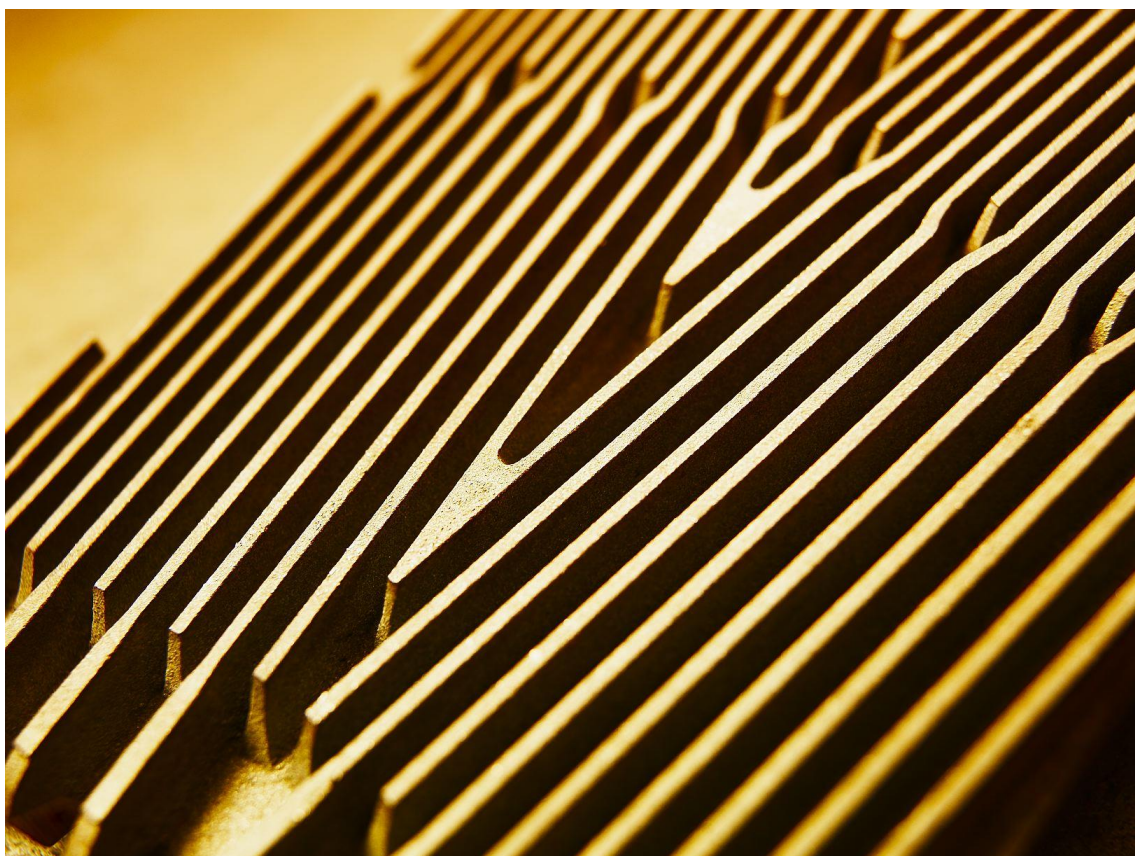


**RI.  
SE**

SAMHÄLLSBYGGNAD  
INDUSTRIELL  
OMSTÄLLNING



## GRETA - Värdeskapande värmeåtervinning - delrapport värmebehandlingsugn

Oskar Räftegård

RISE Rapport 2023:98

# GRETA - Värdeskapande värmeåtervinning - delrapport värmebehandlingsugn

Oskar Räftegård

# Abstract

## **GRETA - value adding heat recovery - report heat treatment furnace**

Recovering heat from exhaust gas from heat treatment furnaces is technically simple and provides high temperature heat, e.g. 100°C heating water/district heating or steam. The process has been evaluated at Swedish steel foundry.

