_v - T_k) \quad [\text{lign. 6}]$$

q_k	= Konveksjons energi	[W/m]
A	= Areal	[m ²]
T_v	= Temp. varm side	[K]
T_k	= Temp. kald side	[K]
h	= Varmetransport koeff.	[W/mK]

h som er varmeovergangskoeffisienten må finnes eksperimentelt siden vi har et relativt komplekst system. Det blir derfor vanskelig å finne forskjellen i varmetransporten ved stråling og konveksjon

Dette er en varmeoverføringsform som oppstår når fluid berører en overflate og avgir eller opptar varme. Varmen overføres ved at partikler som berører flaten virker som varmebærere. Her kan man ha to tilfeller fri eller tvungen konveksjon avhengig om fluidet beveger seg fritt eller om den eksempelvis pumpes. I vårt tilfelle har vi både fri og tvungen konveksjon, fri konveksjon da smelten flyter fritt rundt i ovnen, og tvungen konveksjon mellom røykgassen og metallet. Når det røres i smelten har vi også tvungen konveksjon. Varmeoverføring ved konveksjon er avhengig av væskens strømningstilstand, og konveksjonen øker ved økende strømningshastighet.

2.2.3 Konduksjon

Generell formel for konveksjon

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [\text{lign. 7}]$$

q_k	= Konveksjons energi	[W]
A	= Areal	[m ²]
ΔT	= Temp. forskjell	[K]
k	= Termisk konduktivitet	[W/mK]
Δx	= Lengde	[m]

Termisk konduktivitet er stoffets varmeledningsevne og ved eksperimentelle forsøk kan en fastsette denne verdien for ulike materialer. Den termiske ledningsevnen er sterkt temperaturavhengig og verdier for denne finnes i tabeller eller diagrammer. I gasser skyldes konduktiviteten kinetisk energi det er altså hastigheten til molekylene som avgjør varmetransporten. I faste stoffer er det noe mer komplekse forhold her sitter molekylene mye tettere og det er sterkere krefter mellom dem. Derfor deles varmetransport i faste stoffer inn i vibrasjonsenergi og energitransport i form av frie elektroner.

Ut fra ligning 4, 6 og 7 kan vi se at i begge tilfeller spiller arealet den samme rollen dvs. at når arealet øker, øker også varmeledningen. Dermed kan vi tenke oss at for å få overført mest mulig energi inn i det kalde metallet må vi prøve å beholde mest mulig eksponert areal lengst mulig. En kan sette opp to scenarier for en ovn som er ny chargesert, da er alt metall i fast form og det har en stor overflate.

Det er to muligheter :

- I) En starter oppvarmingen med gassbrennere til mesteparten av metallet er smeltet, overflaten reduseres gradvis gjennom hele perioden siden det smeltede metallet ”stjeler” en del av overflaten etter hvert som overflaten på smelten stiger. Hvis en så i slutten av smelteperioden setter på varmt metall som da fører med seg flere positive faktorer i form av det høye energiinnholdet siden dette har en temp på ca 850 °C , og økt konveksjon siden en vil få en del omrøring i smelten under overføringen.
- II) En annen mulighet er å få overført varmt metall kort tid etter den påkrevde tørkeperioden. Dette fører til at en får tilført en god del mer energi i starten, både brenner og varmt metall. Samtidig vil vi unngå så sterk oksidasjon og slaggdannelse siden mindre areal blir eksponert av den høye temperaturen på gassflammen. En negativ side ved dette alternativet er at overflatearealet raskt reduseres slik at den flaten som eksponeres for strålingen fra brennerne blir betydelig mindre tidlig i prosessen.

Strålingen har både positive og negative sider, når flammen er i ”direkte” kontakt med metalloverflaten øker varmetransport inn i metallet raskere. På den annen side fører dette til økt slagg dannelse som igjen vil legge seg som et isolerende lag opp på smelten. En annen ting er at oksidasjonsraten minker når metallet kommer under bad overflaten, kritisk punkt for oksidasjonsraten er ved 800°C. (Evans, 1995)

2.3 Smelteteknikk

2.3.1 Chargesering

Her er en enkel innføring i hvordan en charge lages og kriteriene for at den skal oppnå sine krav. Først går man ut i fra den kjemiske sammensetningen produktet skal ha, og ut i fra dette settes det opp de ønskede mengdene med kaldt metall\skrap og mengde flytmetall som skal tilsettes fra elektrolysen. For å oppnå den riktige kvaliteten regnes det nå ut hvilke legeringselementer som må tilsettes for å oppnå denne kvaliteten.

Når så ovnen er tom kan innlastingen av kaldt metall starte, dette må forvarmes i henhold til prosedyre for å få bort all fuktighet som i verste fall kan forårsake en kraftig eksplosjon med katastrofale følger.

Etter at alt skrapet er lastet inn i ovnen lukkes porten og oppvarmingen starter, i løpet av smeltefasen kommer det varme flytmetallet fra elektrolysen og tilsettes gjennom en fyller luke i ovnssiden.

Temperaturen stiger etter hvert til 700°C og ovnsoperatøren drar slagget av smelten, erfaringsmessig stiger temperaturen nå med en 30 – 40°C. Smelten er nå nesten på setpunktet og det tas prøve av metallet som analyseres i en spektrograf for godkjenning av kvaliteten. Brennerne fortsetter etter programmet sitt og holder temperaturen på setpunkt til overføringen kan starte.

2.3.2 Ulike typer kaldmetall

Her er en illustrasjon på de tre hovedtypene av kaldt metall (skrap) som benyttes.



T-bar :

Er importert skrap og kommer hovedsakelig fra Russland.

En t-bar veier ca 1000 kg



Internskrap :

Er ofte kveiler med kvalitetsavvik eller det kan være andre fasonger som plater og spon fra kaldvalsavd.

Kveilene på bilde kan variere fra ca 1000 Kg og opp til 3-4000 Kg.

Så når kveilene blir relativt store blir overflatearealet mindre pr. Kg metall enn for T-baren.



Ingot :

Er eksternt skrap på lik linje med T-bar, en slik bundt veier om lag 1000 Kg .

Sammenligner vi denne med T-bar ser vi at overflate arealet er betydelig større her.

2.3.3 Smelteovnen

Ovnen har en kapasitet på ca. 30-35 tonn pr. charge. Mengden av flyt og kaldt metall kan variere mye, men det er vanlig med en flyt mengde på 12-13 tonn og en kaldmetall mengde på 16-20 tonn.

I smelteovnen er jo hensikten å få smeltet det kalde metallet, legere det opp og få det opp på setpunktet og holde temperaturen her til overføringen til støpeovnen skal skje. I dag styres brennerne etter et program hvor temperaturen fungerer som en detektor for hvor i smeltefasen en er.

2.3.4 Holde/støpeovnen

Støpeovnen ligger mellom smelteovnen og støpemaskinen, i denne er det montert en brenner og denne brenneren har normalt til hensikt å holde temperaturen på setpunktet. Pådraget blir derfor modulert opp eller ned i forhold til avviket fra setpunktet.

2.3.5 Funksjonsbeskrivelse for styring av smelteovn

Brennerne drives her alltid med fullt pådrag for å utnytte flammehastigheten, strålingen og konveksjonen fra røykgassen best mulig. Slik at virkningsgraden blir høyest mulig.

- ✓ Under oppvarmingsfasen (under 640°C) kjøres begge brennerne på fullt.
- ✓ Så når temperaturen har vært over 640°C i 30 min begynner brennerne og veksle ca. 25 min hver med fullt pådrag.
- ✓ Ved 700°C stopper den store brenneren og 1 MW brenneren fyrer med fullt pådrag og av/på regulering med gitte tidsintervaller mot setpunktet.
- ✓ Ved åpning av luke eller port går brennerne automatisk ned på lavlast.

2.3.6 Holdetid

Holdetiden for en charge er svært varierende og det kan være mange årsaker til at denne blir unormalt lang. Det skyldes som oftest stopp i produksjonen av ulike årsaker som tekniske feil, planlagte eller uplanlagte stopp og korreksjoner. Dette fører igjen til at metallflyten i systemet reduseres slik at den ferdige chargen i smelteovnen ikke overføres til støpeovnen før produksjonen igjen tas opp.

2.4 Virkningsgrad og tap i prosessen

2.4.1 Virkningsgrad

Virkningsgraden for en smelteovn kan vi lett beregne ved å finne den teoretisk nødvendige energien som metallet trenger for å nå en viss temp., denne kaller vi da avgitt energi.

Den avgitte energien deles på tilført energi mengde og vi finner ovnens totale virkningsgrad.

$$\eta = \frac{\text{avgitt} - \text{energi}[J]}{\text{tilført} - \text{energi}[J]} \cdot 100 \% \quad [\text{lign. 8}]$$

$$\eta = \text{virkningsgrad} \quad [1]$$

2.4.2 Tap

Tapene i prosessen er mange og store vi kan beregne de antatt største slik som røkgass- og ovnsforings tap relativt enkelt.

Enkelt tapene finnes da ved å dele den beregnede energien i røkgassen eller varmestrømmen gjennom foringen med den tilførte energien.

$$Tap_{\text{røkgass}} = \frac{\text{energi} - \text{røkgass}[J]}{\text{tilført}[J]} \cdot 100 \% \quad [\text{lign. 9}]$$

$$Tap_{\text{foring}} = \frac{\text{energitap} - \text{foring}[J]}{\text{tilført}[J]} \cdot 100 \%$$

3 FORBEREDELSE AV FORSØK

Fra prosess pc'en som er koblet opp mot ovnene blir det logget ulike data som er interessante for vårt formål, siden prosess pc'en ikke er koblet opp mot nettet eller hadde utskriftsmulighet måtte verdiene hentes ut manuelt.

Badtemp., gassforbruk, temp. i skorstein, O₂ innhold i røykgass, ovnstrykk er de dataene som er mest interessante for oss. Badtemp. ble tatt ut hvert 15. min, gassforbruket registreres i det ovnsporten lukkes, når smelten passerer 740°C og når chargen er overført til støpeovnen. Dataene registreres i Excel og det lages trend kurver for hver charge slik at hendelser kan registreres og kommenteres nøyere.

Andre variabler ble sett over og bemerket med kommentarer. Det ble fulgt med at brennerne fungerte som de skulle, når flytmetall ble tilsatt, når slagging ble utført, om port eller luke var åpen unormalt lenge og andre spesielle hendelser.

MPS systemet er det programmet som behandler metallflyten i systemet, dette ble benyttet til å hente ut innholdet i de ulike chargene. hvor mye flyt metall som var tilsatt, hvor mye og hvilken type skrap den inneholdt.

Hvilken type kald metall eller skrap vi har i ovnen forventes å ha en hvis betydning når det gjelder gassforbruket, det var derfor viktig å i høyest mulig grad å lokalisere de ulike skrap typene. Det er derfor delt inn i tre hovedgrupper : intern skrap, t-bar og ingot. Intern skrapet kan være av mange forskjellige fasonger og varianter, men det er så og si umulig å spore opp dette.

Alle målinger som benyttes i forsøkene og beregningene er hentet fra prosess pc'en dersom ikke annet er oppgitt.

3.1 Analyse av data

Alle verdiene som ble hentet inn ble lagret i et regneark slik at en lett kunne regne ut og sammenligne og analysere de ulike chargene. De tre viktigste verdiene som ble brukt var :

- ✓ Gassforbruk hvor en skiller mellom smelteforbruk og totalforbruk slik at en ikke blir lurt av charger med lange holdetider som drar opp forbruket.
- ✓ Skraptype og fordelingen av denne er også en veldig viktig faktor, tas ikke denne i betraktning ved sammenligninger av chargerer er resultatene verdiløse.
- ✓ Og fordelingen av fast metall og flyt metall.

3.2 Referanseverdier

Det ble logget en del charger med tilhørende data fra driften slik at en skulle ha en referanse for de verdiene en søkte ved å gjøre forandringer i prosessen. Og for å registrere ulike reaksjoner på gassforbruket ut i fra hendelser i prosessen. Noe som var ønskelig her var å kartlegge hvilken effekt de ulike typene av kaldt/skrapp metall utgjorde på energiforbruket. Og om det var mulig å registrere noen forskjeller ut i fra når flytmetallet ble tilsatt.

4 FORSØK

4.1 Bare brenner nr. 2 i drift (2,2MW)

Under disse forsøkene ble brenner 1 skrudd av på styringspanelet slik at brenner 2 måtte ta seg av all energi tilførsel.

Hensikten med forsøket var å se forskjellen i forbruket og om det ble noe vesentlig forskjell i tid for å få smelten opp på setpunkt.

I utgangspunktet forvente en vel at dette skulle føre til at forbruket skulle øke siden en måtte benytte full effekt under hele chargseringstiden.

