
Rapport SGC 047

REKUPERATIV ALUMINIUMSMÄLTUGN

Installation och utvärdering av degelugn
vid Värnamo Pressgjuteri

Ola Hall

Sydkraft Konsult AB

Oktober 1993



Rapport SGC 047
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--47--SE

Rekuperativ aluminiumsmältugn

Installation och utvärdering av degelugn
på Värnamo Pressgjuteri

Ola Hall
Sydkraft Konsult AB

Oktober 1993



SGC:s FÖRORD

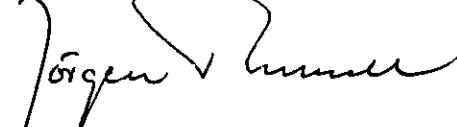
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Malmö Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

**Recuperative crucible furnace for aluminium melting.
Installation and evaluation in a die-casting foundry.**

Summary:

In this demonstration project an efficient gas fired furnace for aluminium melting is evaluated in Värnamo Pressgjuteri in Värnamo, Sweden. Measurement results show a 50% energy cut compared with a conventional gas fired crucible furnace. A calculation also shows that this furnace can compete with an electrically heated furnace by 15% lower annual cost.

Originally, the foundry had gas fired furnaces with cold air burners serving four die-casting machines. One furnace has been replaced by a recuperative, well insulated gas fired furnace, manufactured by Schmitz+Apelt LOI, type Recumelt 300. It melts about 145 tons of aluminium per year and has a melting capacity of 150 kg/h.

The combustion air is preheated to about 400°C in the recuperator. Energy losses during melting and holding are small owing to the thick insulation that mainly consists of ceramic fibre.

The furnace has been in use since September 1992. During this time improvements have been made regarding a new construction of the furnace top and a conversion from 2-step regulation to infinitely variable regulation. Low surface temperature and noise level make a good work environment for the operator.

By measurement test results energy balances have been established for the cold air burner furnace as well as for the recuperative furnace. Measurements during varying production conditions and holding have also made it possible to calculate the energy use per kg melted aluminium as a function of the annual production.

CO₂ emissions have been reduced by 50% due to lower energy use but using preheated combustion air has increased the NO_x emissions with 40%.

Owing to SEK 40.000 lower energy cost per year the increased investment of SEK 84.000 is paid off in about two years compared with a conventional cold air burner furnace.

The project has been carried out by Sydkraft Konsult AB commissioned by NGC, SGC, Värnamo Energi, SEU and Värnamo Pressgjuteri AB.

0 SAMMANFATTNING

Utvärderingen av detta projekt visar att en gasvärmd ugn med rekuperativ värmeåtervinning jämfört med en konventionell ugn erbjuder betydande vinster i energi och kostnader. En gasvärmd rekuperativ degelsmältugn för smältning av aluminium har installerats och utvärderats på Värnamo Pressgjuteri i Värnamo. De utförda mätningarna visar att ugnen använder ca 50% mindre energi än en konventionell gasvärmd ugn med kallluftbrännare. Beräkningar visar även att den rekuperativa gasvärmda ugnen genom 15% lägre årskostnad, kan konkurrera med en elvärmd ugn.

Rekuperatorugnen har ersatt en gasolugn med kallluftbrännare som betjänar en av Värnamo Pressgjuteri:s fyra pressgjutningsmaskiner. Ugnen smälter ca 145 000 kg aluminium per år. Gasolen till ugnen kommer från Värnamo Energi:s lokala distributionsnät för gasol i västra Värnamo.

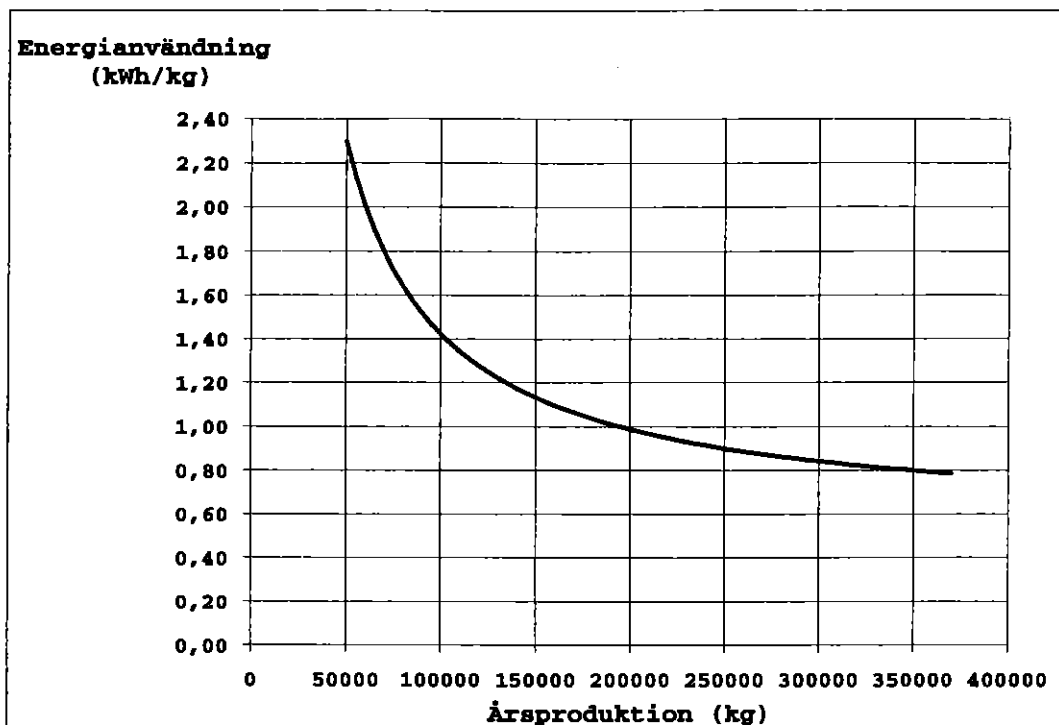
Rekuperatorugnen har följande tekniska data:

Fabrikat	Schmitz+Apelt LOI
Typ	Rekumelt 300
Chargevikt	300 kg aluminium
Brännarkapacitet	170 kW
Smältkapacitet	150 kg/tim

Förutom rekuperatorn som genom värmeväxling med avgaserna värmer förbränningsluften till ca 400°C, bidrar ugnens goda isolering med keramisk filt till den låga energianvändningen.

Ugnen har varit i drift sedan september 1992. I början uppstod problem med skevhet i toppen på ugnen som har åtgärdats genom ny konstruktion. Även ugnens reglering har förbättrats genom övergång från 2-stegs till helmodulerande brännarreglering. Låg yttemperatur och låg ljudnivå är positiva egenskaper hos ugnen som ger en god arbetsmiljö för operatören.

Energibalanser har med underlag från mätningar ställts upp för både den gamla ugnen och rekuperatorugnen. Mätningar har genomförts dels för att bestämma den specifika energianvändningen vid olika driftfall dels under en längre tid och varierande produktionsförhållanden. Med detta underlag har energianvändning som funktion av årsproduktionen kunnat beräknas för rekuperatorugnen (se figur 0.1). Diagrammet kan användas för jämförelser av energianvändningen med ugnar på andra gjuterier.



Figur 0.1 Beräknad energianvändning per kg för rekuperatorugn som funktion av årsproduktion inkl återsmält material.

Utförda mätningar visar att nettoemissionen av CO₂ minskar med 50% p g a lägre energianvändning medan nettoemissionen av NO_x ökar med 40% genom förbränning med förvärmad luft trots lägre energianvändning.

Installation av en rekuperatorugn innebär en merinvestering på ca 84 000 kr jämfört med en gasvärm� ugn med kallluftbrännare. Den årliga gaskostnaden är dock 40 000 kr lägre vilket ger en återbetalningstid på drygt två år.

Projektet har utförts av Sydkraft Konsult AB på uppdrag av Nordisk Gasteknisk Center (NGC), Svenskt Gastekniskt Center (SGC), Värnamo Energi AB, Svensk Energiutveckling AB (SEU) och Värnamo Pressgjuteri AB.

Innehållsförteckning

0	Sammanfattning	1
1	Inledning	4
	1.1 Bakgrund	
	1.2 Syfte	
	1.3 Genomförande	
2	Teknisk beskrivning av rekuperatorugn	7
	2.1 Uppbyggnad	
	2.2 Brännarutrustning	
	2.3 Styr- och reglerutrustning	
	2.4 Drifterfarenheter	
3	Energimätningar	14
	3.1 Beskrivning av smältprocessen	
	3.2 Utförda mätningar	
	3.2 Energibalanser	
	3.3 Specifik energianvändning under smältning	
	3.4 Beräkning av årsenergianvändning	
	3.5 Jämförelse av energianvändningen mellan kallluft- och rekuperatorugn.	
4	Emissioner	22
5	Ekonomisk utvärdering	23
	5.1 Jämförelse med ugn med kallluftbrännare	
	5.2 Jämförelse med elvärmad ugn	

Bilagor:

- 1 Uppmätta temperaturer för ugn med kallluftbrännare under produktion
- 2 Uppmätta temperaturer för ugn med kallluftbrännare under varmhållning
- 3 Uppmätta temperaturer för rekuperatorugn under produktion med P-reglering
- 4 Uppmätt temperatur i smältan för rekuperatorugn under produktion med PI-reglering
- 5 Uppmätta temperaturer för rekuperatorugn under varmhållning med P-reglering
- 6 Beräkning av årsenergianvändning

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

I Norden finns ca 300 metallgjuterier. Den maximala potentialen för användning av naturgas och gasol hos dessa uppskattas till 400 GWh/år varav 140 GWh för gjuterier i Sverige. Antalet degelsmältugnar vid metallgjuterier i Sverige är ca 500 varav de flesta är elvärmda.

Värnamo Pressgjuteri tillverkar pressgjutna detaljer av aluminium samt en mindre del zink och har en total produktionen på ca 250 000 kg gjutgods per år. Pressgjuteriet har fyra pressgjutmaskiner med injektionstrycken 32 Mpa, 22 Mpa, 18 Mpa och 15 Mpa. Den största och minsta maskinen är alltid i drift medan maskinerna med trycken 22 och 18 Mpa används alternerande. Vid varje pressgjutmaskin står en ugn med degelstorleken BU300 dvs 300 kg aluminium ryms i degeln. Aluminium tas ur ugnen med en automatiskt styrd skopa och hålls i en kammare i pressgjutmaskinen, där en kolv under högt tryck "skjuter" in metallen i gjutformen s k kallkammarpresning (se figur 1.1).