A fairly rough estimate is that just under 50% of the used fuel (net calorific value a.k.a lower heating value) can be recovered from the flue gas assuming a standard burner is used. If the burner is regenerative/recuperative or oxy-fuel type, the amount of residual exhaust heat is significantly reduced, to perhaps 15-20% of the fuel input. Additional heat is available at lower temperatures, e.g. for preheating ventilation air.

In the longer term, the transition to a sustainable society may change the amount of available exhaust gases, e.g. if electric furnaces without exhaust gases take over the market from combustion furnaces, or if e.g. fuel and oxygen prices in the future favour oxy-fuel burners.

An accumulator tank that holds the heat equivalent to a batch is likely to be needed if the heat is to be used for comfort heating or similar purposes.

Key words: foundry, heat recovery, heat treatment furnace

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:98

ISBN: 978-91-89821-76-7

Karlstad, 2023

# Innehåll

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Abstract</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>Innehåll</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>Förord</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>Tack</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>Sammanfattning</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>1 Introduktion</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>2 Värmeåtervinning från värmebehandlingsugnar</b> .....                                   | <b>5</b>  |
| 2.1 Avgasvärme från värmebehandlingsugnar.....   | 6         |
| 2.2 Effekt av effektivare brännare .....   | 8         |
| <b>3 Framtidsäkring</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>4 Installation av avgaspannan</b> .....   | <b>10</b> |
| 4.1 Typ av avgaspanna.....   | 10        |
| 4.2 Installation och system .....  | 11        |
| <b>5 Avgasvärme – detaljer</b> .....   | <b>12</b> |
| 5.1 Verkligt värmeinnehåll i rökgasen.....   | 12        |
| 5.2 Program och batch – fler detaljer .....  | 12        |
| 5.3 Dimensionering av ackumulatortank .....  | 15        |
| <b>6 Fallstudie Smålands stålgiuteri -ett exempel på återvinning till komfortvärme</b> ..... | <b>16</b> |
| 6.1 Överslagsberäkning .....   | 16        |
| 6.2 Värmebehov SSG .....   | 17        |
| 6.3 Årsgenomsnitt återvunnen värme .....   | 18        |
| 6.3.1 Medeleffekt per batch.....   | 19        |
| 6.4 Diskussion av fallstudie .....   | 20        |
| <b>7 Slutsatser</b> .....  | <b>21</b> |

## Förord

Värdeskapande värmeåtervinning är en serie delprojekt inom GRETA som omfattar värmeåtervinning ur sand, gods och värmebehandlingsugnar. Därutöver har även ett examensarbete genomförts gällande elproduktion från återvunnen restvärme, från induktionsugnarnas kylvattensystem.

Projektet GRETA, Gjutna produkter med resurseffektiva tillverkningsprocesser och affärsmoeller, syftar till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft, där högre resurseffektivitet kan erhållas för energianvändning, materialanvändning och produktdesign. Bakom projektet står ett stort antal gjuteriföretag och det statliga forskningsinstitutet RISE. Det pågår 2020-2023 och finansieras av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

I delprojekten har Baettrs gjuteri Guldsmedshyttan och Smålands Stålgjuteri i Eksjö medverkat.



Baettrs gjuteri i Guldsmedshyttan är ett av världens äldsta gjuterier som fortfarande är i drift med anor från 1400-talet. I Guldsmedshyttan hanterar gjutjärnskomponenter upp till drygt 20 ton, främst vindkraftsnav och axlar. Årsproduktionen uppgår till ca 30 000 ton/år.



Smålands Stålgjuteri i Eksjö är ett familjeföretag i andra generationen med ca 35 anställda. Företaget ägs och drivs av bröderna Per, Leif och Sven Ytterell.

SSG designar och gjuter ståldetaljer upp till 800 kg. Framför allt gjuts mindre detaljer. I verksamheten ingår även värmebehandling.