4.2 Bare brenner 1 i drift (1,1MW)

Forsøkene med brenner 1 ble utført på samme måte som med brenner 2. Brenner 2 skrur manuelt av på ovnsens styringspanel. Disse forsøkene ble gjort når støpemaskinen hadde planlagte stopp siden en ikke visste hvor lang smeltetiden nå ville bli.

Forventningen til dette forsøket var øket smeltetid, men også noe lavere gassforbruk i forhold til forsøket med brenner 2.

4.3 Forsøk manuell styring

Dette forsøket ble planlagt som et resultat av diskusjonen og resultatene til de to forestående forsøkene. Tanken her var å benytte den store brenneren hovedsakelig de første timene for så å skifte til br.1 i den resterende tiden.

Også her ble brennerne styrt manuelt, i diagrammene i vedleggene vil en se de eksakte tidspunktene for når den respektive brenner var innkoblet.

Forventningen var altså å redusere smeltetiden fra forsøket med br. 1.

5 RESULTATER

5.1 Beregninger

5.1.1 Generell forbrenning

Naturgassen kjøpes fra Gasnor og har følgende sammensetning :

Komponent	Vol % - mol %	Formelvekt Kg/Kmol
Metan	86,4	16,04
Etan	8,0	30,07
Propan	2,3	44,10
Nitrogen	1,8	28,01
Karbondioksid	1,2	44,01
Andre	0,5	-

(Andre : isobutan, normal-butan, iso-pentan, normalpentan, heksan, heptan pluss)

Fra ligning 1 og ligning 2 i kap. 2.1 finner vi :

For naturgassen vår gjelder :

$$m : 0,864 + 0,08 \cdot 2 + 0,023 \cdot 3 = 1,093$$

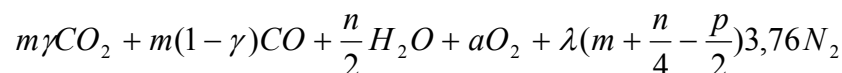
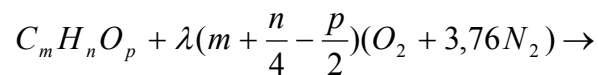
$$n : 0,864 \cdot 4 + 0,08 \cdot 6 + 0,023 \cdot 8 = 4,12$$

$$p : 0,012 \cdot 2 = 0,024$$

Dette gir den støkiometriske luftkoeffisienten [2] :

$$\left(m + \frac{n}{4} - \frac{p}{2}\right) = 1,093 + \frac{4,12}{4} - \frac{0,024}{2} = \underline{2,111}$$

Reaksjon ved forbrenning med luftoverskudd [1], $\lambda > 1$

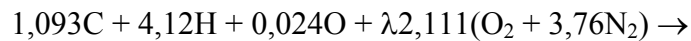


O₂-balanse

$$\frac{0,024}{2} + 2,111\lambda \rightarrow 1,093\gamma + 1,093\left(\frac{1-\gamma}{2}\right) + \frac{4,12}{4} + a$$

$$a = 2,111\lambda - 0,5465\gamma - 1,5645$$

Reaksjonsligning for naturgassen



de viktigste tallene er understreket.

5.1.2 Brennverdi

Brennverdien er den varmen som blir avgitt ved forbrenning av et brensel, nedre brennverdi som vi tar for oss her er når H₂O i produktet er i gassform.

Nedre brennverdi for naturgassen kan enkelt beregnes ut fra sammensetningen og energien til komponentene i reaktantene og produktene ved respektive temperaturer.

Forbrennings enthalpien kan finnes slik :

$$H_{RP} = H_P - H_R = - H_N$$

[lign. 10]

$$\sum R n_e (hf + \Delta h)_e - \sum P n_i (hf + \Delta h)_i$$

H _P = Enthalpien til produktene	[J]
H _R = Enthalpien til reaktantene	[J]
hf = Enthalpi til komp. ved ref. temp	[J]
Δh = Enthalpi til komponent ved reaksjons temp.	[J]
n = Mengede av komponent	[1]
R = Reaktanter	[1]
P = Produkter	[1]

Enthalpi innholdet ved ref. temp. og ved 1200 K finnes fra tab. A12 i Sonntag, Richard E.

Reaktantene er ved referanse temperatur (25°C)

$$\begin{aligned}\sum_P n_i (h_f + \Delta h)_i &= 0,846 \cdot (-74837)\text{KJ} + 0,08 \cdot (-84667)\text{KJ} + 0,023 \cdot (-133847)\text{KJ} \\ &= -77196,2 \text{ KJ}\end{aligned}$$

Dersom produktene også hadde vært ved referanse temperatur

$$\begin{aligned}\sum_R n_e (h_f + \Delta h)_e &= 1,093 \cdot (-393522)\text{KJ} + 2,06 \cdot (-241827)\text{KJ} \\ &= -928283,2 \text{ KJ}\end{aligned}$$

Vi får da en nedre brennverdi på kmol basis

$$H_N = - (H_P - H_R)$$

$$= 851086,97 \text{ KJ/kmol}$$

Vi gjør denne om til MJ/Nm³ \Rightarrow
$$H_N = \frac{851086 \text{ KJ} / \text{kmol}_b}{22,69 \text{ Nm}^3 / \text{kmol}_b} = \underline{37,509 \text{ MJ} / \text{Nm}^3}$$

Gassens brennverdi blir altså 37,509 MJ/Nm³ som vi bruker i beregningene senere.

5.1.3 Røkgassen

For å gjøre et overslag på den energien som tapes i form av varm røkgass tar vi utgangspunkt i naturgassens sammensetning og et gjennomsnitt av den målte oksygen verdien i røkgassen. På denne måten kan vi finne en ca. verdi på energi innholdet i røkgassen og angi hvor stor del av det totale tapet dette utgjør.

For naturgass sammensetning se avsnitt 5.1.1

Finner først riktig mengde av røkgasskomponentene

Fra Figur C 6a. og tabell C 4b og tabell C 6 i Naturgasshåndboken finner vi de forskjellige røkgassmengdene og cp-verdiene for komponentene i røkgassen.

Komponent	Gir – CO ₂ , m ³ /m ³ brensel	Gir – N ₂ , m ³ /m ³ brensel	Gir – H ₂ O, m ³ /m ³ brensel
Metan	0,9978	7,4691	2,042
Etan	2,0104	13,1723	3,1138
Propan	3,0507	3,1138	4,2188

Komponent	Cp – verdi, KJ/m ³ K
CO ₂	2,3
N ₂	1,41
H ₂ O	1,79

Beregner mengde røkgass komponent per Nm³_{brensel}

$$\text{CO}_2 = 0,862 \cdot 0,9978 + 0,08 \cdot 2,0104 + 0,023 \cdot 3,0507 = 1,0911 \text{ m}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3\text{brensel}$$

$$\text{N}_2 = 0,862 \cdot 7,41691 + 0,08 \cdot 13,1723 + 0,023 \cdot 3,1138 = 7,5638 \text{ m}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3\text{brensel}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,862 \cdot 2,042 + 0,08 \cdot 3,1138 + 0,023 \cdot 4,2188 = 2,1063 \text{ m}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3\text{brensel}$$

Temp på røkgassen varier mye etter hvor i smeltefasen vi er, den målte verdien ligger fra ca. 700°C og opp til 1190°C

Siden måleren for røkgassen står relativt høyt oppe i skorsteinen må vi anta en røkgass temperatur noe tidligere i skorsteinen, antatt temperatur 1200°C.

Energien i røkgassen blir dermed :

$$(1,0911 \text{ m}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3\text{b} \cdot 2,3 \text{ KJ}/\text{m}^3\text{K} + 7,5638 \text{ m}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3\text{b} \cdot 1,41 \text{ KJ}/\text{m}^3\text{K} + 2,1063 \text{ m}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3\text{b} \cdot 1,79 \text{ KJ}/\text{m}^3\text{K}) 1200\text{K} = \underline{20,33 \text{ MJ}/\text{Nm}^3\text{b}}$$

5.1.4 Overtrykk

Det er viktig med et overtrykk i ovnen under selve smelteprosessen for å unngå at ovnen suger falsk og kald luft gjennom gliper i port og luke. Trykket i ovnen reguleres av et spjeld i skorsteinen.

Inne i ovnen stiger den varme røykgassen opp skorsteinen, det kritiske punktet for hvor kald luften kan komme inn vil være på det laveste punktet i ovnen hvor vi har en åpning til utsiden av ovnen. I vårt tilfelle vil det være langs nedre kant av porten, og trykket her må være høyere på innsiden enn utsiden av ovnen. Det vil da strømme litt røykgass ut gjennom spalten rundt hele porten, men dette må en tolerere.

En kan gjøre noen enkle beregninger for å se at dagens setpunkt for trykket er passe.

For å gjøre beregningene trenger en molarvekten til luften utenfor ovnen og til røykgassen inne i ovnen :

Molarvekten for luft er kjent : 28,8 g/mol

Molarvekten for røykgassen beregnes ut fra sammensetningen til naturgassen og verdier fra tabell C 4b i Naturgass håndboken

Sammensetning til røykgassen blir da :

Komponent	Andel
N ₂	70,39 %
CO ₂	9,41 %
H ₂ O	19,27 %
Ar	0,84 %

Nå kan vi finne molvekten for røykgassen :

$$M = 0,7039 \cdot 2 \cdot 14 + 0,0941 \cdot 12 \cdot 32 + 0,1927 \cdot 18 + 0,0084 \cdot 39,95 = \underline{27,65 \text{ g/mol}}$$

Tettheten inni og utenfor ovnen finner vi ved ideell gasslov

$$\varphi = \frac{PM}{RT} \quad [\text{lign. 11}]$$

ρ = Tetthet	[Kg/m ³]
R = Gasskonstant	[latm/molK]
T = Temperatur	[K]
M = Mol vekt	[Kg/Kmol]
P = Trykk	[Pa]

Luft ved 20°C

$$\rho_{\text{luft}} = \frac{PM}{RT} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 28,8 / \text{mol}}{0,08314 \frac{\text{latm}}{\text{molK}} \cdot 293 \text{ K}} = 1,1822 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Røygass ved 1227°C

$$\rho_{\text{RG}} = \frac{PM}{RT} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 27,65 \text{ g} / \text{mol}}{0,08314 \frac{\text{latm}}{\text{molK}} \cdot 1500 \text{ K}} = 0,2217 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Nå kan vi finne forskjellen i trykket inni og utenfor ovnen. Høyde fra ovnstaket og ned til spalte i port 2 m

$$\Delta p = (\rho_u - \rho_i) \cdot g \cdot h \quad [\text{lign. 12}]$$

$\Delta p =$	Trykk	[Pa]
$\rho =$	Tetthet	[Kg/m ³]
$g =$	Tyngdekraft	[m/s ²]
$h =$	Høyde	[m]

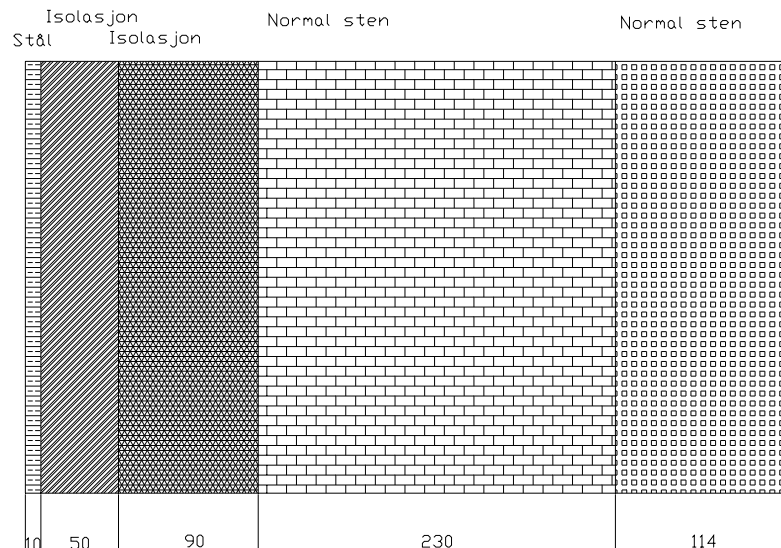
$$\Delta p = (\rho_u - \rho_i) \cdot g \cdot h = (1,1822 - 0,2217) \text{ Kg} / \text{m}^3 \cdot 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \cdot 2 \text{ m} = 18,84 \text{ Pa} \approx 0,185 \text{ mbar}$$

Overtrykket må være 0,185 mbar og setpunktet står i dag på 0,2 mbar så det skulle holde. Under normal drift er det ingen problem å holde dette trykket i ovnen.

Problemet er i støpeovnene hvor brennerne ikke har av/på styring, men moduleres ned på gassforbruket. Ved redusert pådrag kan spjeldet i skorsteinen stå i stengt posisjon og allikevel greier ikke ovnen å regulere slik at vi har nødvendig overtrykk, dette kan skyldes at skorsteinene er svært overdimensjonert. Brenneren i støpeovnene kunne derfor med fordel vært av/på regulert slik som i smelteovnene.