Figur 1.1 Automatiskt uttag ur degelsmältugn

I slutet av 1989 flyttade företaget från sina lokaler i centrala Värnamo till ett nytt industriområde i västra Värnamo med tillgång till gasol via Värnamo Energi:s lokala gasolnät. Detta öppnade möjligheten att prova gasol som uppvärmningsform för gjuteriets degelsmältugnar. Företaget använde vid denna tid el till sina ugnar. Värnamo Energi genomförde därför tillsammans med Värnamo Pressgjuteri ett SEU-projekt där fyra degelugnar för uppvärmning med gasol köptes och ersatte de tidigare elvärmda ugnarna. Installation och igångkörning gjordes i början av 1990.

De inköpta gasolugnarna har följande tekniska data:

Fabrikat	Hindenlang GmbH
Typ	SLVP-300
Chargevikt	300 kg aluminium
Brännarkapacitet	325 kW, ensteg
Smältkapacitet	150 kg/timme

Brännarna är s k kallluftbrännare vilket innebär att förbränningsluften tas från lokalen utan någon förvärmning. Røkgastemperaturen är ca 850°C vilket innebär en røkgasförlust på ca 50%. Mot denna bakgrund inleddes en undersökning av möjligheter till förbättring av verkningsgraden vid gasolvärmning, på initiativ av Värnamo Energi.

I en förstudie visades att genom installation av en välisolerad ugn med rekuperator för förvärmning av förbränningsluften och 2-stegs brännare kunde energianvändningen sänkas med ca 30% jämfört med befintlig ugn med kallluftbrännare. Det konstaterades även att rekuperatorugnar kunde vara lönsamma gentemot elvärmda ugnar. Det beslutades därför att en av gjuteriets fyra ugnar skulle ersättas med en rekuperatorugn.

1.2 Syfte

Syftet med projektet var att installera en gasvärmde degelugn med rekuperator för smältning av aluminium och utnyttja denna som demonstrationsanläggning samt att genom mätningar på både den gamla och nya ugnen bestämma skillnader i energianvändning och emissioner mellan ugnarna. Mätningarna på rekuperatorugnen syftar även till att ge underlag för jämförelser med ugnar på andra gjuterier.

1.3 Genomförande

Projekt omfattade upphandling, installation och drifttagning av en gasvärmad degelsmältugn för aluminium. Ugnen är försedd med rekuperator för avgasåtervinning. Installationen har gjorts på Värnamo Pressgjuteri AB i Värnamo där den nya ugnen ersätter den av gjuteriets fyra ugnar som betjänar den största pressgjutmaskinen. Projektet omfattade dessutom energi- och emissionsmätningar dels på den nya ugnen dels på tidigare ugn med kallluftbrännare.

Projektet har utfört av Sydkraft Konsult på uppdrag av:

Nordisk Gasteknisk Center (NGC),
Svenskt Gastekniskt Center (SGC),
Värnamo Energi AB,
Svensk Energiutveckling AB (SEU) och
Värnamo Pressgjuteri AB.

2 TEKNISK BESKRIVNING AV REKUPERATORUGN

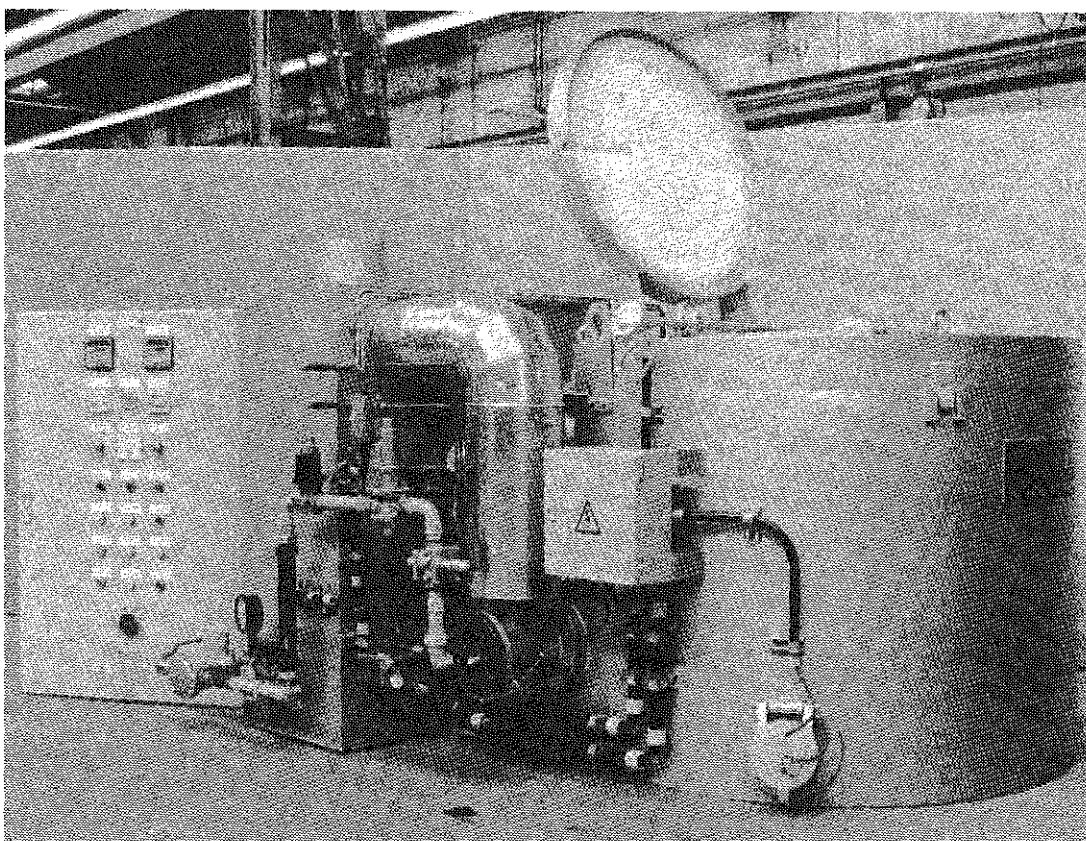
Rekuperatorugnen har följande data:

Fabrikat	Schmitz+Apelt LOI
Typ	Rekumelt 300
Chargevikt	300 kg aluminium
Brännarkapacitet	170 kW
Smältkapacitet	150 kg/tim

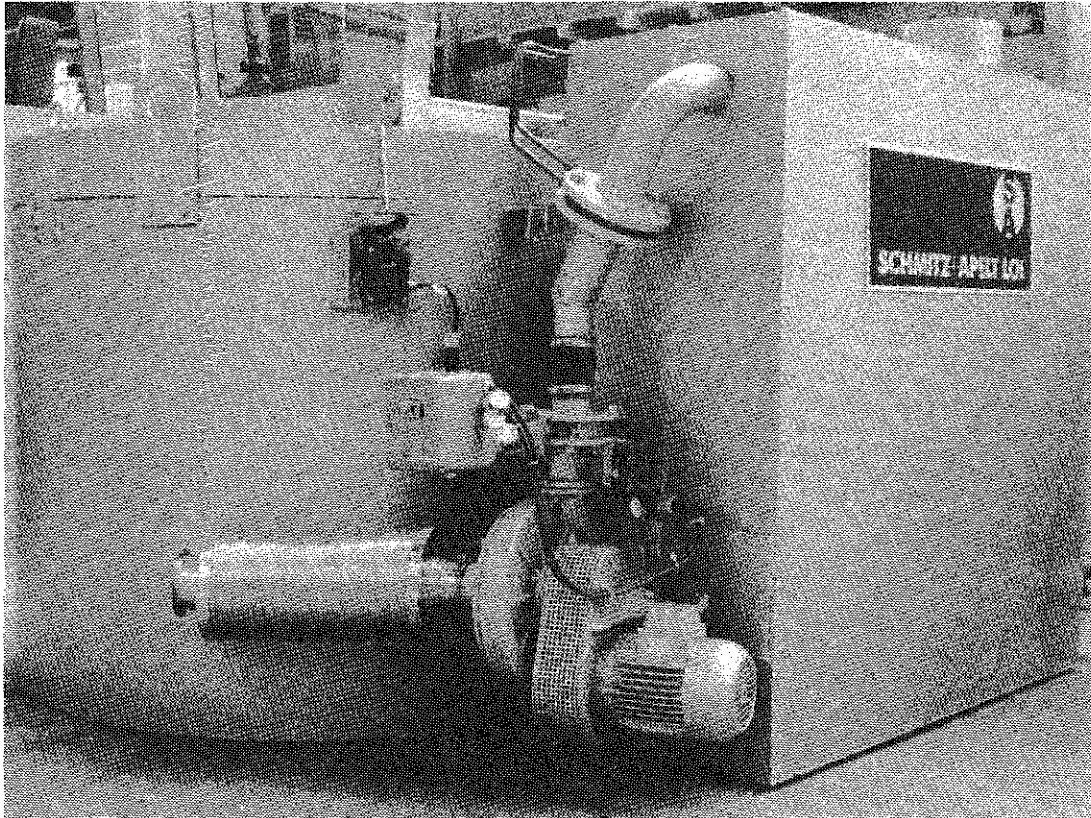
Ugnens huvudbeståndsdelar är:

- Ugnskropp med degel
- Rekuperator
- Brännare med gasarmatur och fläkt för lufttillförsel
- Skåp för el och reglerutrustning

Ugnen visas i figurerna 2.1 och 2.2.



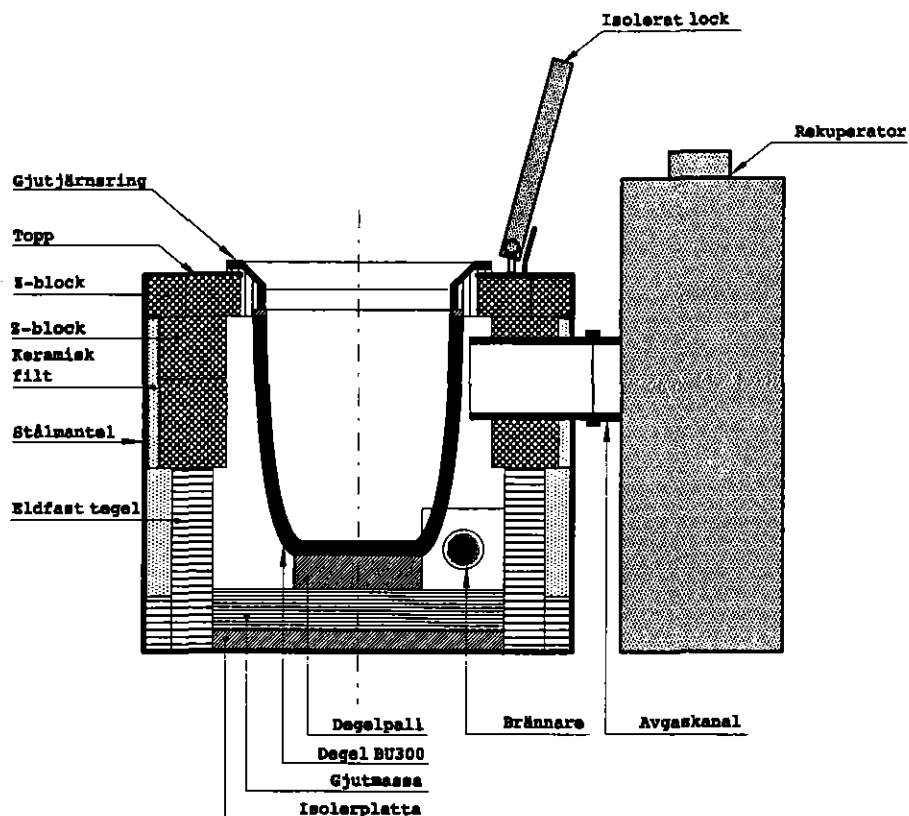
Figur 2.1 Ugn med rekuperator och elskåp