## Tack

Författaren vill rikta ett särskilt tack till Baettr och Smålands stålgjuteri för deras deltagande i studien och till deras personal som bidragit med sin kompetens, engagemang, insikter och kreativitet. I synnerhet till:

Tommy Karlson vid Baettrs gjuteri i Guldsmedshyttan,

Rickard Celinder och Per Ytterell vid Smålands Stålgjuteri i Eksjö.

# Sammanfattning

Att återvinna avgasvärme från värmebehandlingsugnar är tekniskt sett enkelt och ger värme med hög temperatur, t.ex. 100°C värmevatten/fjärrvärme eller ånga. Metoden har utvärderats på ett svenskt stålgiuteri.

En tämligen grov uppskattning är att knappt 50% av tillfört bränsle (effektivt värmevärde) kan återvinnas ur rökgasen förutsatt att en vanlig brännare används. Är brännaren regenerativ/rekuperativ eller av oxy-fuel-typ minskar mängden kvarvarande avgasvärme avsevärt, till kanske 15-20% av tillfört bränsle. Ytterligare värme kan finnas åtkomlig vid låga temperaturer, t.ex. till förvärmning av ventilationsluft.

På längre sikt kan omställningen till ett hållbart samhälle förändra mängd tillgängliga avgaser, t.ex. om elektriska ugnar som saknar avgaser tar över marknaden från förbränningsugnar, eller om t.ex. bränsle- och syrgaspriser i framtiden premierar oxy-fuel brännare.

En ackumulatortank som rymmer värme motsvarande en batch behövs sannolikt om värmen ska användas till komfortvärme eller liknande ändamål.

# 1 Introduktion

Denna rapport beskriver återvinning av avgasvärme från värmebehandlingsugnar. Arbetet ingår i projektet GRETA<sup>1</sup>, som syftar till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft. För en given gjuten produkt och en given framställningsprocess är målet att möjliggöra högre resurseffektivitet för energianvändningen.

Framställning av gjutna komponenter använder mycket energi. Att förnya och förbättra utnyttjandet av de metallurgiska processerna så att energianvändningen effektiviseras är ett ständigt och långsiktigt mål. Genom att utnyttja ny kunskap och utveckla allt bättre mät- och styrmetoder kan processteg optimeras för effektivare energianvändning. Det innebär inte bara att använda energi effektivt i ett specifikt processteg, utan framför allt att kunna identifiera rätt systemgränser, och för det krävs insikt om hur energi flödar mellan olika processteg.

Ur Agendan för Metalliska material, steg 6:

En av utmaningarna för framtiden blir att värma med avsevärt reducerade koldioxidutsläpp. Utvecklingen kan gå i två riktningar. Den ena är att övergå till bränslen som ger låga koldioxidutsläpp och den andra är att använda el som framställts med låga koldioxidutsläpp. [...] Miljöpåverkan över hela livsrytten måste också klargöras, till exempel risken för ökade utsläpp av partiklar och kväveoxider. <sup>2</sup>

Gjuteriindustrin har en tydlig ambition att minska användningen av fossila bränslen. Här befaras dock att tillgången på el i allmänhet och fossilfri el i synnerhet i en snar framtid kommer att bli en begränsande faktor. Redan idag upplever gjuterier i södra Sverige tydliga tecken på kommande effektbrist. Det finns med andra ord mycket tungt vägande skäl att säkra produktionen inför framtida effektbrist.

## 2 Värmeåtervinning från värmebehandlingsugnar

Begrepp, så som de används i denna rapport:

I ugnen (eldstaden) sker förbränning, medan pannan överför värmen till ett media så som varmvatten eller ånga. En avgaspanna sitter utanför ugnen. Ibland kallas avgaspannor för ekonomiser / economizer, rökgasvärmeväxlare eller rökgaskylare, lite beroende på bransch och användningsområde. I denna rapport används termen avgaspanna genomgående oavsett typ. En luftförvärmare (rekuperator / economizer) använder avgasvärmet till att förvärma förbränningsluft. En rökgaskondensator tillvaratar lågtemperaturvärme genom att kondensera vattenågan i rökgasen.