5.1.5 Varmestrøm i ovnsforingen

Snitt av ovnsforingen :



Målene på tegningen er i mm.

Ovnsforingen er nesten en halv meter tykk og muringen er noe forskjellig i vegger, tak og gulf. Under beregningene er det brukt et snitt av disse verdiene, det blir også antatt stasjonær tilstand noe som ikke er tilfelle da brennerne fyrer med ulike intervaller etter hvor man er i smeltefasen.

Veggen er sammen satt som vist på tegningen over og den består av :

	Materiale	k - varmeledningskoeffisient	Tykkelse av materiale
1	Stål	50 W/mK	0,014 m
2	Isolerstein	0,2 W/mK	0,050 m
3	Isolerstein	0,2 W/mK	0,090 m
4	normalsten (murstein)	1,2 W/mK	0,230 m
5	normalsten (murstein)	1,2 W/mK	0,114 m

k - verdiene er hentet fra A. Saltveit 1992, Ildfaste materialer

I tillegg antar vi en varmeovergangskoeffisient på innsiden og utsiden av veggen

$$h = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Temperaturen på innsiden settes til 1200 K og temperaturen på utsiden til 293 K.

Nå kan vi beregne varmestrømmen gjennom 1 m² av veggen

$$q_{foring} = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \frac{\Delta x_4}{k_4} + \frac{\Delta x_5}{k_5} + \frac{1}{h_u}} = 834,4 W / m^2$$

q = Varmestrøm	[W/m ²]
T _i = Temp. innside	[K]
T _u = Temp. utside	[K]
h _i = Varmeovegangstallet	[W/m ² K]
h _u = Varmeovegangstallet	[W/m ² K]
Δ x _n = Lengde	[m]
k _n = Varmeledningsevne	[W/mK]

5.1.6 Overflate areal av smelteovn

Smelteovnen som omtales er identisk med den som er vist på fremsiden og total arealet er beregnet ut i fra dens original tegninger.

Det totale arealet av gulv, vegger og tak er de beregnet til ca. 125 m²

5.2 Hvor blir det av energien vi tilfører

Vi kan ta for oss en tilfeldig charge og se hvordan energitransporten fordeler seg, og vi bruker tall fra en virkelig charge :

- total tid fra skrap er fullt på ovn og døren lukkes til den er klar til overføring, settes til 9 t
- totalt gassforbruk $1505 \text{ Nm}^3 \approx 1500 \text{ Nm}^3$
- mengde skrap metall ca. 15,8 tonn
- mengde flyt metall 12,2 tonn
- setter omgivelses temp til 20°C
- temp. på flyt metall antas 850°C
- benytter middel verdier for cpflyt og cpfast

Brennverdien for naturgass er beregnet til $37,509 \text{ MJ/Nm}^3$

Formler for å regne ut energi som går med i prosessen :

Oppvarmingsfasen :

$$q = c_p \cdot m \cdot \Delta t$$

q = energi	[J]
c_p = spesifikk varmekapasitet	[J/KgK]
m = masse	[Kg]
Δt = temperatur	[K]

Smeltefasen :

$$q = C \cdot m$$

q = energi	[J]
C = spesifikk smeltevarme	[J/Kg]
m = masse	[Kg]

$C_p = 1080 \text{ J/KgK}$ og

$C = 395000 \text{ J/Kg}$

er hentet fra Evans 1995.

Nødvendig energi behov for oppvarming, smelting og oppvarming

$$Q_{\text{oppvarming}} = c_p \cdot m \cdot \Delta t = 1080 \cdot 15800 \cdot 640 = 10921 \text{ MJ}$$

$$Q_{\text{smelte}} = C \cdot m = 395000 \cdot 15800 = 6241 \text{ MJ}$$

$$Q_{\text{oppvarming}} = c_p \cdot m \cdot \Delta t = 1080 \cdot 15800 \cdot 90 = 1536 \text{ MJ}$$

Total nødvendig energi blir da 18698 MJ

Tilført energi fra flyt metall utgjør ca. 9 % av det nødvendige behovet

$$q_{\text{flyt}} = c_{p\text{flyt}} \cdot m \cdot \Delta t = 1080 \cdot 12200 \cdot 100 = 1318 \text{ MJ}$$

Energi som må tilføres fra brenner er ca. 91 % av det nødvendige behovet

$$18698 - 1318 = \underline{17380 \text{ MJ}}$$

5.2.1 Virkningsgrad ovn

Finner ovnens virkningsgrad ved å bruke ligning 8.

$$\eta = \frac{17380 \text{ MJ}}{37,509 \text{ MJ} / \text{Nm}^3 \cdot 1500 \text{ Nm}^3} \cdot 100\% = \underline{30,9\%}$$

5.2.2 Tap som røykgass

Finner tapene ved å benytte ligning 9.

Energien i røykgassen er funnet til = $20,33 \text{ MJ} / \text{Nm}^3_b$

$$Tap_{\text{røkgass}} = \frac{20,33 \text{ MJ} / \text{Nm}^3_b}{37,509 \text{ MJ} / \text{Nm}^3} \cdot 100\% = \underline{54,2\%}$$

5.2.3 Tap gjennom ovnsforing

Varmestrøm gjennom vegg

$$Q = q \cdot A = 834,4 \text{ W/m}^2 \cdot 125 \text{ m}^2 = 104300 \text{ W} = 3379,32 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{energi tap i hele ovnsforingen} && [\text{J}] \\
 q &= \text{varmestrøm i foring (fra kap 5.1.3)} && [\text{J/m}^2] \\
 A &= \text{areal av hele ovn (fra kap 5.1.4)} && [\text{m}^2]
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap}_{\text{foring}} = \frac{4135,89 \text{ MJ}}{37,509 \text{ MJ / Nm}^3 \cdot 1500 \text{ Nm}^3} \cdot 100\% = \underline{6,0\%}$$

5.2.4 Fordeling av tilført energi

Effektiv smelte energi	30,9 %
Tap røykgass	54,2 %
Tap ovnsforing	6,0 %
Andre	8,9 %
Sum	100 %

Andre tap som utgjør 9,5 % kan skyldes :

- tap ved åpen luke, port (under slagging, fylling, andre hendelser)
- lekkasje gjennom luke, port da disse aldri er helt tette
- oppvarming av slagg som fjernes
- feil i avlesningsverdier
- feil i antagelser og beregninger

5.3 Best praksis

Etter samtaler med både Hydro Holmestrand og Støperi KIII ved Hydro Karmøy som begge har god kompetanse på drift av støperi ovner, viste det seg at de hadde gjort en del forsøk i avdelingene sine.

Disse forsøkene gikk mest på de daglige rutinene og når/hvordan disse burde utføres for å kostnadseffektivisere driften. Det som er gjort her er at man har forsøkt slagging ved ulike temperaturer og registrert forandringer i gassforbruket som følge av dette.

Dette er forsøk som bør utføres over en lengre periode for å tydelig kunne fastslå resultater. Resultatet av forsøkene deres var at den mest fornuftige slaggetemperaturen var 680°C. De hadde ikke noe spesifikt tall på hvor mye dette gav, men uansett ”alle monner drar”.

De hadde også prøvd å skyve slagget inn i ovnen og skape en ”ren” overflate like etter at skrapet var ned smeltet og badoverflaten var slett, dette for å redusere den isolerende effekten slagget har.

De var også blitt flinkere å passe på at porter og luker ikke stod unødige lenge åpne etter levering av flytmetall og ved slagging.

5.4 Referanse logging

Referanse loggingen består av 7 enkelt forsøk og gir oss disse snitt verdiene :

	Referanse
Forbruk i m ³ /tonn	87,95 m ³ /tonn
Andel kaldt metall	52,73 %
Ingot andel	20,50 %
Intern andel	42,30 %
T-bar andel	37,20 %

Forbruket er angitt i antall Nm³ pr. tonn kaldt metall

En detalj oversikt over innhold og data fra hvert enkelt forsøk finnes i [vedlegg 1](#)

Diagrammer fra referansene i [vedlegg 5-11](#)

5.5 Brenner 2,2 MW

Forsøkene med brenner 2 består av 3 enkelt forsøk og gir oss disse snittverdiene :

	Br. 2,2 MW
Forbruk i m ³ /tonn	83,97 m ³ /tonn
Andel kaldt metall	55,43 %
Ingot andel	45,00 %
Intern andel	32,00 %
T-bar andel	23,00 %

Forbruket er angitt i antall Nm³ pr. tonn kaldt metall

En detalj oversikt over innhold og data fra hvert enkelt forsøk finnes i [vedlegg 2](#)

Diagrammer fra referansene i [vedlegg 12-13](#) (feil med temp. element gjorde at temp kurven ikke kunne logges til forsøket 24-25.03.02)

5.6 Brenner 1,1 MW

Forsøkene med brenner 1 består av 3 enkelt forsøk og gir oss disse snittverdiene :

	Br. 1 MW
Forbruk i m ³ /tonn	76,43 m ³ /tonn
Andel kaldt metall	50,56 %
Ingot andel	21,60 %
Intern andel	69,00 %
T-bar andel	9,30 %

Forbruket er angitt i antall Nm³ pr. tonn kaldt metall

En detalj oversikt over innhold og data fra hvert enkelt forsøk finnes i [vedlegg 3](#)

Diagrammer fra referansene i [vedlegg 14-15](#)

5.7 Manuell styring

Forsøkene med brenner 1 består av 3 enkelt forsøk

	Man. Styring 1	Man. Styring 2	Man. Styring 3
Forbruk i m ³ /tonn	78,75 m ³ /tonn	96,9 m ³ /tonn	79,90 m ³ /tonn
Andel kaldt metall	56,84 %	57,44 %	58,76 %
Ingot andel	29,90 %	5,32 %	9,65 %
Intern andel	70,10 %	64,3 %	40,71 %
T-bar andel	0 %	30,40 %	49,64 %

Forbruket er angitt i antall Nm³ pr. tonn kaldt metall

En detalj oversikt over innhold og data fra hvert enkelt forsøk finnes i [vedlegg 4](#)

Diagrammer fra referansene i [vedlegg 16-18](#)

6 DISKUSJON/KONKLUSJON

6.1 Referanse

Resultatene fra disse loggingene ble først og fremst analysert for å finne et reelt smelteforbruk å sammenligne oss mot, og for å se om disse kunne være relevante nok i forhold til forbruket over lengre perioder. Etter å ha gått tilbake og sjekket forbruket gjennom hele desember fikk vi et snitt på 88,06 m³/tonn, dette stemmer bra med resultatet fra referanseloggingen vår, og dermed sier vi at resultatene fra relativt få forsøk gir et ganske nøyaktig bilde av gassforbruket.

6.2 Skraptype VS gassforbruk

Et annet område som ble klarlagt var innvirkningen av skrap type/utforming og dens innvirkning på energibehovet. Ved nærmere studie av tre charger (merket med rød skrift i vedlegg 1) hvor hovedvekten av metallet var av en type skrap, kunne vi ikke uventet se at ingot krever klart minst energi. Internskrapet krever mest og t-bar ligger like bak. Dette skyldes nok forskjellen i overflateareal pr. tonn skrap.

Ser vi i forhold til gjennomsnittschargen ligger forbruket ca. 10 % under snitt forbruket når hovedbestanddelen er ingot, mens ved intern og t-bar ligger en noen prosent over gjennomsnittsfbruket.

Dette er derfor veldig viktig å ta hensyn til under vurderingen av forbruket i de senere forsøkene sammen med hvor mye flyt metall som tilsettes.

Når det gjelder internskrapet har dette enda litt større forbruk enn t-bar, men dette kan variere veldig med tanke på utformingen, det er når det er store kveiler som smeltes om at forbruket stiger mest. Annet internskrap som kommer fra kaldvalsingen i form av kapp smelter relativt lett. Dette er så og si umulig å registrere og ta hensyn til i denne rapporten siden alt går under samme kode; internskrap.

Grunnen til dette er nok overflate arealet pr. tonn metall, jo større overflate vi har desto større er kontaktflaten med det varme fluidet. Det vil si at den totale varmestrømmen inn i det kalde metallet øker.

6.3 Brenner 2,2 MW

Ved første øye kast på resultatene fra dette forsøket kan man bli lurt. Forbruket ligger her på 84 m³/tonn en reduksjon på 4,5%. Det største avviket fra referansen er at ingot andelen er steget til 45%, noe som svært fordelaktig med tanke på smelteforbruket. Dette forsøket har 2-3 % høyere innhold av kaldt metall, dette vil dra forbruket litt opp.

Hadde forholdene vært helt like ville trolig forbruket vært noe høyere enn referanse forsøket.