Figur 2.2 Luftintag med ljuddämpare och fläkt för förbränningsluft

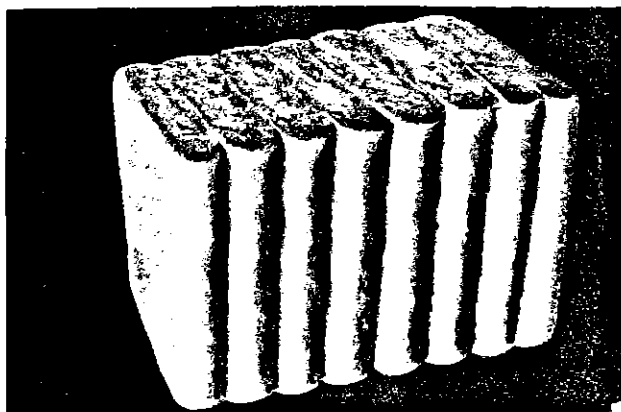
2.1 Uppbyggnad

Ugnen är uppbyggd runt en degel av kiselkarbid (SiC), se fig 2.3. Isoleringen närmast brännaren utgörs av eldfast tegel med keramisk filt utanför.



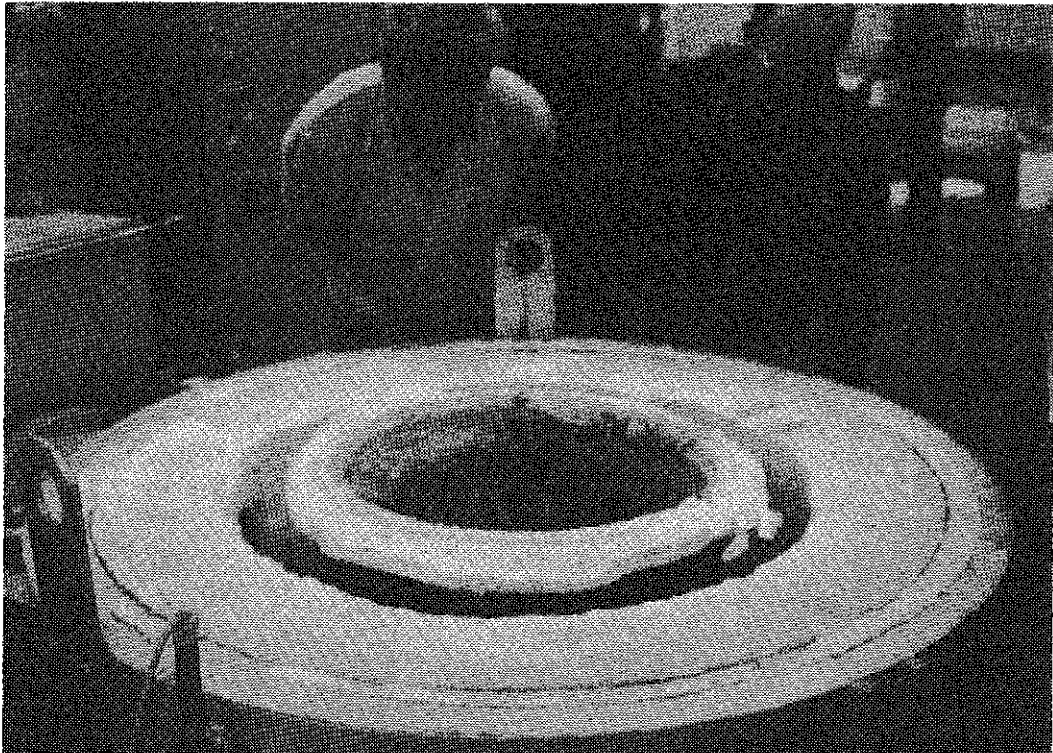
Figur 2.3 Ugnens uppbyggnad

Ugnens övre halva är isolerad med Z-block bestående av en veckad starkt komprimerad keramisk filt. Filten tål en temperatur av 1450°C. Z-blocken visas i figur 2.4 och 2.5.



Figur 2.4 Z-block av keramisk filt

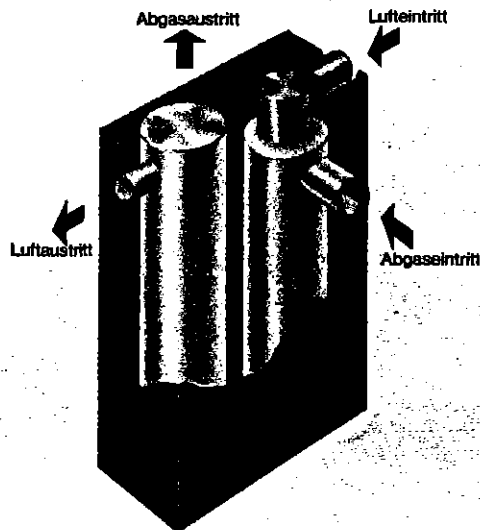
Botten består av en isolerplatta belagd med gjutmassa. Hela ugnen är innesluten i en mantel av 3 mm plåt.



Figur 2.5 Ugn och degel utan topp

Toppen utgörs av en cirkulär stålplåt med en påsvetsad 120 mm hög mantelring. Inuti toppen är inpressat två rader med mindre Z-block. I mitten av toppen finns ett hål för uttag av smält aluminium. Hålet är invändigt fodrat med en gjutjärnsring vilken ligger på degeln med en packning emellan. Keramisk filt lindas runt ringen före montage för att tätas mot läckage av avgaser från ugnsrummet. Eftersom övertryck råder i ugnsrummet är det viktigt att ugnsrummet är tätt under drift. För att minska strålningsförlusterna från badytan vid avbrott i gjutningen finns ett isolerat lock som läggs på gjutjärnsringen.

Avgaserna leds från ugnsrummet ut i rekuperatorn vilken består av två u-formade koncentriska tubrör (se figur 2.6). Rekuperatorn är av medströmstyp varför de varma avgaserna kyls direkt i inloppet av kall förbränningsluft. Medströmstyp har valts för att begränsa temperaturen hos tuberna i rekuperatorn och därigenom undvika behov av dyrare mer värmetåligt material. Förbränningsluften tillförs med en fläkt som är placerad före rekuperatorn. Efter att ha passerat rekuperatorn strömmar förbränningsluften in i brännaren.



Figur 2.6 Principskiss av rekuperatorn

2.2 Brännarutrustning

Brännarens kapacitet är max 170 kW. Tillförsel av gas och luft sker separat och blandning sker med hjälp av en diffusorplatta i brännarnosen. Luftmängden styrs av ett spjäll med ställmotor som är placerat efter brännarfläkten. Ställmotorn har två ändlägen och regleringen görs glidande mellan dessa. Gasmängden styrs av tillförd luftmängd, genom att gasventilen påverkas av tryckdifferensen över en strypbricka i tillopps-röret för förbränningsluften. Därigenom erhålls rätt blandningsförhållande mellan gas och luft även vid öppnings- och stängningsförlopp. I figur 2.7 visas brännaren under drift.



Figur 2.7 Brännare under drift

2.3 Styr- och reglerutrustning

Till ugnen hör ett elskåp med bl a följande larm- och reglerfunktioner:

- Ugnen har som standard helautomatisk brännardrift med 2-steps glidande PI- reglering. Regleringen gjordes sedan om till helmodulerande. Temperaturen i smältan mäts med termoelement
- Timer för automatisk uppstart från kallt tillstånd
- Timer för nedsättning av badtemperaturen när gjutning inte sker
- Relä för bortkoppling av vädringsfunktionen då temperaturen i ugnsrummet överstiger 600°C
- Larm vid degelbrott

2.4 Drifterfarenheter

Från början uppstod problem med toppen på ugnen som blev skev med påföljd att glipor uppstod mellan degel och gjutjärnsring. Därigenom blev ugnsrummet otätt med strålnings- och konvektionsförluster som följd. Efter diskussioner med leverantören gjordes en ny konstruktion av toppen. Genom den nya konstruktionen har läckaget eliminerats.

Isoleringens låga värmekapacitet ställer höga krav på brännarens reglering för att en jämn temperatur i smältan ska erhållas. Ugnen är ursprungligen utrustad med 2-steps PI-reglering som efter intrimning gav en variation av temperaturen i smältan på +20, -30°C. För att förbättra detta har ugnen senare försetts med en helmodulerande reglering. Med denna har temperaturvariationen minskat till ca $\pm 10^\circ\text{C}$ under smältning med full kapacitet.

Isoleringen med keramisk filt gör att ugnen svalnar snabbare än traditionella murade ugnar efter avstängning av brännaren. Redan ca 1 timme efter avstängning av ugnen kan t ex degelbyte göras. Detta innebär att produktion snabbt kan komma igång efter degelbrott etc.

P g a av ugnens goda isoleringen är yttemperaturen lägre för den nya ugnen vilket ger en god arbetsmiljö. Fläkten för förbränningsluften är försedd med en ljuddämpare i luftintaget vilket gör den tystare än brännarfläkten hos de tidigare ugnarna.

En praktisk detalj hos den nya ugnen är att locket för varmhållning är monterat på ugnen så att de lätt kan fällas ner och utnyttjas därför väl. Ett lock som ligger löst vid sidan av ugnen är lättare att glömma att lägga på vid uppehåll i gjutningen.

3 ENERGIMÄTNINGAR

3.1 Beskrivning av smältprocessen

Smält aluminium tas ut ur degeln med en skopa och hålls i pressgjutmaskinen. Nytt material i form av tackor av aluminium läggs i degeln i takt med uttaget så att en konstant nivå upprätthålls i degeln. Skopantar ut en bestämd mängd metall synkront med inpressning av metall i gjutformen varför mängden smält material per tidsenhet bestäms av antalet "skott" per tidsenhet hos pressgjutmaskinen.