En annen observasjon som ble gjort i disse forsøkene var reaksjonen i skorsteinstemp. da denne steg jevnlig når brenneren var inne spesielt etter noen timers drift. Resultatet ble at temperaturen i skorsteinen ble så høy at brenneren ble kuttet for så å starte opp igjen litt etterpå, dette fordi det er lagt inn en forrigling mot for høy skorsteinstemp. slik at en ikke skal kunne smelte ned "hele ovnen". Dette er et tydelig tegn på at det tilføres for mye energi og att opptaksevnen reduseres ettersom metall overflaten blir mindre utover i smelteperioden.

6.4 Brenner 1,1 MW

Gassforbruket i disse forsøkene ble redusert til 76,4 m³/tonn en reduksjon på 13,2 %. Sammensetningen av kaldt metall er ganske lik i disse forsøkene som i referansen, ingot andelen er 1 % høyere, mens det er ca 2 % mindre flyt metall på disse chargene. Smelte tiden øket derimot med opptil 4 timer noe som kan gjøre at det kan bli noe knapp tid før overføring til støpeovn er nødvendig.

En registrert også en mye jevnere skorsteinstemperatur noe som kan tyde på at den tilførte energien står bedre i forhold til energi opptaksevnen til metallet

6.5 Manuell styring

Med de manuelle forsøkene ville vi prøve å redusere litt av smeltetiden i forhold til forsøket med den minste brenneren. Vi fikk altså et forbruk på rundt 79 m³/tonn dette er en reduksjon på vel 10 %.

Av det første manuelle forsøket ser vi at ingot andelen er på ca. 30 % dette kan være årsaken til at smeltetiden ble 8,5 timer. Det siste forsøket hadde ca. 10 % ingot og smeltetiden 12,5 timer ellers ser vi at det er en del mindre flytmetall i disse forsøkene dette er med på å dra opp både forbruk og smeltetid. En kan dermed si at resultatene fra forsøk 1 og 3 var ganske positive og vi bør kunne satse på å komme under 80 m³/tonn eller en reduksjon på 10 %.

6.6 Skorsteinstemp,[skt.]

Under normal drift er begge brennerne inne i starten av chargseringstiden, og studerer man skt. for disse chargene vil en se at skt. stiger etter som tiden løper og til slutt når denne en gitt grenseverdi slik at brennerne slås ut en kort stund. Dette tyder på at metallet ikke greier å ta opp energien fort nok og mer varme forsvinner ut over taket.

Det samme skjer litt ut i smelte perioden når brenner 2 er innkoblet. Årsaken kan sannsynligvis skyldes at slagget har dannet en ”isolerende belegg” på bad overflaten.

Forsøkene med en brenner innkoblet viser en mindre stigning på skt., noe som tyder på en bedre utnyttelse av energitilførselen.

Dette tyder på at det er bortkastet å la begge brennerne være i drift samtidig.

Det er mulig at man med en brenner ett sted mellom 2,2 og 1,1 MW kunne kjørt alene og allikevel greid dette på samme tid som bare 2,2 MW brenneren greide.

6.7 Ovnsatmosfæren

Under de tre siste forsøkene (br. 2, br. 1, manuell styring) kunne en registrere en mye jevnere ovnsatmosfære med tanke på variasjoner i ovnstrykk, skorsteinstemp enn under referanse forsøkene. Disse forholdene er trolig også med på å øke smelteovnsens virkningsgrad.

Fylle luke for overføring av flyt metall ble i flere tilfeller registrert stående åpen etter at overføringen var ferdig. Dette gjør at trykket i ovnen forsvinner, mye kald luft trekker inn og mye av energien fra brennerne benyttes i denne perioden til oppvarming av overflødig kald luft.

6.8 Ovns rutiner

Det ble ikke viet noe tid til å sjekke virkning av forandring i ovnsrutinene, men her kan vi basere oss på de registreringene som er henvist til under kapittelet 5.3 om best praksis, dvs. slagge temperatur bør senkes til 680 °C.

Videre kunne det vært spennende å se på virkningen av slagging og omrøring i smelten i slutten av smeltefasen. Det er mulig at denne tvungne konveksjonen kan ha positiv effekt på prosessens forbruk av gass.

6.9 Tidspunkt for tilsats av flyt metall

Når det gjelder tidspunktet for når det er mest optimalt å tilsette flytmetallet burde en aller helst hatt helt identiske charger i utgangspunktet, for så å sette flyt på ved ulike tidspunkter. Dette er vanskelig å gjøre i praksis, en har derfor valgt å heller se på de forsøkene en allerede har kjørt og prøve å lese eventuelle trender i gassforbruket med hensyn på flyt tilsats tidspunktet.

Hvis en sammenligner charge nr. 94526 (vedlegg 6) og 94549 (vedlegg 7) og detaljene for disse i vedlegg 1 kan vi se at smelte forbruket er relativt likt 81,9 m³/tonn og 82,8 m³/tonn.

Kopi fra vedlegg 1

leg	105025	105025
Dato	180202	170202
Ch.nr	94549	94526
metall type		
sump	1000	1000
intern	6202	3618
t-bar	4690	12440
ingot	1932	2938
flyt	18460	12820
sum skrap	12824	18996
sum	32284	32816
total forb	1076	1655
smelte forb	1062	1556
Forb. m ³ /tonn	82,813	81,911

I den andre chargen er flytmetallet kommet etter at smelten er på set. pkt., mens i den første er flyten kommet etter ca. 3,5 time.

Når det gjelder skrapmengden er det betydelig forskjell, i den andre chargen er det over 6 tonn mer kaldt metall og ca. 5,5 tonn mindre flytmetall.

Dette betyr at energien som tilføres gjennom brennerne alene har smeltet ned mye mer skrap uten hjelp fra flytmetallet til ca. samme forbruksmengde som den første chargen.

Resultatet viser tydelig at flytmetallet med fordel bør tilsettes mot slutten av smeltetiden.

6.10 Forslag til ny funksjonsbeskrivelse

Først må vi ta utgangspunkt i den daglige driften og slik den er når den er optimal. Det vi er interessert i er hvor lang tid vi har på oss før chargen må være klar til å overføres til støpeovnen. Under bra produksjon kan støpemaskinen forbruke 2,3 tonn/time. Dersom vi lager charger på 30 tonn har vi 13 timer på å få smelten klar.

Vi kan da teoretisk bare kjøre på den minste brenneren som vil bruke ca 12 timer og ha et lavt forbruk, men er det svært lite slingringsmonn hvis vi skulle få en charge som var ”tung” og smelte ned eller mindre flyt enn vanlig, da ville vi fått problemer med tiden.

En skal også ha tid til å ta en metallprøve som skal analyseres og godkjennes før smelten kan overføres.

For å redusere tiden fra forsøket med kun 1,1 MW brenner kjørte vi i de manuelle forsøkene den store brenneren en viss tid i starten for så og veksle til den minste og la denne gjøre resten av jobben.

Som nevnt tidligere er overflatearealet som blir eksponert en viktig faktor, og i starten før flyt metallet tilsettes er dette størst og det greier da også å ta opp mer av den tilførte energien.

Det har vist seg i forsøkene at når man tvangskjører begge brennerne når metall/bad overflaten er liten stiger skorsteinstemperaturen til den når en gitt temp. hvor den slår ut brennerne. Dette er et klart signal på at vi får en dårligere virkningsgrad på ovnen desto tidligere flytmetallet tilsettes og det eksponerte arealet reduseres.

Dette er utgangspunktet for funksjonsbeskrivelsen som ganske enkelt blir :

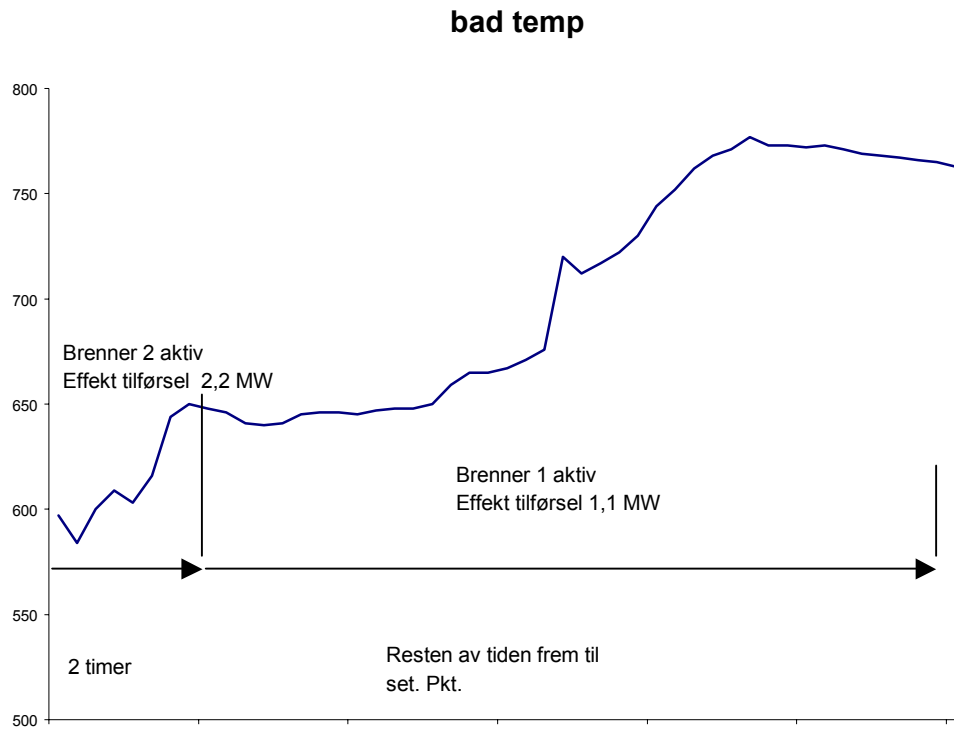
- ✓ 2,2 MW brenner med fullt pådrag i 2 timer.
- ✓ Etter 2 timer 1,1 MW i den resterende tiden.

Illustrert i grafen under.

For å programmere denne i PLS- styringen kan en eksempelvis benytte typiske forandringer i trendkurvene for å detektere hvor i smelte område en befinner seg. Starten kan detekteres ved temperaturfallet fra ca 740°C til rundt 500-600°C i løpet av kort tid. Her må det forrigles mot skifte av temperaturelement som også fører til brått temp fall, men temp. faller da under 50°C og dette kan nyttes som kriterie.

Det er vanskelig å styre vekslingen etter temperatur forholdene siden det er lett og bli lurt av disse. F.eks. dersom flyt metallet kommer tidlig viser temperatur elementet flyt metallens temp. som er ureell inntil energiutvekslingen er ferdig og temp. stabilisert seg mellom kaldt- og flytmetall.

6.10.1 Grafisk forslag til funksjonsbeskrivelse



6.11 Besparelse

Ved å drive brennerne på denne måten vil en klart oppnå reduksjon i kostnaden som går med til smelting av aluminium. Det kan være vanskelig å si nøyaktig hva besparelsen vil bli i kroner og øre, til det er driften altfor varierende og man trenger mange flere charger med denne styrings modellen for å få en sikker verdi på kostnadsreduksjonen.

Resultatene fra forsøkene viser imidlertid at det ikke skal være umulig med en reduksjon på rundt 10 % for forsøks smelteovnen (SM05).

Ser en da disse prosentene i forhold til årskostnaden som ble nevnt innledningsvis vil det gi en reduksjon på 150.000 – 200.000,- for denne smelteovnen.

Begynner en i tillegg å slagge rundt 680°C og passer på at lukene blir lukket umiddelbart etter flyt tilsats er det kanskje enda mer å hente.

Jeg kan ikke med sikkerhet si at denne reduksjonen er mulig for resterende smelteovner, men noen enkle forsøk vil gi et overslag på potensiale for disse også.

7 FORSLAG TIL VIDEREFØRING AV PROSJEKTET

7.1 Alternativ 1

Et annet forsøk som hadde vært spennende, men som ikke er mulig uten å omprogrammere PLS-styringen :

Tanken bak er å redusere den totale tiden brenner 2 (2,2 MW) er innkoblet. Programmet kjøres på tilsvarende måte som den midterste delen av dagens program, dvs vekselfyring. Forskjellen er at inne tiden for brenner 2 er kortet ned til for eksempel 10-15 min mens tiden for brenner 1 økes til 45-60 min. dette kjøres gjennom hele prosessen frem til for eksempel 670°C hvor brenner 1 kjører alene.

7.2 Alternativ 2

Når vi ser på de resultatene vi har fra forsøkene og på hvor tydelige signaler de forskjellige forandringene utgjør med tanke på gass forbruket, kan vi tenke på hvordan man mest effektivt kan utnytte disse best mulig og samtidig.

La oss si at målet er å beholde tiden frem til set. pkt. lengst mulig og ha en holdetid på f.eks. 2 timer.

Ideen er da å lage en korreksjonsfaktor for hver av de tre skraptypene vi snakket om, slik at når en charge legges inn i MPS-systemet blir mengden fra de ulike skraptypene satt direkte opp mot sin korreksjonsfaktor.

Disse verdiene blir så koblet direkte mot styringsprogrammet for brennerne, programmet vil nå kunne lese om det har en ”tung” charge med mye intern og t-bar skrap eller lite flytmetall slik at det erfaringsmessig vil kreve mer energi for å holde tidsfristen. Eller om det er en lettere charge med mye ingot og flyt slik at det kan fyres ”roligere” og utnytte den tiden man har til disposisjon.

Man kunne også ha lagt inn eventuelle planlagte stopp som valeskift eller annet vedlikehold slik at man kunne unngå å holde metallet på sp i 20-30 timer slik som det av og til er pr. i dag.

På denne måten vil man kunne fyre på det mest optimale viset uansett forandringer i chargingene og allikevel holde ovnen klar til det nødvendige tidspunktet.

8 LITTERATUR

SYDGAS AS (1981) *Naturgas handbok*

Næss, Almar (1981) *Metalliske Materialer*, Tapir

Borman, Gary L., Kenneth W. Ragland (1998) *Combustion engineering*, MacGraw-Hill Companies.

Evans, James W (1995) *Light Metals 1995*, TMS

Saltveit, Arne (1992) *Ildfaste materialer*, Tapir

Holman, J.P (1992) *Heat transfer seventh edition*, MacGraw-Hill Companies.

Sonntag, Richard E., Van Wylen, Gordon J. (1990) *Introduction to*

THERMODYNAMICS classical and statistica third edition, JOHN WILEY & SONS.

Skjold, Johannes (1993) *Fyring med olje og gass i støperiovner*

Kaasa, S., Olsen, O., Pedersen, S.E. og Torsøe, K.(1992) *Teknisk formelsamling med tabeller*, Universitetsforlaget

**Referanse:
Styringsprogrammet kjøres som normalt**

	Snitt fra alle forsøkene	fordeling kaldt metall
ingot	3380	20,526791
intern	6960,1429	42,269052
t-bar	6126,1429	37,204157
flyt	13761,429	
tot forb	1448,1429	
sm forb	1369,4286	

Flyt tilsettes etter :	2,5 t	1 t	3,5 t	15 t	2,5 t
leg	105020	105025	105025	105025	105025
Dato	220202	210202	200202	190202	180202
Ch.nr	94655	94635	94596	94578	94549
metall type					
sump	1000	1000	1000	1000	1000
intern	2512	2334	12027	11911	6202
t-bar	0	11400	2899	0	4690
ingot	12960	1980	898	990	1932
flyt	12490	15560	12230	15630	18460
115264 sum skrap	15472	15714	15824	12901	12824
218594 sum	28962	32274	29054	29531	32284
10137 total forb	1349	1519	1561	1247	1076
9586 smelte forb	1222	1379	1503	1203	1062
Smelte forbruk m3/tonn	78,981386	87,756141	94,982305	93,248585	82,813475

u/flyt	87,945933 m3/tonn
m/flyt	46,373642 m3/tonn
u/flyt men kun smelteforbruk	83,165602 m3/tonn

Andel av kaldt metall 52,729718 %

Disse chargene viser klar sammenheng mellom type skrap og gassforbruk

kommentar : oppe til høyre på arket kan vi se en oversikt over hvordan skrapet fordeler seg mellom de ulike typene. Hvis vi går ut i fra denne skrap fordelingen som en referanse kan vi kommentere fordelingen for de andre forsøkene ut i fra dette

Bare brenner nr.2 i drift

	snitt	fordeling kaldt metall
ingot	7802,6667	45,079536
intern	5532,6667	31,964719
t-bar	3973,3333	22,955745
flyt	12923,667	
tot forb	1453,6667	
sm forb	1378	

leg	105025 til 23	105025 til 25	105025
Dato	220202	240202	240202
Ch.nr	94672	94712	94728
metall type			
sump	1000	1000	1000
intern	16598	0	0
t-bar	0	9720	2200
ingot	988	9540	12880
flyt	11420	11720	15631
51938 sum skrap	17598	19260	15080
93697 sum	30006	31980	31711
4361 total forb	1769	1487	1105
4134 smelte forb	1556	1473	1105
Smelte forbruk m3/tonn	88,419139	76,479751	73,275862
u/flyt		83,965497 m3/tonn	
m/flyt		46,543646 m3/tonn	
u/flyt men kun smelteforbruk		79,594902 m3/tonn	

Snittet i dette forsøket har mye høyere ingot verdi enn referansen
 Dette er med på å redusere gassforbruket betydelig og må tas med i totalvurderingen.
 Ved en skrap fordeling lik referansen kan man anta et snitt forbruk over 90 m3/tonn

Andel av kaldt metall 55,431871 %

Bare brenner 1 i drift 1,1 MW

	snitt	fordeling
ingot	3133,3333	kaldt metall 21,594303
intern	10025	69,090283
t-bar	1351,6667	9,3154147
flyt	13186	
tot forb	1109	
sm forb	1085,6667	

tidspunkt flyt tilsettes			
leg	120045	120045	105025
Dato	270202	40302	50302
Ch.nr	94797	94899	94938
metall type			
sump	1000	1000	1000
intern	11454	8237	10384
t-bar	3075	0	980
ingot	1000	6500	1900
flyt	12570	13668	13320
43530 sum skrap	15529	14737	13264
86088 sum	29099	29405	27584
3327 total forb	1300	1013	1014
3257 smelte forb	1230	1013	1014
Smelte forbruk m3/tonn	79,206646	68,738549	76,447527
fra total			
forbruk	u/flyt	76,430048	m3/tonn
	m/flyt	38,646501	m3/tonn
	u/flyt men kun smelteforbruk	74,821962	m3/tonn

Andel av kaldt metall 50,564539 %

Manuell styring av brennere

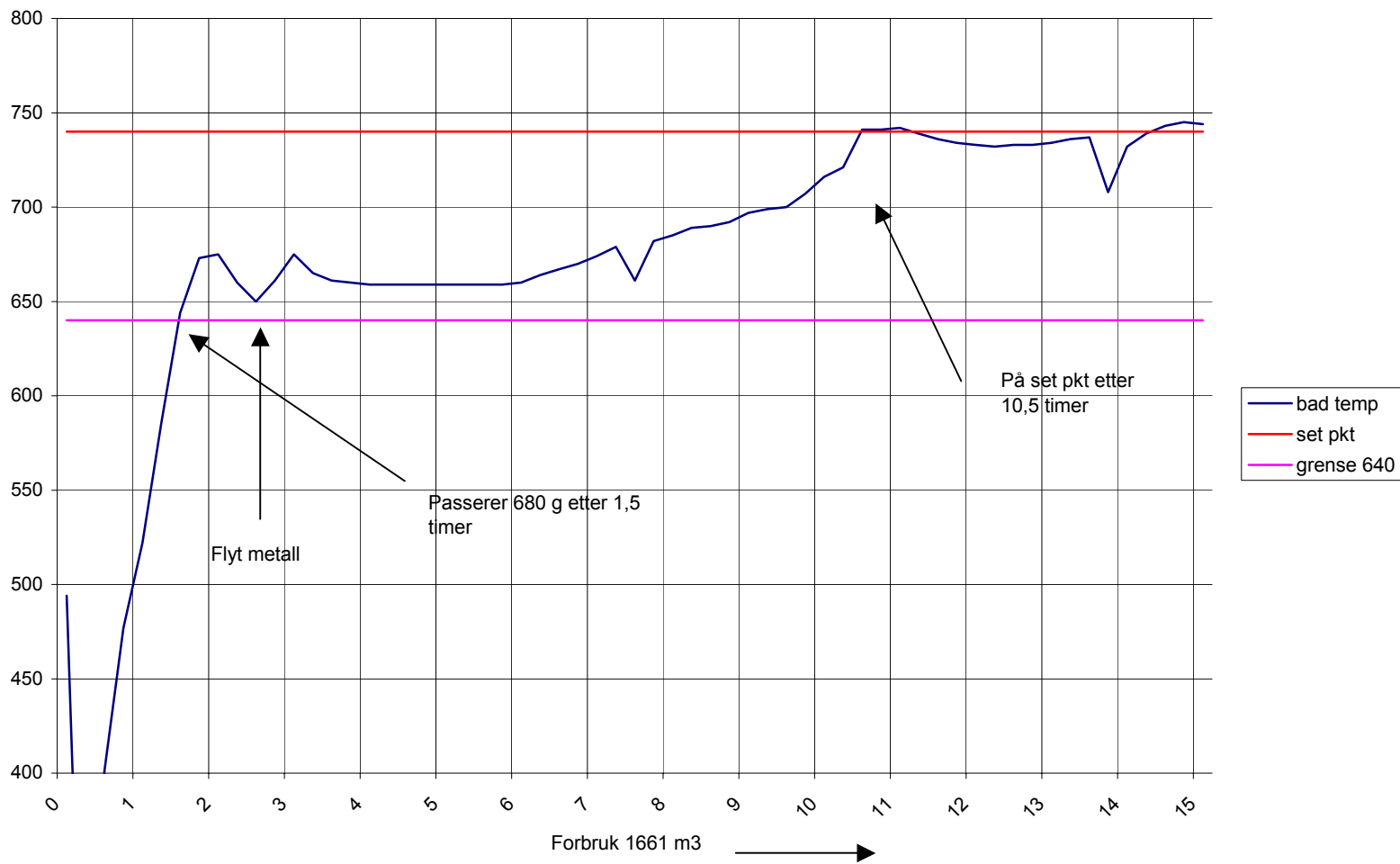
	snitt	fordeling
ingot	2996,6667	15,449124
intern	11295,333	58,232373
t-bar	5105	26,318503
flyt	13235,667	
tot forb	1642,6667	
sm forb	1500,3333	

	set.pkt. br. 1	8,5 t	10 t	12,5 t
	br. 2	5 t		4 t
leg		811111		
tidspunkt flyt tilsettes		7		
Dato		180302	80402	130402
Ch.nr		95312	95932	96064
metall type				
sump		1000	1000	1000
intern		14340	11414	8132
t-bar		0	5400	9915
ingot		6116	946	1928
flyt		14530	12157	13020
sum				
	58191 sum skrap	20456	17760	19975
	100898 sum	35986	30917	33995
	4928 total forb	1611	1721	1596
	4501 smelte forb	1348	1596	1557
m3/tonn	Forbruk :	78,7544	96,903153	79,899875
m3/tonn	Smelte forb	65,897536	89,864865	77,947434
Andel av kaldt metall		56,844328	57,444125	58,758641
ingot		29,898318	5,3265766	9,6520651
intern		70,101682	64,268018	40,710889
t-bar		0	30,405405	49,637046
Snitt:	u/flyt		84,686635 m3/tonn	
	m/flyt		48,841404 m3/tonn	
	u/flyt men kun smelteforbruk		77,348731 m3/tonn	