Den önskade temperaturen i smältan varierar beroende på vilken legering som gjuts men ligger mellan 665 och 720°C. Smältning pågår dagtid mellan kl 07.00 och 16.00. Efter kl 16.00 och på helger då ingen gjutning pågår behöver smältan endast varmhållas. Varmhållningen kan ske vid lägre temperatur ca 650°C. Tömning och avstängning av ugnen sker endast under semester och större helger.

Efter pressgjutning rensas aluminiumdetaljerna från överskottsmaterial. Det borttagna materialet åter-smälts i degeln. Kvoten mellan mängden smält material och mängden material i de färdiga detaljerna benämns åter-smältningsfaktor.

3.2 Utförda mätningar

Omfattande mätningar utfördes före och efter utbyte av ugnen. Mätningarna utfördes dels som korttidsmätningar under två dagar för vardera ugnen dels långtidsmätningar under två veckor för den gamla ugnen och en månad för rekuperatorugnen. Samtliga mätningar är utförda under tiden brännaren var försedd med 2-steps-reglering. Några mätningar efter att helmodulerande reglering satts in har inte utförts.

Korttidsmätningarna hade följande syften:

- Registrera temperatur i smältan, förvärmningstemperatur och avgastemperatur under smältning respektive varmhållning
- Utgöra underlag för energibalanser för den gamla och nya ugnen
- Bestämma emissioner av NO_x, CO och CO₂

Syftet med långtidsmätningarna var följande:

- Jämföra energianvändningen hos den gamla och den nya ugnen

- Ge underlag för beräkning av energianvändningen på rekuperatorugnen m h t produktion, mängden smält material per timme och varmhållningstid som kan användas för jämförelser med andra ugnar och på andra gjuterier

Mätvärden registrerades med en datalogger. Huvudsakligen avlästes följande parametrar:

- Temperatur i smältan
- Luftförvärmningstemperatur
- Avgastemperatur
- Antalet skott (=antalet presscykler)
- Gasolförbrukning

Dessutom avlästes följande mätvärden manuellt:

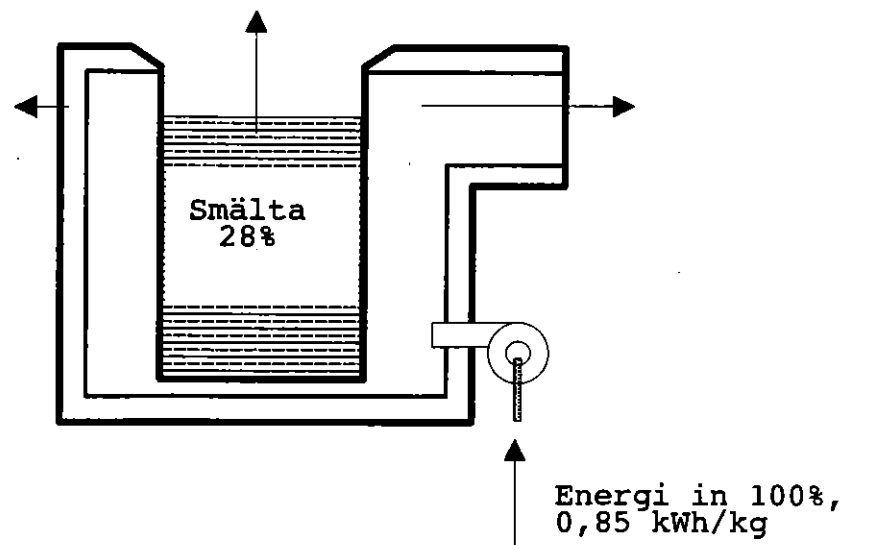
- Vikt per skott
- Vikt av rensad färdig detalj
- Gasolförbrukning
- Yttemperatur

3.2 Energibalanser

I figur 3.1 visas energibalansen för ugnen med kallluftbrännare under smältning av 140 kg per timme. I bilaga 1 visas rökgas och temperatur i smältan under en timmes smältning.

För att smälta 1 kg aluminium krävs med denna ugn 0,85 kWh.

Strålnings- och konvektionsförluster 14% Rökgas- och vädringsförluster 58%



Figur 3.1 Energibalans för ugn med kallluftbrännare under smältning

Rökgas- och vädringsförluster är dominerande. Avgas-temperaturen vid brännardrift är ca 800°C vilket medför att 58% av den tillförda energin försvinner som avgasförlust.

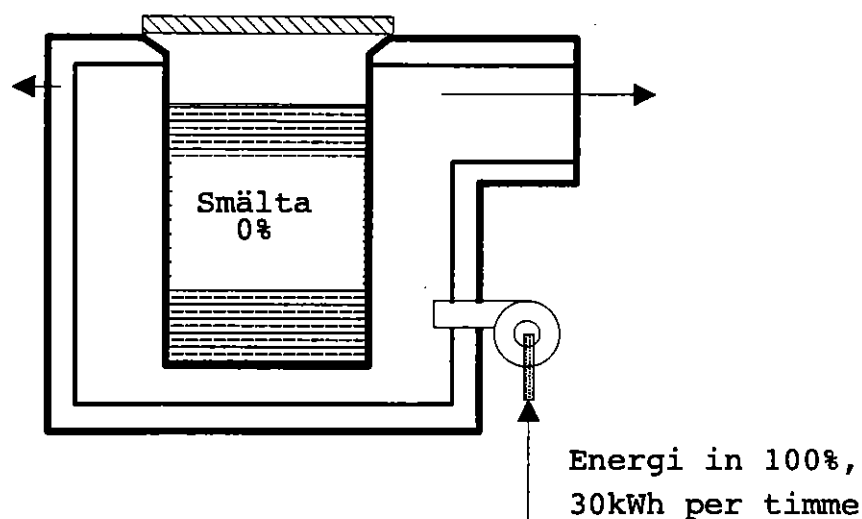
Strålnings- och konvektionsförluster utgör 14 % av tillförd energi. Hälften av dessa härrör från värme-strålning från badytan som är ca 10 kW resten utgörs av förluster genom topp och mantel. Yttemperaturen är 110°C på toppen och 57°C på mantelytan.

Resterande energimängd 28%, tillförs smältan som tas ut ur degeln. Räknat på inmatad energimängd vilken i genomsnitt är 0,85 kWh/kg tillförs smältan således 0,24 kWh/kg. För att ge en uppfattning om noggrannheten i dessa mätningar kan detta jämföras med den teoretiska energimängden som åtgår för att smälta och värma ett kg aluminium och som är 0,27 kWh/kg.

Under varmhållningsfasen se figur 3.2 läggs ett lock över degeln. Smälttemperaturen är oförändrad. Smälta- och rök Gastemperatur under varmhållningsfasen visas i bilaga 2.

Strålnings- och
konvektionsförluster 10%

Rökgas- och vädrings-
förluster 90%

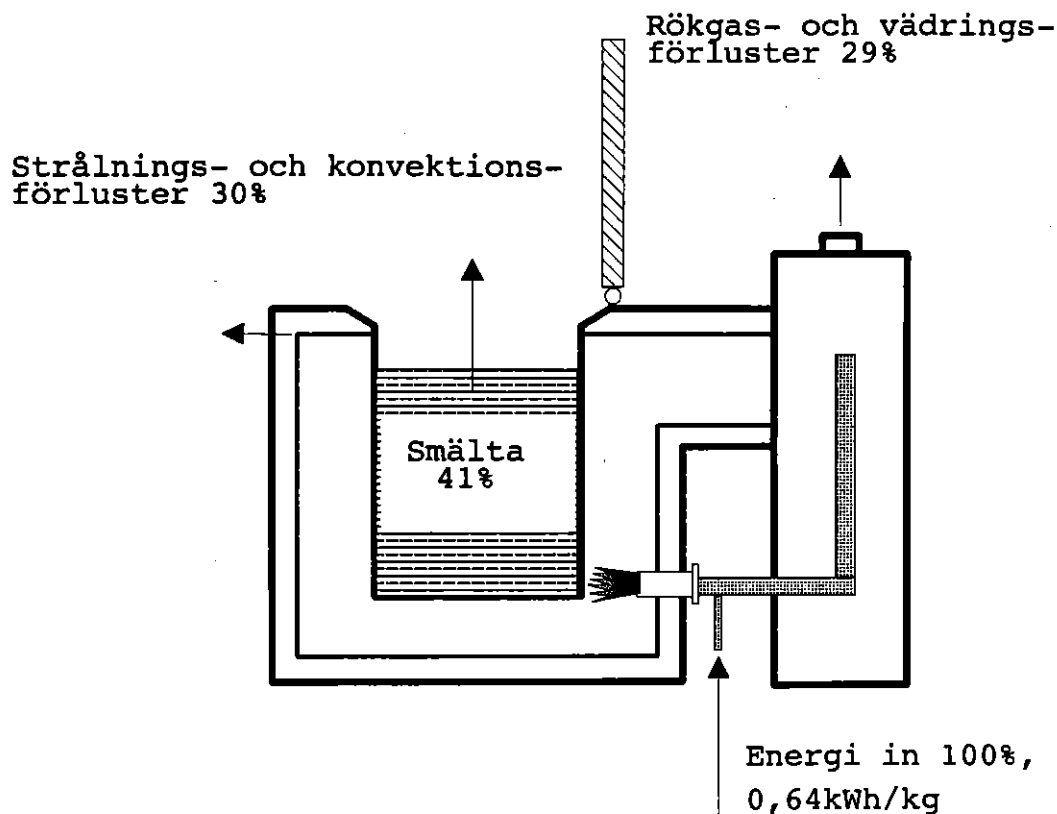


Figur 3.2 Energibalans för ugn med kallluftbrännare under varmhållning

För varmhållning krävs att 30 kWh per timme tillförs för att kompensera en strålnings och konvektionsförlust på 3 kWh per timme. Rökgas- och vädringsförlusten är 27 kWh per timme.

Energibalansen för rekuperatorugnen under smältning visas i figur 3.3. Vid detta mättillfälle smältes 93 kg aluminium per timme dvs betydligt mindre än vid mätningen på gamla ugnen. Energianvändningen var då 0,72 kWh/kg medan vid smältning av 140 kg per timme hade rekuperatorugnen behövt 0,64 kWh per kg smält aluminium.

Avgastemperaturen är ca 900°C före rekuperatorn och drygt 600°C efter rekuperatorn. Förbränningsluftens förvärmningstemperatur är ca 400°C. I bilaga 3 visas temperatur i smältan och avgastemperatur före och efter rekuperatorn, samt luftförvärmningstemperaturen under en produktionstimma med tvåstegs PI-reglering. I bilaga 4 visas temperatur i smältan med intrimmad tvåstegs glidande PI-reglering. Efter byte till helmodulerande reglering har inte någon loggning av temperaturerna skett.