Andel av kaldt metall 57,673096 %

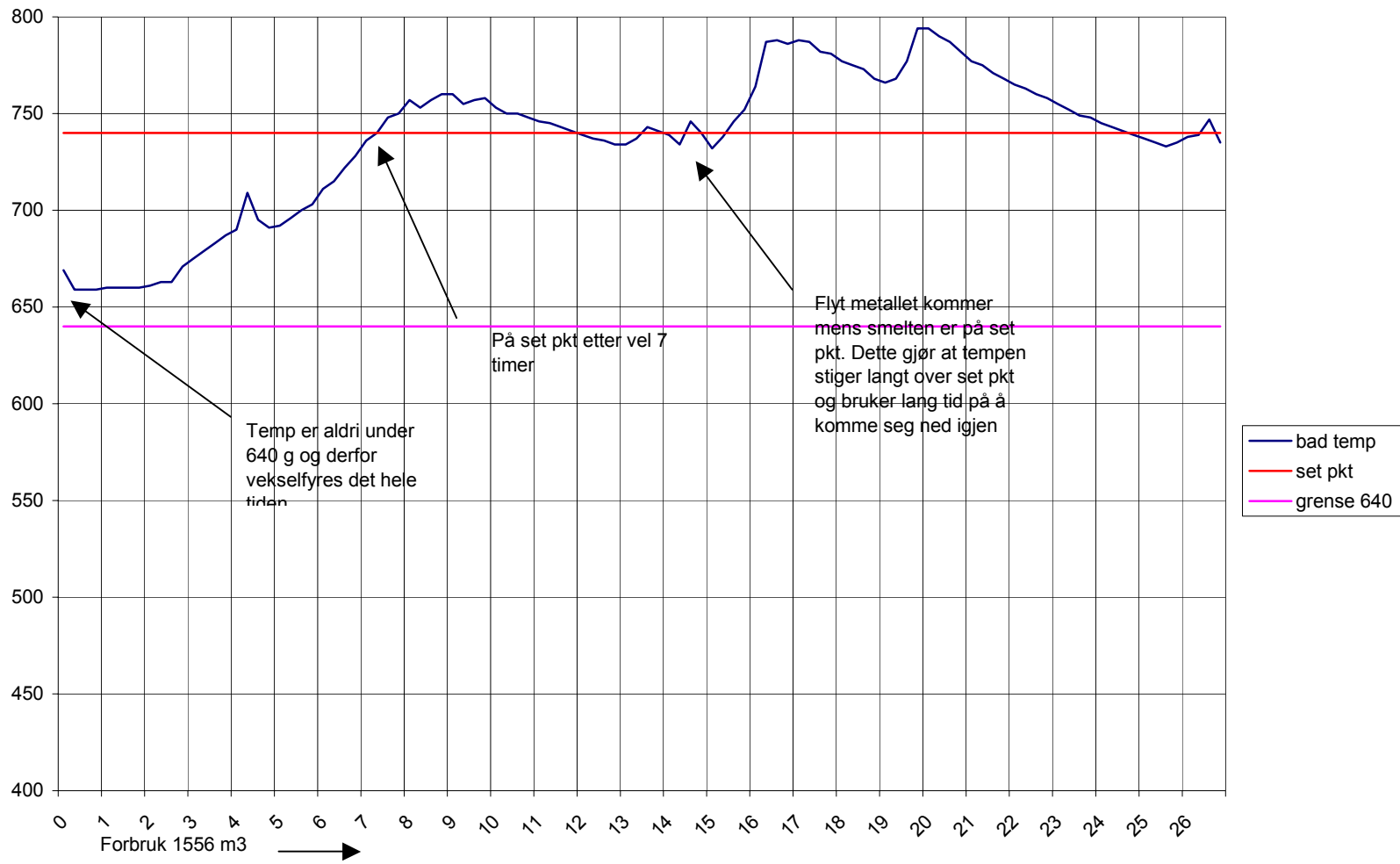
SM 05
160202
94490

Total gass forbruk 1730 m³
Snitt 1457 m³



SM 05
170202
94490

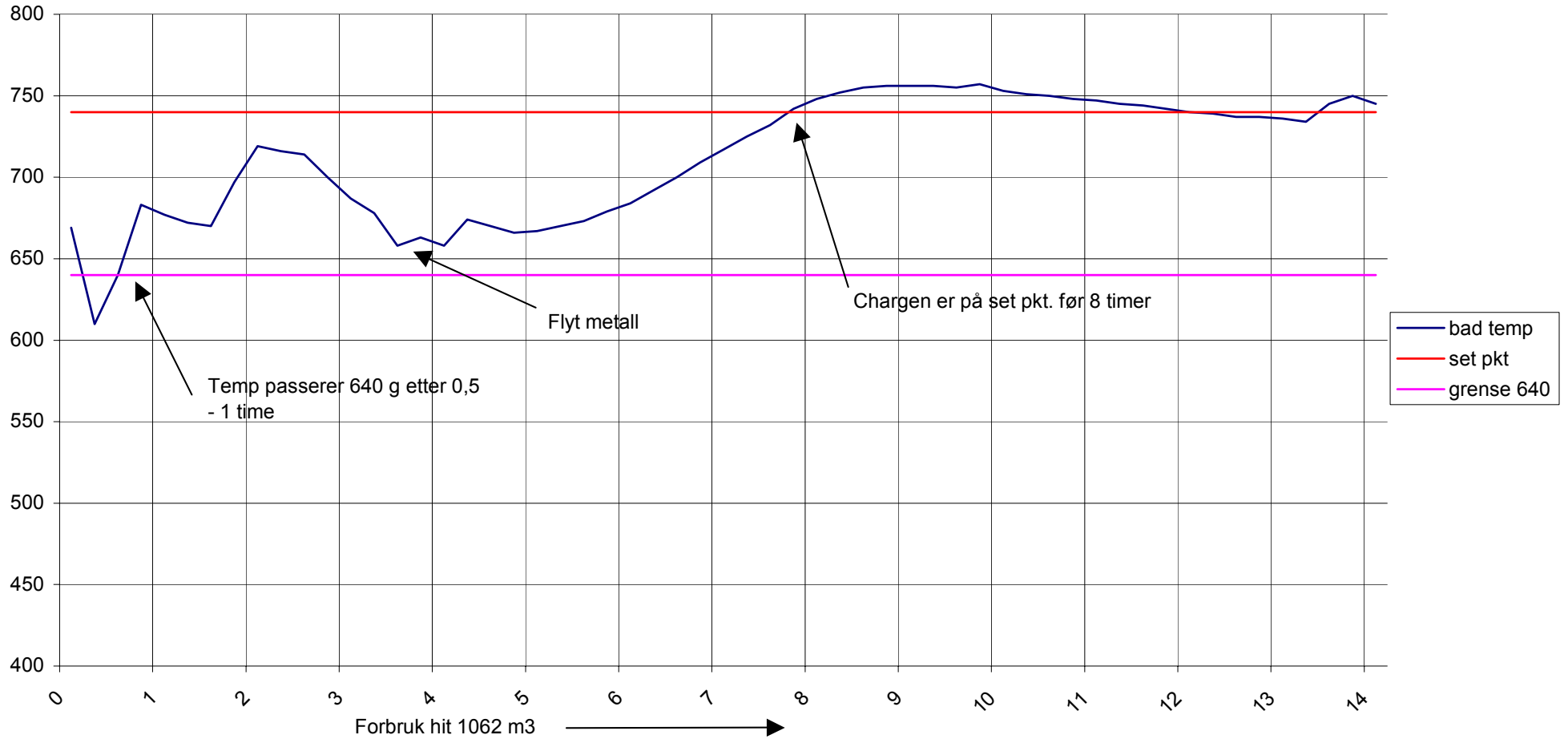
Totalt gass forbruk 1655
m3
Snitt 1457 m3