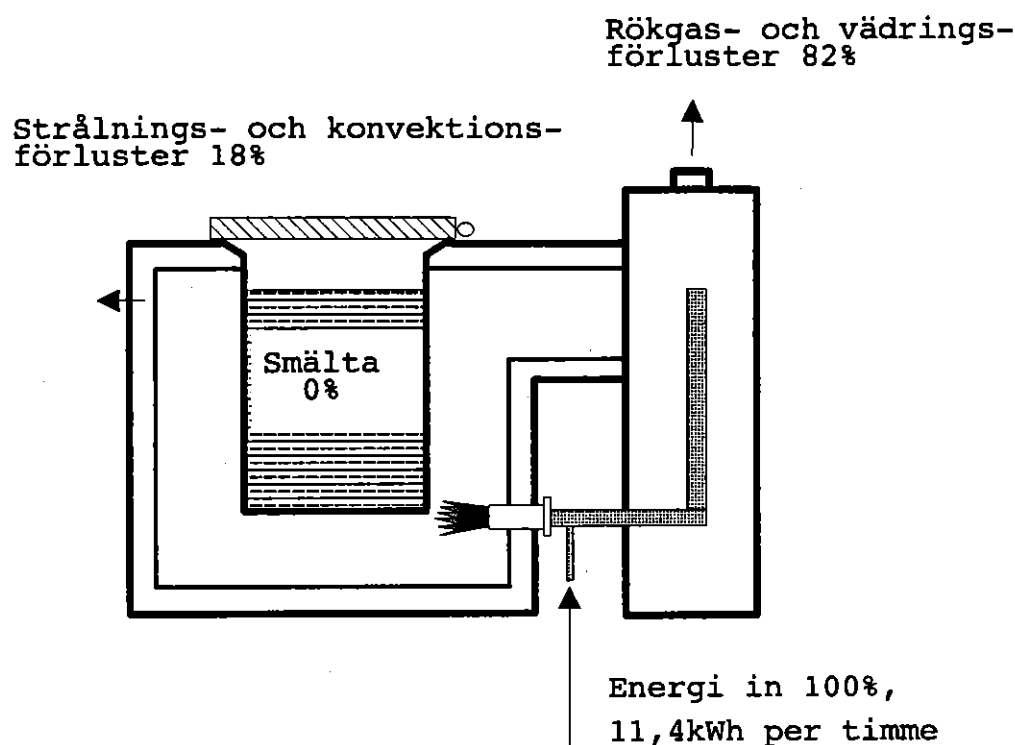
Figur 3.3 Energibalans för ugn med rekuperator under produktion

Rökgas- och vädringsförluster hos rekuperatorugnen utgör ca 29% av tillförd energimängd.

Strålnings- och konvektionsförluster är i detta fall hela 30%. De större förlusterna beror på att strålningen från badytan utgör en relativt sett större andel samt att mängden smält aluminium per timme är lägre vid mättillfället vilket medför en längre uppehållstid för aluminiumet i degeln än vid mätningen på den gamla ugnen. Ytmedeltemperaturen för mantel och topp under produktion är 45°C, och för rekuperatorn 35°C.

Smältan tillförs 41% av inmatad energimängd, vilket motsvarar 0,30 kWh/kg.

Under varmhållningsfasen läggs ett lock över degeln. Smälttemperaturen sätts ner från ca 670°C till 650°C. Smälta- och rökgastemperaturer under denna fas visas i bilaga 5. Figur 3.4 visar energibalansen under denna fas.



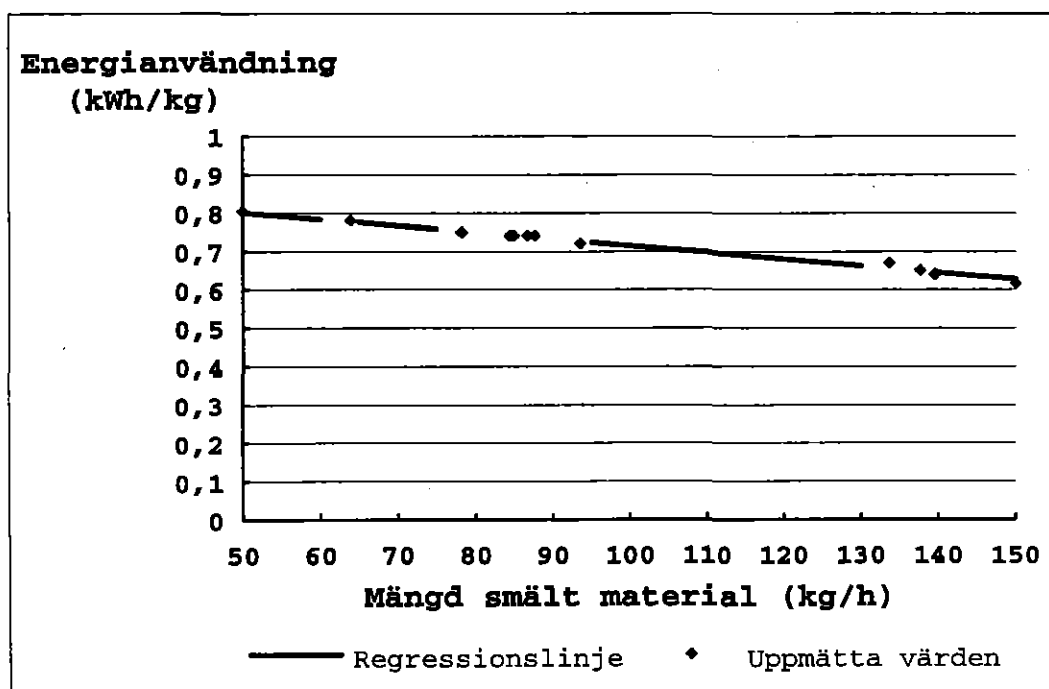
Figur 3.4 Energibalans för ugn med rekuperator under varmhållning

Rekuperatorugnens energianvändning under varmhållning är 11,4 kWh per timme. Rökgas- och vädringsförlusten utgör 9,3 kWh och strålnings- och konvektionsförlusten 2,1 kWh per timme.

3.3 Specifik energianvändning under smältning

För att bestämma den specifika energianvändningen per kg vid smältning av olika mängd material gjordes kontinuerliga mätningar för rekuperatorugnen under en månad. Genom registrering av antalet skott och vägning av detaljerna efter pressgjutning bestämdes mängden material som ugnen smälter per timme. Även de rensade detaljerna vägdes och återsmältningsfaktorn bestämdes till i snitt 1,27. Genom återsmältningsfaktorn erhålls mängden smält material i förhållande till årsproduktionen av färdigt gods.

Under mätperioden göts fyra olika detaljer och mängden smält material varierade mellan ca 60 kg per timme och 140 kg per timme. Ur mätdata har perioder med kontinuerlig smältning utan uppehåll valts ut. Den specifika energianvändningen minskar från 0,78 kWh/kg till 0,64 kWh/kg då mängden smält aluminium ökar från 64 kg till 140 kg per timme, jfr med figur 3.5. I figuren har en regressionslinje lagts in. Observationerna ansluter väl till denna linje. En statistisk analys visar att verkliga värdenas avvikelser från regressionslinjen med 95% sannolikhet blir mindre än 2%.



Figur 3.5 Uppmätt specifik energianvändning under kontinuerlig smältning som funktion av mängden smält material

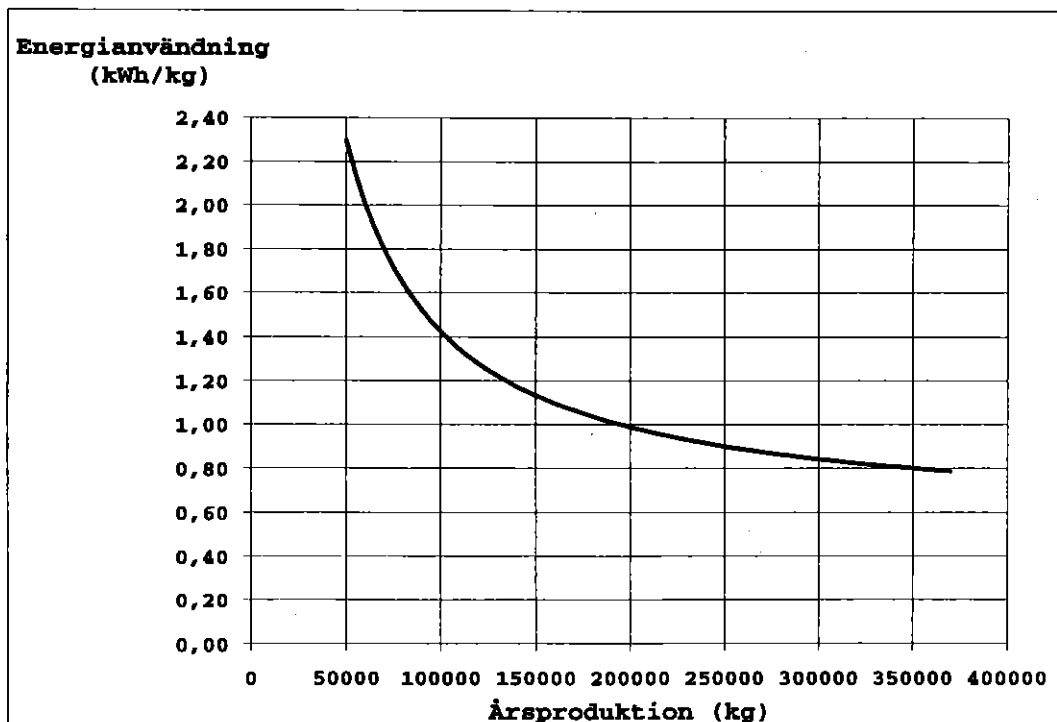
3.4 Beräkning av årsenergianvändning

För att med ledning av de utförda mätningarna kunna beräkna årsenergibehovet för rekuperatorugnen har antagits att energianvändningen är uppdelad i följande tre huvuddelar

- energi för smältning under produktion
- energi för varmhållning under produktion
- energi för varmhållning utanför produktion

Summan av huvuddelarna utgör den totala energianvändningen. Genom att beräkna kvoten mellan den totala energianvändningen under ett år och den årliga mängden smält material erhålls ett energiåtgångstal med hänsyn till både smältning och varmhållning. Beräkningen finns redovisad i bilaga 6.

Resultatet av beräkningen redovisas i figur 3.6. En felanalys baserat på en månads mätning visar att med 95% sannolikhet avviker det verkliga värdet mindre än 3% från kurvan.



Figur 3.6 Beräknad energianvändning per kg för rekuperatorugn som funktion av årsproduktion inkl återsmält material. Kurvan är baserad på utförda mätningar.

Med ökande årsproduktion blir den totala varmhållningstiden kortare vilket medför att energianvändningen per kg närmar sig det specifika värdet som gäller för enbart smältning.

Diagrammet är beräknat för smältning av 150 kg aluminium per timme som är optimalt för ugnen men ändras obetydligt vid smältning av mindre mängder. Exempelvis ökar energianvändningen med endast 3% om 100 kg istället för 150 kg smälts per timme vid en given årsproduktion av 145 000 kg inkl återsmält material. Detta beror på att den specifika energianvändningen under smältning ökar då mängden smält material minskar (jfr fig 3.5) medan energianvändningen till varmhållning minskar eftersom varmhållningstiden vid en given årsproduktion blir kortare.

Kurvan i figur 3.6 gäller för de förhållanden som råder på Värnamo Pressgjuteri. Det är emellertid rimligt att anta att den även kan användas på andra aluminiumgjuterier dock bör följande faktorer beaktas:

- Vid en ökad temperatur i smältan ökar energianvändningen. En temperaturökning på 50°C från 670°C till 720°C bedöms medföra en ökning av energianvändningen med ca 7%.
- Lock måste användas när gjutning inte pågår.

3.5 Jämförelse av energianvändningen mellan kallluft- och rekuperatorugn.

De mätningar, som utförts på ugnen med kallluftbrännare visar en specifik energianvändning på 0,85 kWh/kg vid smältning av 140 kg/tim. Motsvarande värde för rekuperatorugnen är 0,63 kWh/kg, således en minskning på 26%. Tillförd energimängd per timme under varmhållning är uppmätt till 30 kWh mot 11,4 kWh för rekuperatorugnen, vilket innebär en reduktion med 62%. För att kunna jämföra ugnarnas energianvändningen med hänsyn till både smältning och varmhållning har samma beräkning gjorts av årligt energibehov för ugnen med kallluftbrännare som för rekuperatorugnen. Beräkningen ger en energianvändning på 2,25 kWh/kg vid en årsproduktion inkl återsmält material på 145 000 kg. Motsvarande värde för rekuperatorugnen är 1,15 kWh/kg. Kompenserat för den ca 20°C högre drifttemperaturen som rådde under mätningen av ugnen med kallluftbrännare blir energianvändningen 1,18 kWh/kg för rekuperatorugnen således 48% lägre än ugnen med kallluftbrännare.

4 EMISSIONER

Emissionsmätningar har utförts dels på ugnen med kallluftbrännare dels på rekuperatorugnen. Mätningarna är gjorda då rekuperatorugnen hade 2-stepsreglering. Beträffande O_2 , CO och CO_2 uppvisade båda ugnarna normala förbränningstekniska värden. O_2 -halten var något lägre för rekuperatorugnen nämligen 4,6% för steg 1 och 1,8% för steg 2 jämfört med 5,7% för den tidigare ugnen. Detta bidrar förutom till lägre rökgasförluster till längre livslängd hos deglarna. CO halten låg för båda ugnarna mellan 30 och 35 ppm. CO_2 -halten för rekuperatorugnen uppmättes till 10,7% vid låglast och 12,7% vid höglast och till 9,8% för den tidigare ugnen. Den lägre energianvändningen hos rekuperatorugnen leder till att nettoemissionen av CO och CO_2 minskar med nästan 50%.

NO_x -halten för ugnen med kallluftbrännare uppmättes räknat som NO_2 till 55 mg/MJ. Vid förvärmning av förbränningsluften ökar NO_x -bildningen på en högre förbränningstemperatur. I förstudien antogs att NO_x -halten för rekuperatorugnen skulle bli ca 150 mg/MJ tillfört bränsle. Mätningar på rekuperatorugnen visar att NO_x -halten är 159 mg/MJ vid låglast och 123 mg/MJ för höglast. Fördelning av energitillförseln mellan hög- och låglast uppskattas till 25/75. Detta innebär en genomsnittlig NO_x emission på 150 mg/MJ, således en ökning av NO_x -emission med 173% jämfört med en ugn med kallluftbrännare. Med hänsyn till att energianvändningen är lägre för rekuperatorugnen blir dock nettoökningen mindre, ca 40%.

5 EKONOMISK UTVÄRDERING

5.1 Jämförelse med ugn med kalluftbrännare

För jämförelse mellan en ugn med kalluftbrännare och en ugn med rekuperator har en ekonomisk kalkyl gjorts, baserat på de resultat som erhållits i Värnamo. Beräkningarna redovisas i tabell 5.1. Summan av kapital- och driftskostnader blir 15 000 kr/år lägre för rekuperatorugnen. Den årliga driftskostnaden är 40 000 kr lägre för rekuperatorugnen varför merinvesteringen på 84 000 kr återbetalas på drygt 2 år.

Tabell 5.1 Kostnadsjämförelse mellan gasolvärmd ugn med rekuperator och ugn med kalluftbrännare

Förutsättningar

	Kalluft	Rekup.
Smältkapacitet (kg/h)	150	150
Effekt (kW)	325	180
Produktion (kg/år)	114 000	114 000
Återsmältningfaktor	1,27	1,27
Energianvändning (kWh/år)	332 994	173 736
Spec energianvändning (kWh/kg)	2,3	1,2
Gasmedelpris (öre/kWh) *	25	25
Avskrivningstid (år)	5	5
Kalkylränta (%)	15	15
Annuitetsfaktor	0,298	0,298

Kalkyl

Ugnspris (kr)	120 000	204 000
Installationskostnad (kr)	30 000	30 000
Anslutningskostnad (kr)	10 000	10 000
Summa investering	160 000	244 000
Kapitalkostnad (kr/år)	47 680	72 712
Energikostnad (kr/år)	83 249	43 434
Underhållskostnad	2 000	2 000
Total årskostnad	132 929	118 146

* Gaspris inkl abonnemang , inkl CO2 skatt
exkl moms

5.2 Jämförelse med elvärm� ugn

Eftersom flertalet degelsmältugnar i Sverige är elvärm� är en jämförelse mellan rekuperatorugnen och en elvärm� ugn intressant.

Tabell 5.2 Kostnadsjämförelse mellan gasolvärm� ugn med rekuperator och elvärm� ugn

Förutsättningar		
	El	Rekup.
Smältkapacitet (kg/h)	150	150
Effekt (kW)	90	180
Produktion (kg/år)	114 000	114 000
Återsmältningfaktor	1,27	1,27
Energianvändning (kWh/år)	101 346	173 736
Spec energianvändning (kWh/kg)	0,7	1,2
Energipris (öre/kWh)*	31	25
Avskrivningstid (år)	5	5
Kalkylränta (%)	15	15
Annuitetsfaktor	0,298	0,298
Kalkyl		
Ugnspris (kr)	138 000	204 000
Anslutningsavgift (kr)	27 000	10 000
Installationskostnad (kr)	25 000	30 000
Summa investering (kr)	190 000	244 000
Kapitalkostnad (kr/år)	56 620	72 712
Effektavgift (kr/år)	43 000	
Rörlig energikostnad (kr/år)	31 417	43 434
Energikostnad (kr/år)	74 418	43 434
Underhållskostnad (kr)	7 000	2 000
Total årskostnad (kr)	138 038	118 146
Högsta gaspris för lönsamhet med gasdrift (öre/kwh)		36

* Gaspris inkl abonnemang , inkl CO2 skatt exkl moms. Rörligt elpris exkl skatt och moms.

Några mätningar på elugnar har inte utförts i detta projekt. Genom uppgifter från leverantörer om specifik energianvändning per kg under produktion och varmhållningseffekt har den årliga energianvändningen för en ny elugn beräknats till 0,7 kWh/kg vid en årsproduktion på 145 000 kg inklusive återsmält material. En kalkyl för jämförelse av årskostnaden för en rekuperatorugn med en elugn visas i tabell 5.2. Den högre underhållskostnaden för elugnar beror på årliga erforderliga byte av motsändselement.

Högsta tillåtna gaspris innan årskostnaden blir högre för en rekuperatorugn än en elugn beräknas till 36 öre /kWh. Merinvesteringen för rekuperatorugnen är ca 55 000 kr medan driftskostnaden är ca 35 000 kr lägre. Det ska dock påpekas att de specifika förbrukningarna för de gasvärmda ugnarna bygger på mätningar medan värden för elugnen är baserat på leverantörsuppgifter.

Tabell 5.3 visar en sammanställning av kostnaderna för de tre ugnstyperna gasvärmad ugn utan rekuperator, gasvärmad ugn med rekuperator samt elvärmad ugn.

Tabell 5.3 Jämförelse av kostnaden mellan gasvärmad ugn med och utan rekuperator samt elvärmad ugn