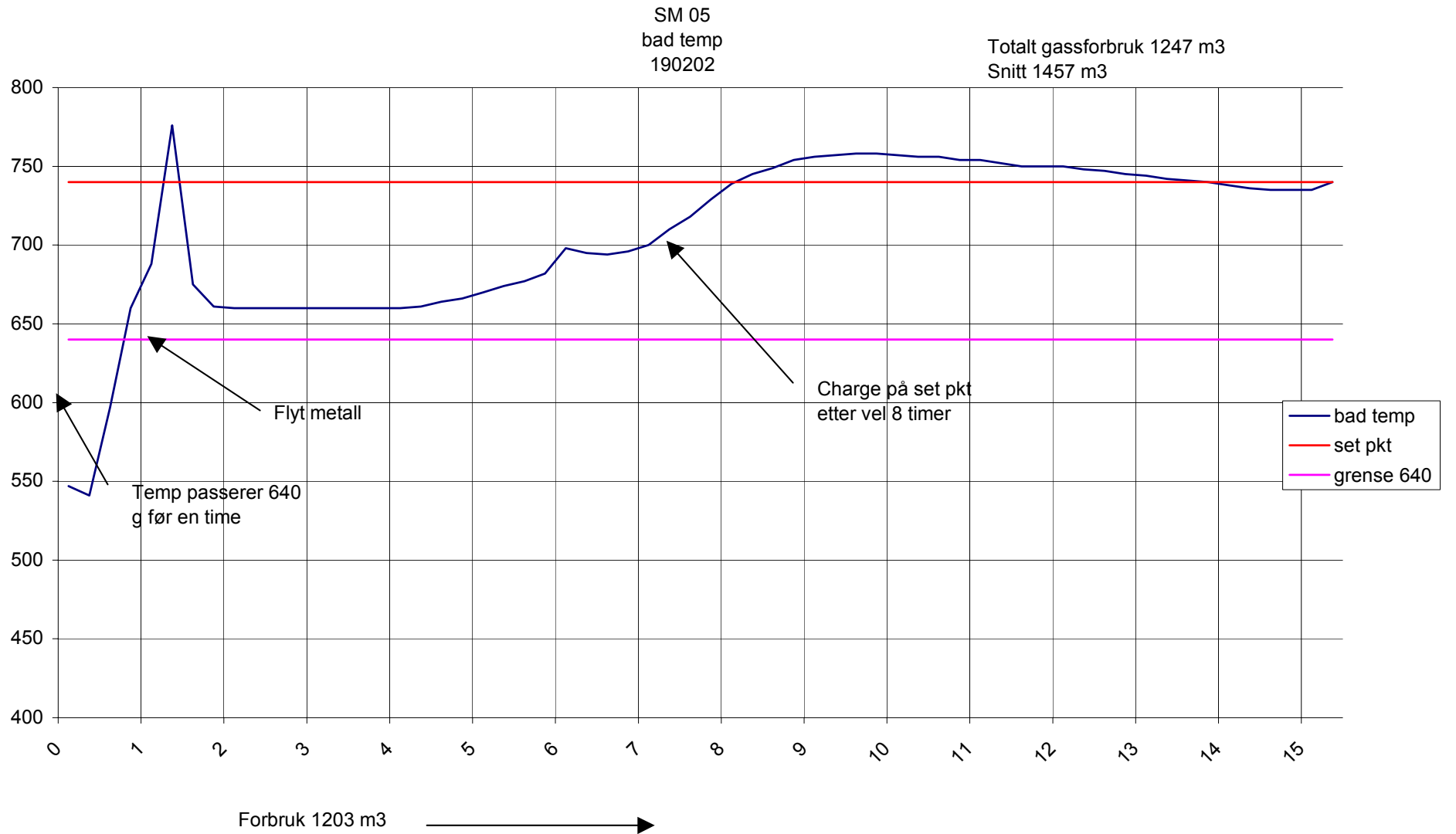


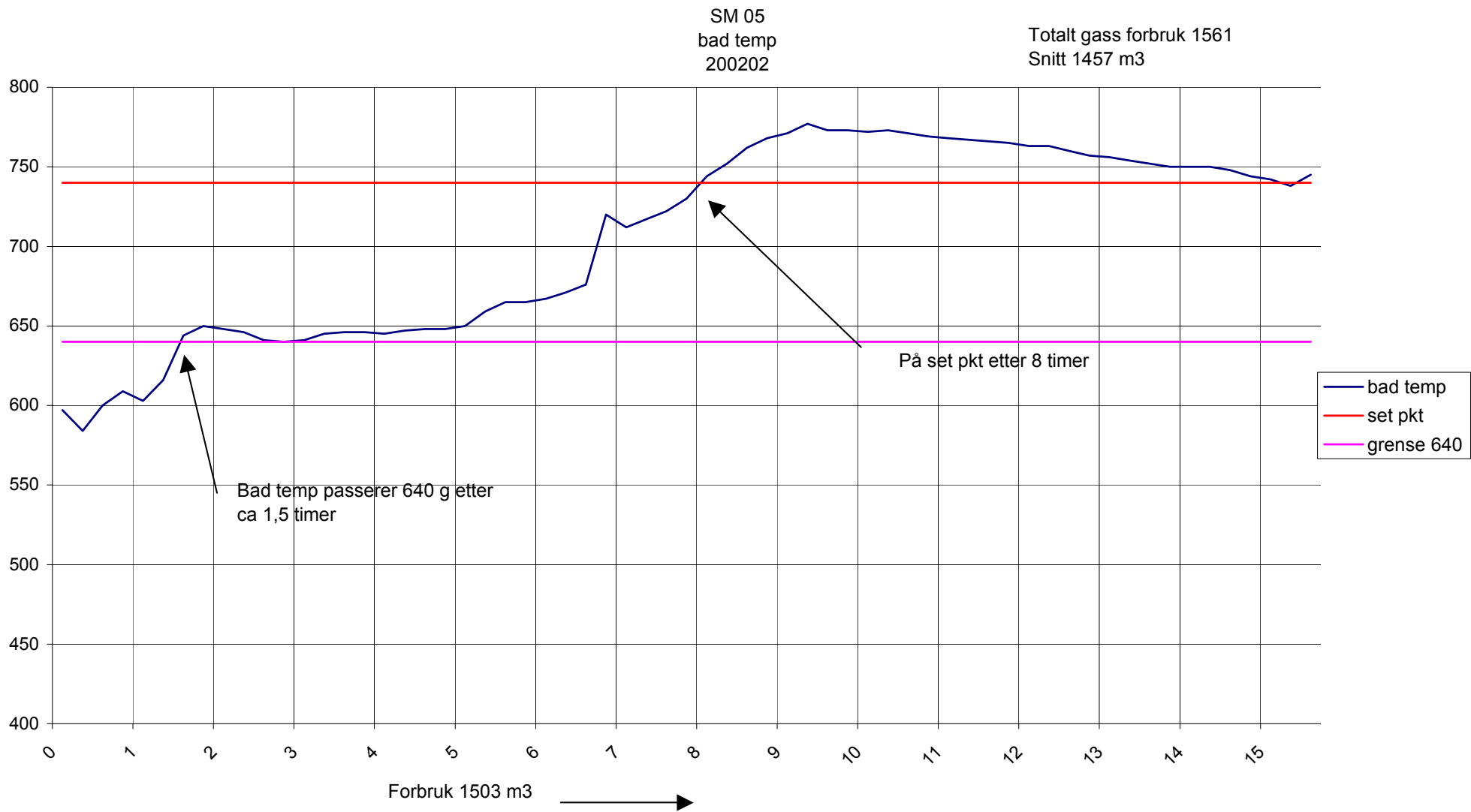
Vedlegg 6

SM 05
bad temp
180202

Totalt gass forbruk 1076 m3
Snitt 1457 m3

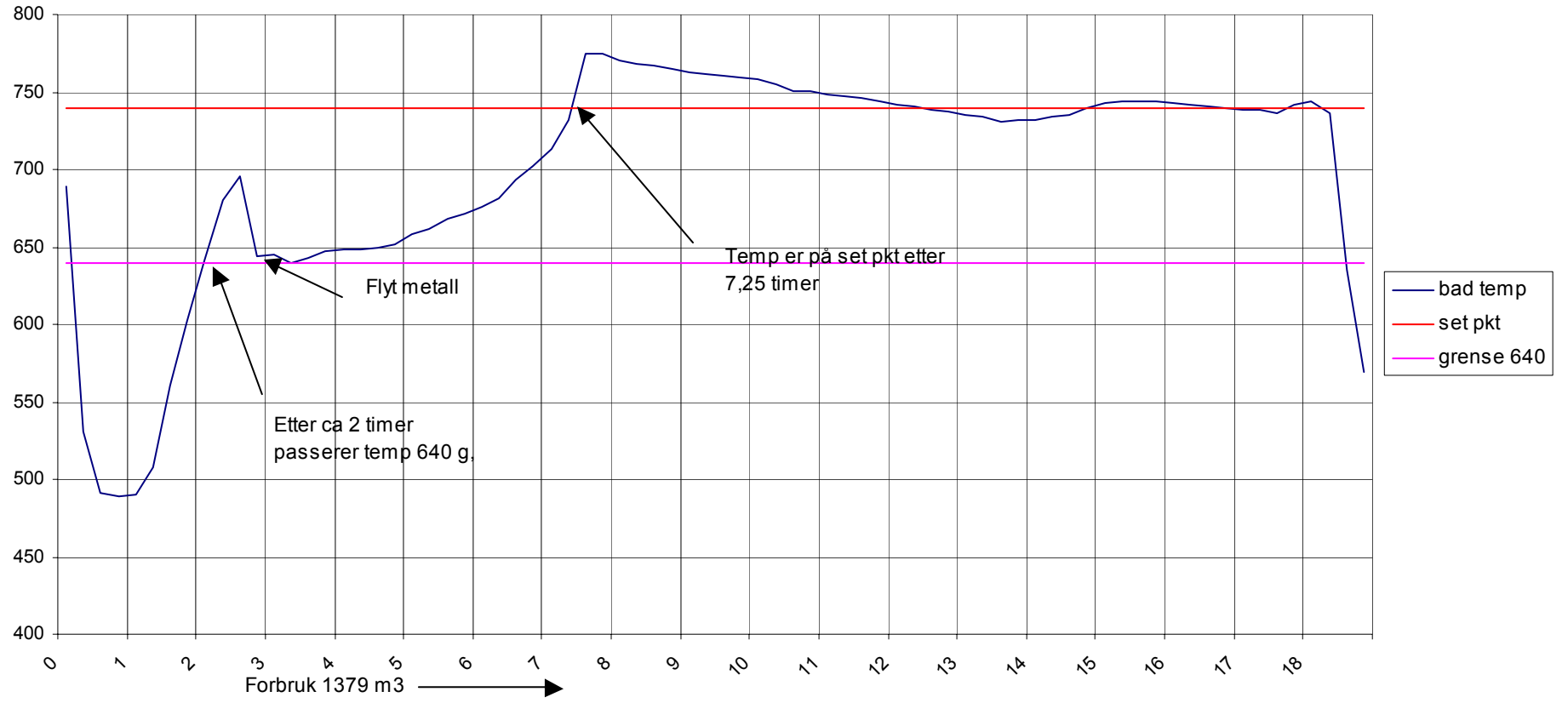






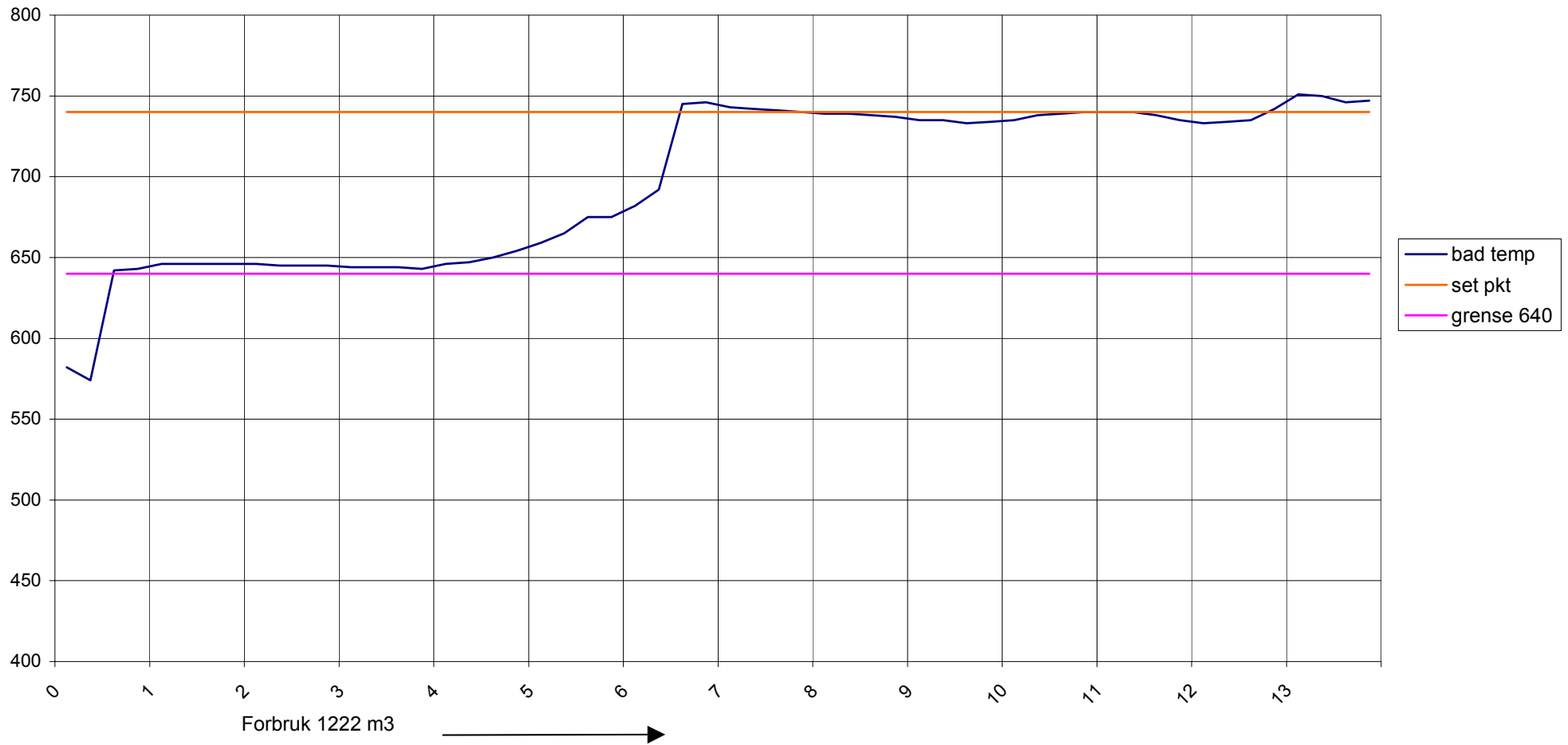
SM05
bad temp
210202

Totalt gass forbruk 1519 m3
Snitt 1457 m3



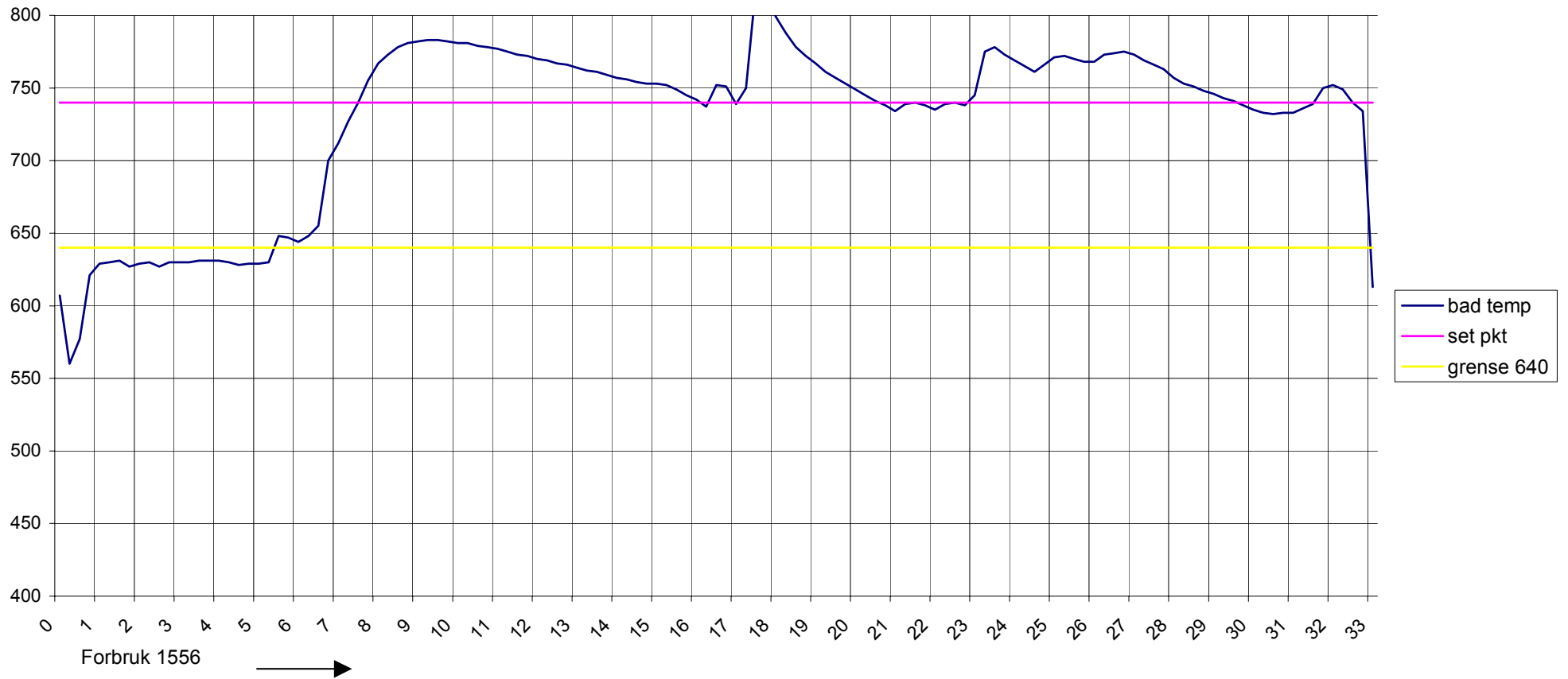
SM 05
220202