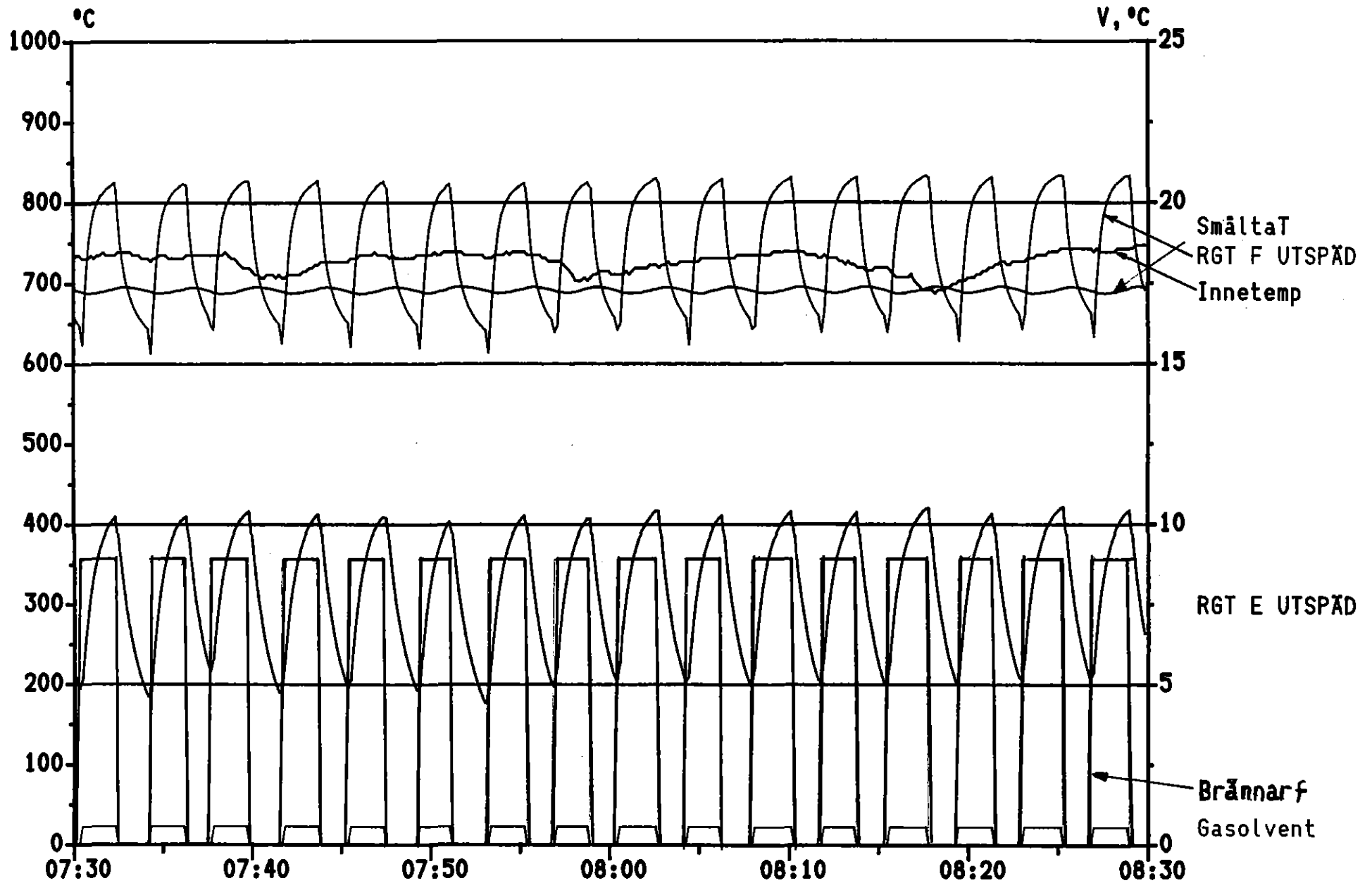
Förutsättningar

	Kallluft	Rekup.	El
Smältkapacitet (kg/h)	150	150	150
Effekt (kW)	325	180	90
Produktion (kg/år)	114 000	114 000	114 000
Spec energianv (kWh/kg)	2,3	1,2	0,7
Återsmältningsfaktor	1,27	1,27	1,27
Avskrivningstid (år)	5	5	5
Kalkylränta (%)	15	15	15

Kalkyl

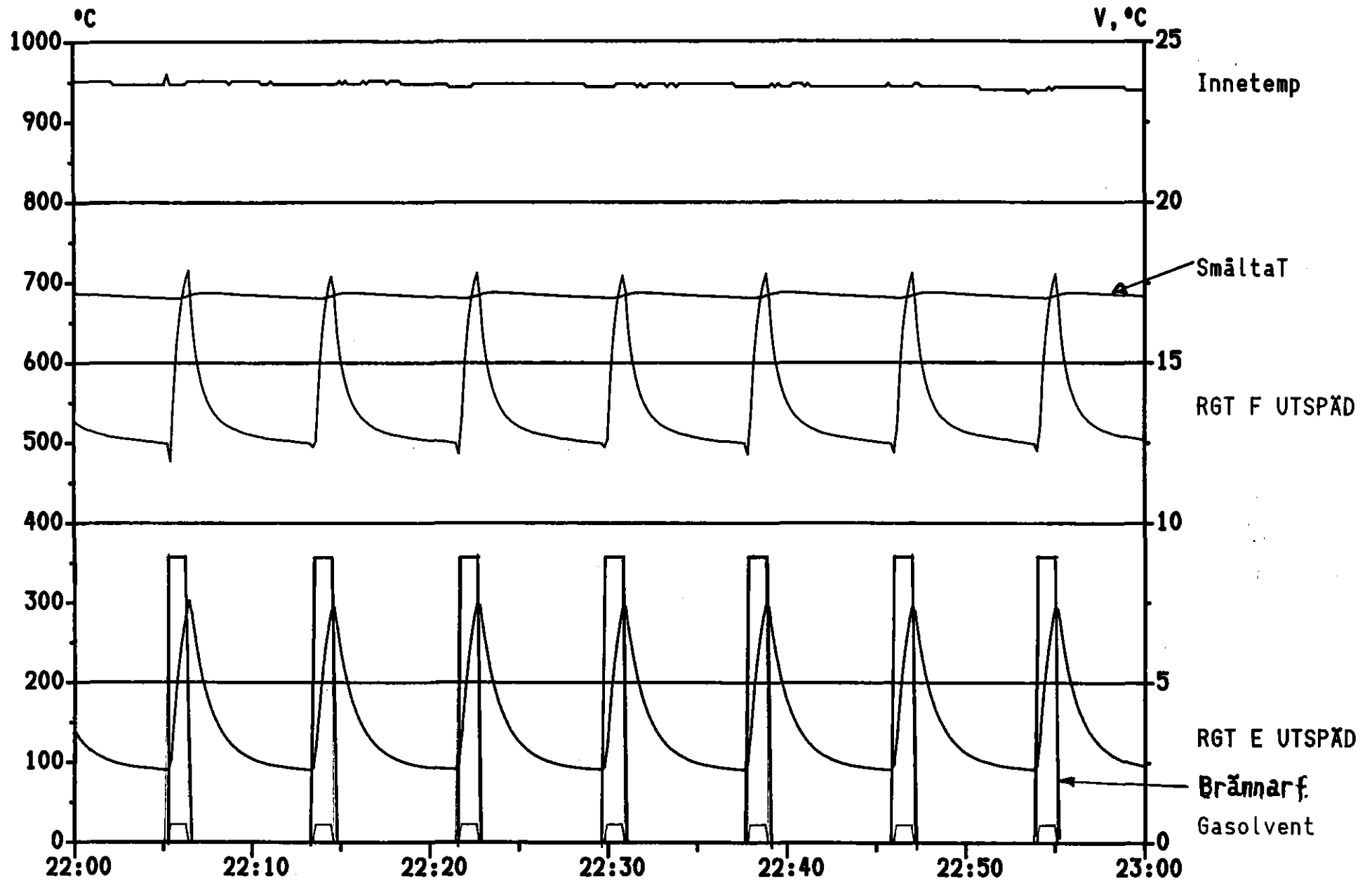
Summa investering (kr)	160 000	244 000	190 000
Kapitalkostnad (kr/år)	47 680	72 712	56 620
Energikostnad (kr/år)	83 249	43 434	74 418
Underhållskostnad (kr/år)	2 000	2 000	7 000
Total årskostnad (kr)	132 929	118 146	138 038

Långtidsmätning Värnamo pressgjuteri 911217 (produktionstid)



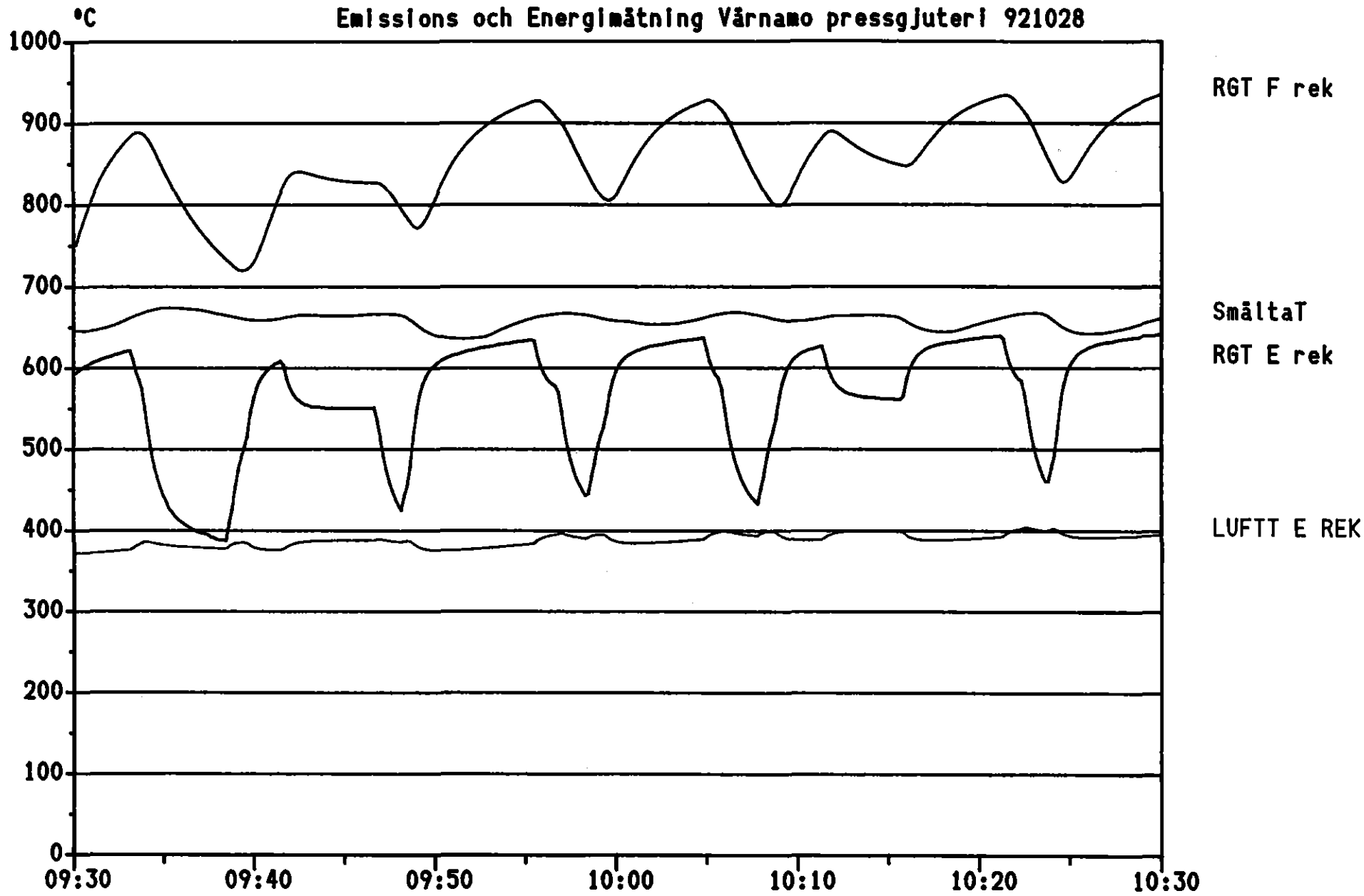
BILAGA 1

Långtidsmätning Värnamo pressgjuteri 911217 (ej produktion)

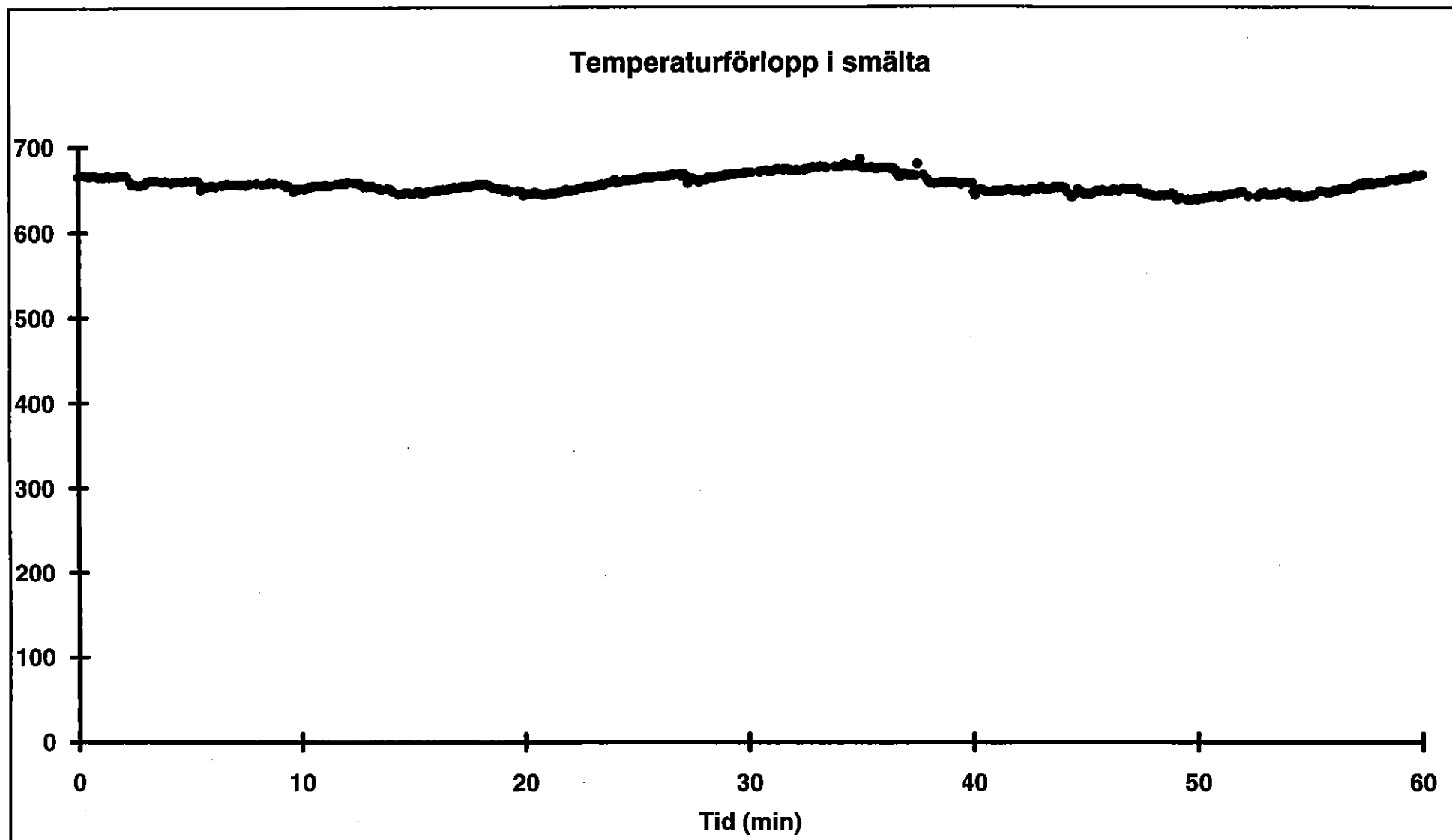


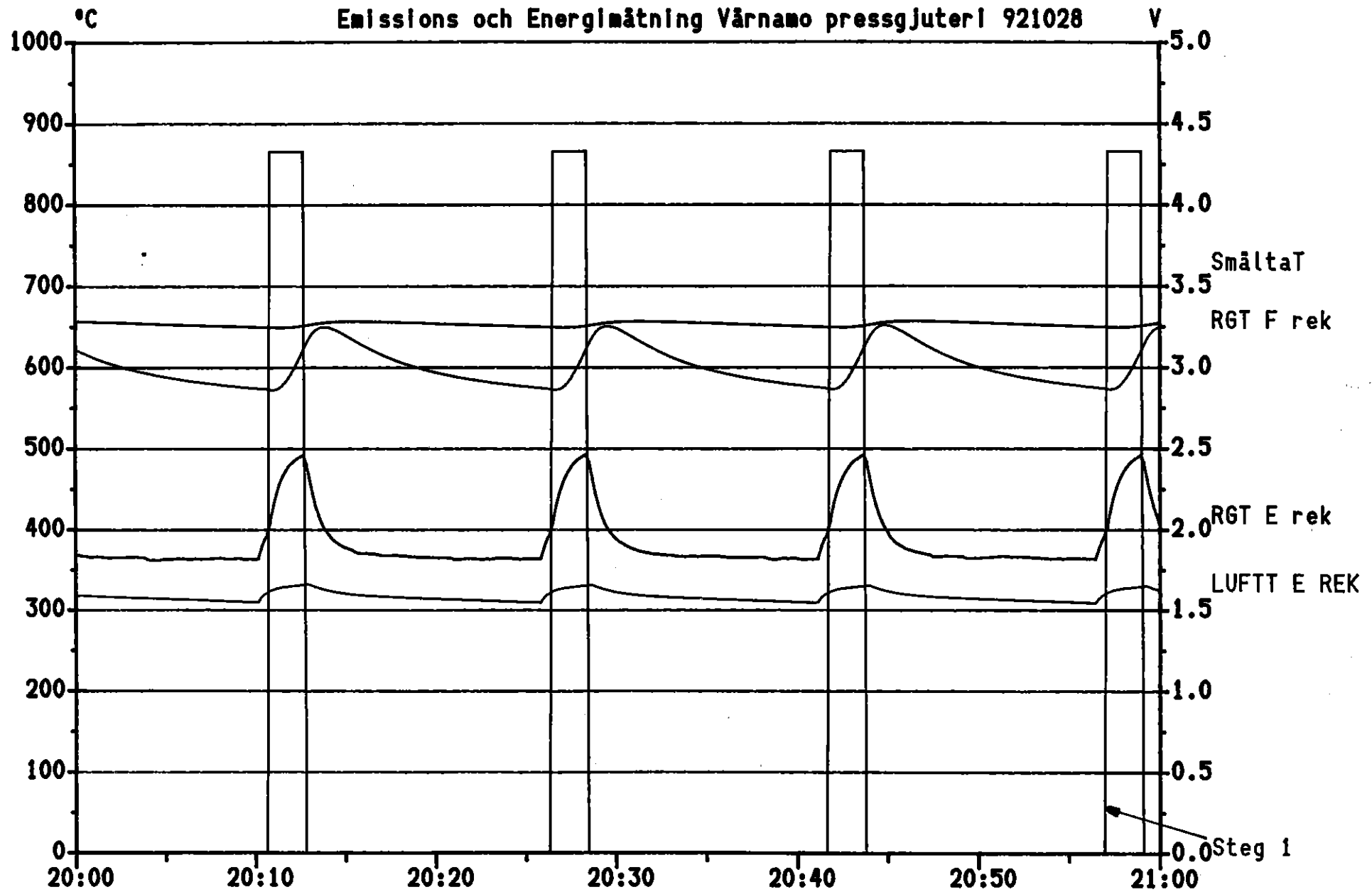
BILAGA 2

Emissions och Energimätning Värnamo pressgjuteri 921028



BILAGA 3





BILAGA 5

BILAGA 6

Beräkning av årsenergianvändning

För att med ledning av de gjorda mätningarna kunna beräkna årsenergibehovet för rekuperatorugnen har antagits att energianvändningen är uppdelad i tre huvuddelar, nämligen

- energi för smältning under produktion (Esp), [kWh/år]
- energi för varmhållning under produktion (Evp), [kWh/år]
- energi för varmhållning utanför produktion (Ev), [kWh/år]

Den totala energianvändning (E), [kWh/år] blir således

$$E = E_{sp} + E_{vp} + E_v.$$

Energianvändningen under produktion är känd genom regressionlinjen i figur 3.5.

$$E_{sp} = esp \cdot Q$$

där esp = spec energianvändning vid smältning för en genomsnittlig mängd smält gods per timme under året, [kWh/kg]

$$Q = \text{mängden smält material [kg]}$$

Energianvändningen för varmhållning utanför produktion är uppmätt till 11,4 kWh per timme. Varmhållningsperioden inträffar mån-fre kl 16:00 till 05:00, 13 timmar per dygn, samt lör och sön, hela dygnet. Räknat på 45 arbetsveckor per år blir den totala varmhållningstiden 5085 timmar. Således blir

$$E_v = 5085 \cdot 11,4.$$

Energianvändning för varmhållning under produktion är den energi som används mån-fre mellan 05:00 och 16:00 men då inget gjuts. T ex raster eller kortare produktionsstopp. Tiden för denna period (tvp), [timmar] bestäms av total mängd smält material (Q) samt mängden smält material per timme vid kontinuerlig produktion (q), [kg/timme]. För ett produktionsdygn är

$$t_{vp} = 11 - Q/q$$

Energianvändningen under denna tid beror på om lock används eller ej. I Värnamo användes oftast lock även vid korta raster. Medeleffekten under denna tid har beräknats till 11,9 kW. Denna kan emellertid variera ganska kraftigt. Under mätperioden faställdes en variation på $\pm 23\%$. Samtidigt utgjorde denna del mindre än 10% av den totala energianvändning varför påverkan blir liten. Energianvändning för varmhållning under produktion för ett år blir

$$E_{vp} = 11,9 \cdot (11 \cdot 5 \cdot 45 - Q/q).$$

$$\text{Sammantaget blir } E = esp \cdot Q + 11,9 \cdot (11 \cdot 5 \cdot 45 - Q/q) + 5085 \cdot 11,4$$

med $q=150$ och $esp=0,63$ blir den årliga energianvändningen

$$E = 87421 + 0,55 \cdot Q$$

Räknat per kg smält material blir $E/Q = 0,55 + 87421/Q$

94-01-11

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
003	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 3	Apr 91	Svenskt Gastekniskt Center AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
008	Catalogue of gas technology RD&D projects in Sweden (På engelska)	Jul 91	Swedish Gas Technology Center	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Institut. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50

94-01-11

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projektering AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center AB	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult AB	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumf Triumf Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150

94-01-11

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reburning med naturgas. Full- skaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonstruktionerna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknik utvecklingsverksamhet	Dec 93	Jörgen Thunell Sv Gastekn Center AB	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vid läggning av PE-rör med läggingsbox	Nov 93	Göran Lustig ElektroSandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastvaruindustrin. Handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material i ledningar för gasdistribution	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Enerkiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150



Svenskt Gastekniskt Center AB

Box 19011, 200 73 MALMÖ
Telefon: 040- 37 55 90
Telefax: 040- 37 55 96

KF-Sigma, Lund