94672

Brenner 2



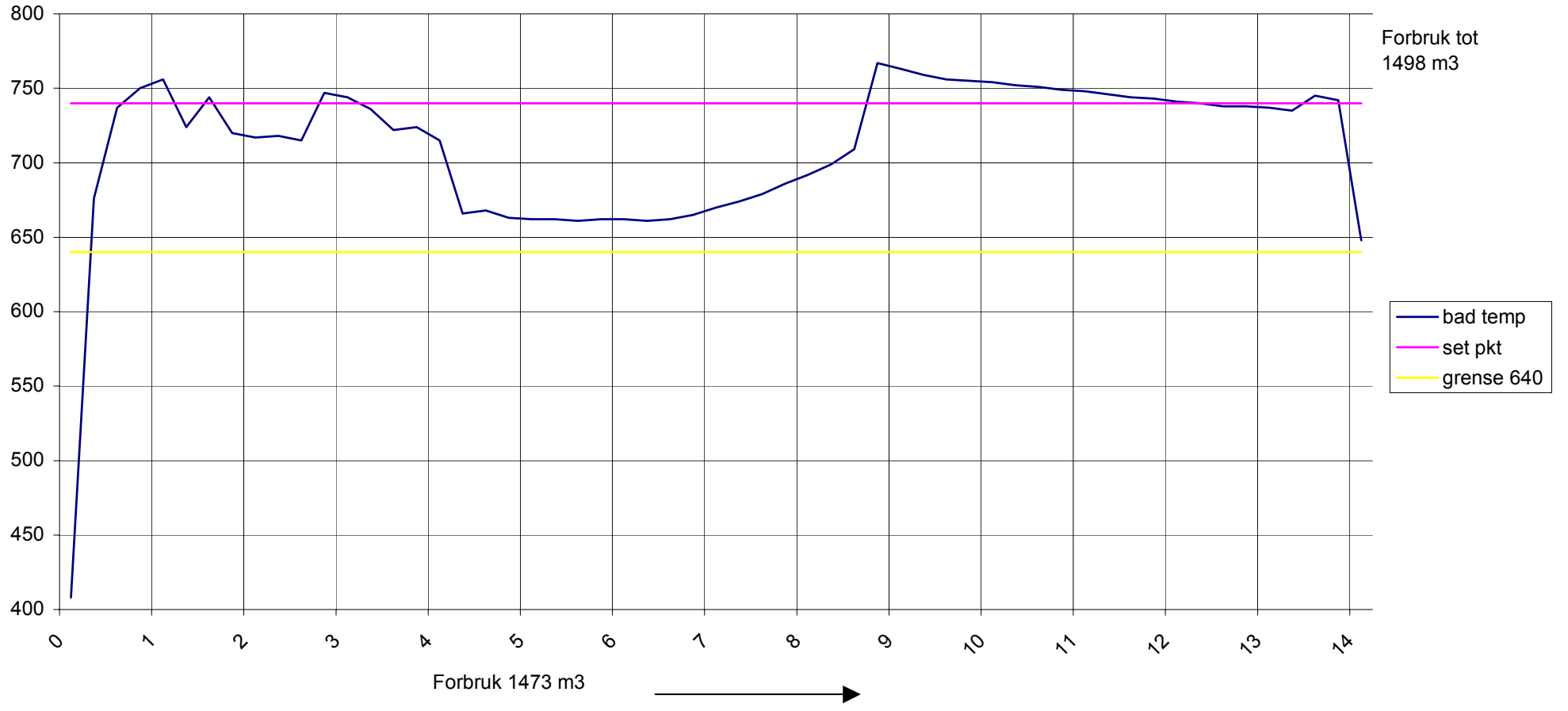
SM05
22-230202
94672

Brenner 2

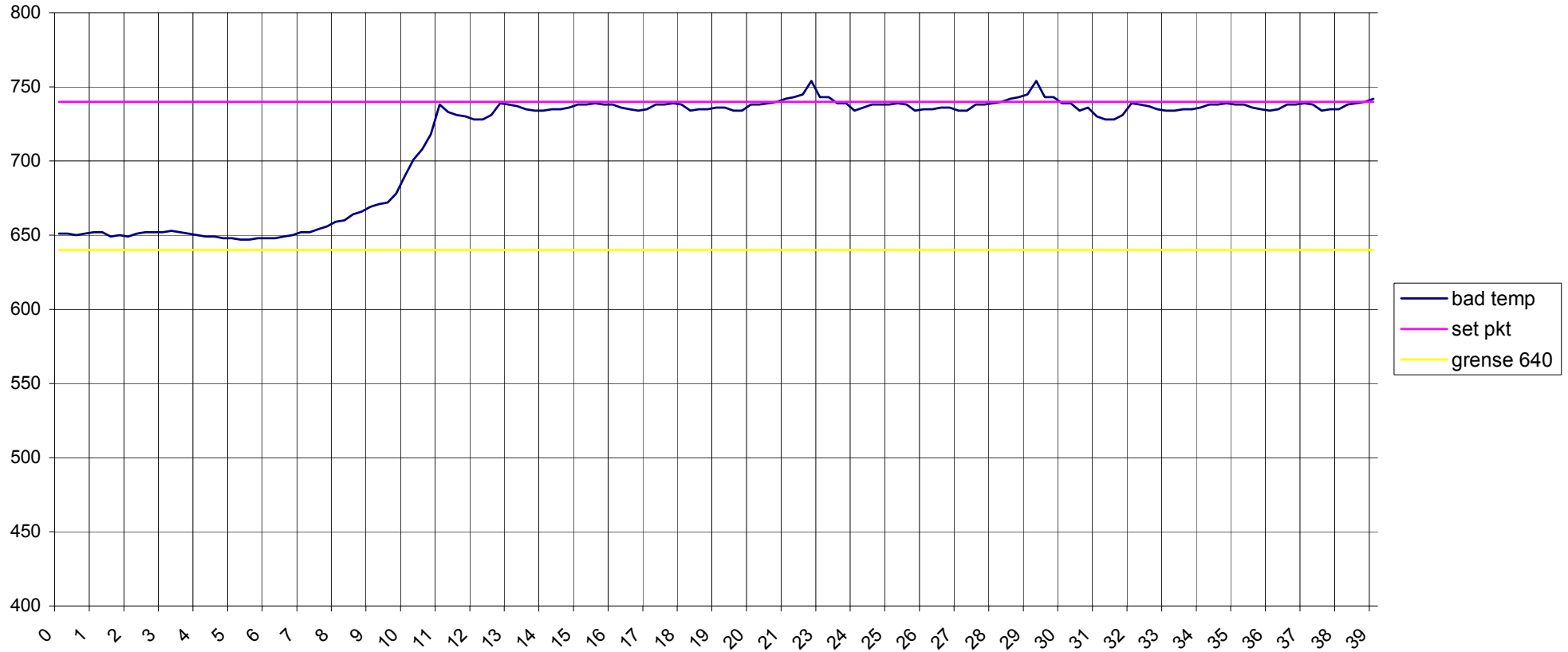


SM 05
240202
94712

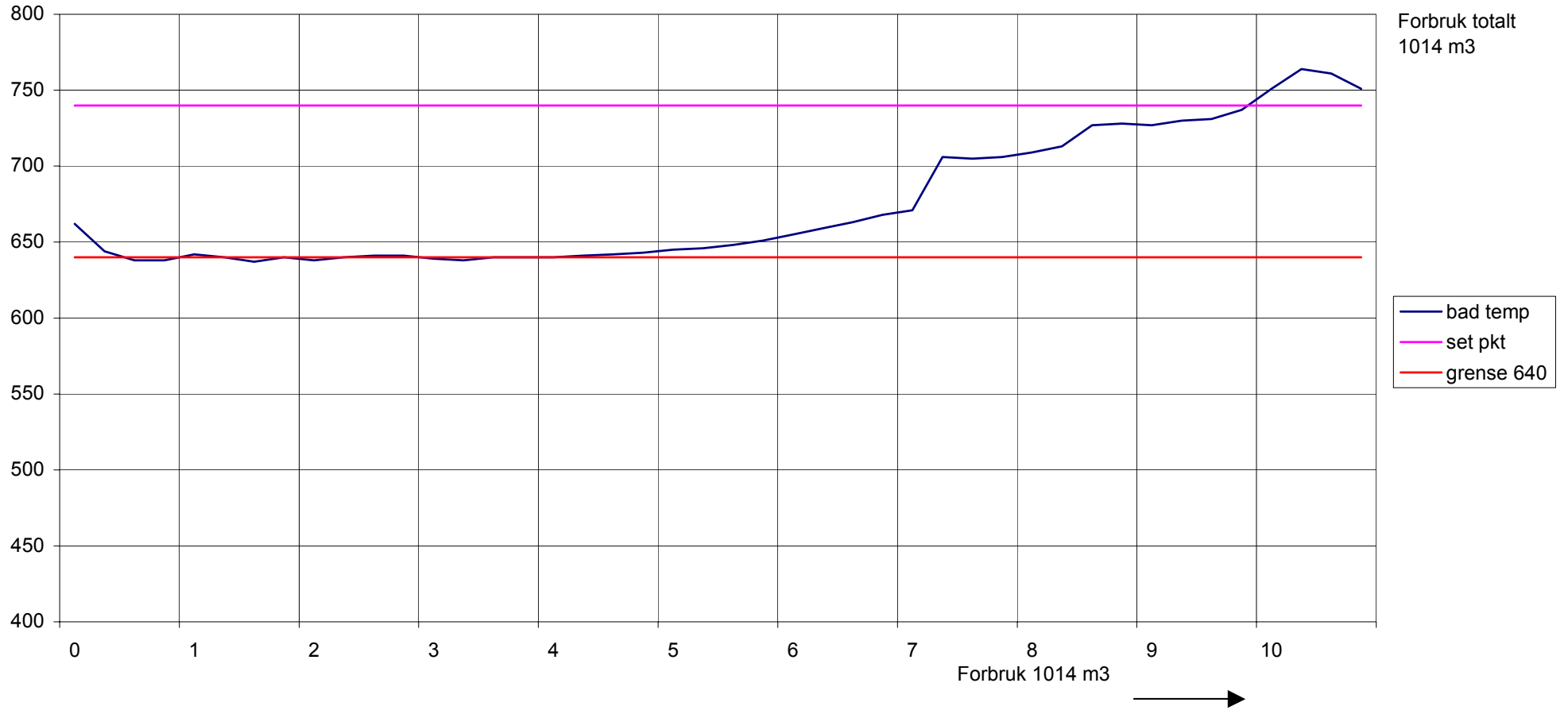
Brenner 2



SM 05
270202
94797

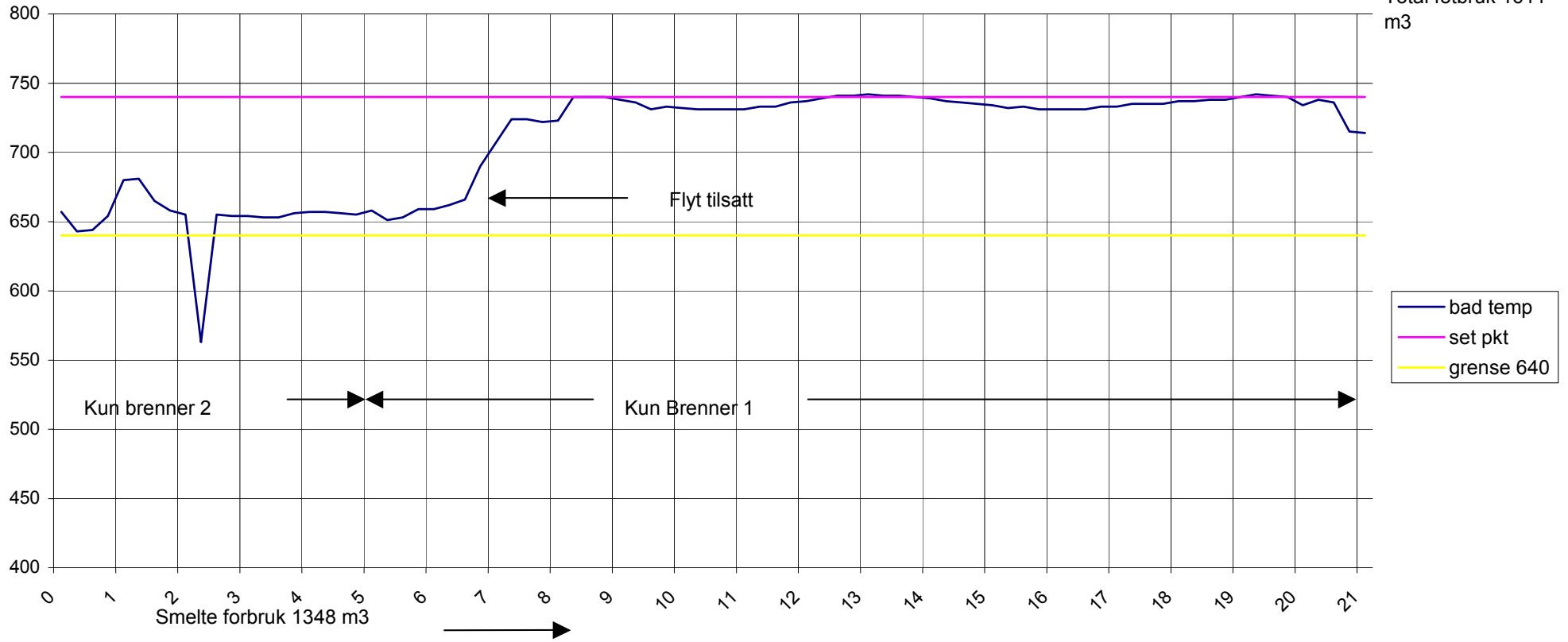


Sm 05
040302
94938



SM 05
95312
180302

Total fotbruk 1611
m3



SM 05
ch 95932
080402