<sup>1</sup> Gjutna produkter med resurseffektiva tillverkningsprocesser och affärsmodeller. Bakom projektet står ett stort antal gjuteriföretag och det statliga forskningsinstitutet RISE. Det pågår 2020-2023 och finansieras av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

<sup>2</sup> <https://www.metalliskamaterial.se/globalassets/2-natverk/nationell-samling-kring-metalliska-material/pdf/nationell-samling-kring-metalliska-material-2020.pdf>

## 2.1 Avgasvärme från värmebehandlingsugnar

Storleksordning hälften av värmen i bränslet hamnar i avgaserna och i princip kan all denna värme återvinnas om man har en vanlig brännare och om rökgasen kan kylas till rimligt låg temperatur.

### Ekvation 1: Ett första överslag:

$$\begin{aligned} &\text{Återvunnet värde (kr/år)} = \\ &[\text{Använd mängd bränsle (ton/år)}] \times [\text{Effektivt värmevärde (MWh/ton)}] \times \\ &50\% \times [\text{ersatt värmes värde (kr/MWh)}] \end{aligned}$$

Överslaget behöver justeras för hur mycket av värmen som kan komma till nytta, vilket beror på vad värmen ska användas till. Ska den användas till komfortvärme så kan förmodligen inte all värme komma till nytta utan snarare 50-80% på grund av anledningar, så som lågt komfortvärmebehov under sommaren. Se t.ex. fallstudien sist i denna rapport.

Andel avgasvärme av tillförd mängd bränsle beror på en rad faktorer, däribland:

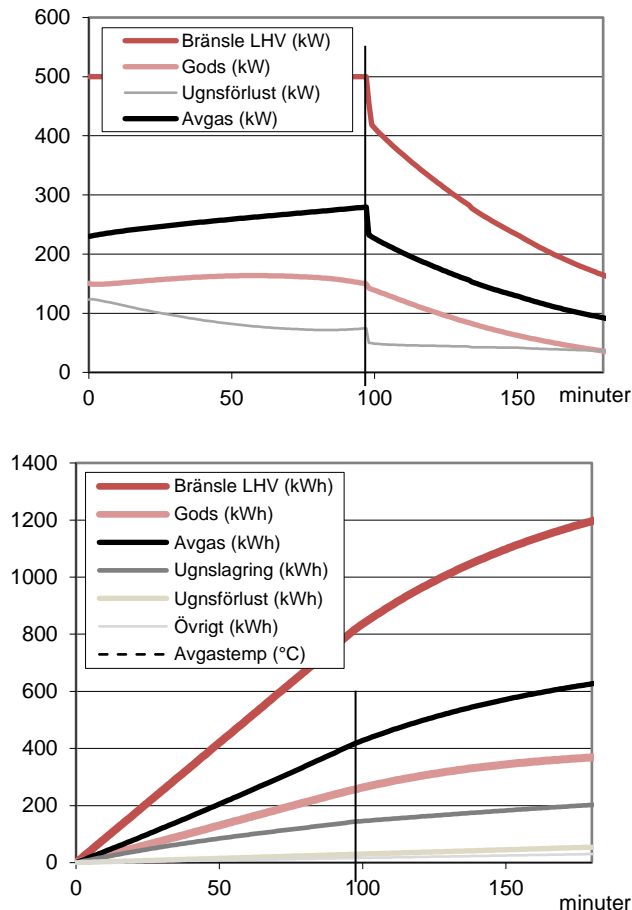
- Ugnens utformning så som dess formfaktor, dess infodring (tung/lätt) och isolering. Se t.ex. Metallkompetens handbok 7, kapitel 4.2, figur 25<sup>3</sup>, som ger indikativa värden för såväl värmelagring som värmeförlust per kvadratmeter invändig ugnsvägg.
- Brännaren, om den är rekuperativ/regernativ eller om brännaren är av oxy-fuel-typ så minskar avgasvärmets avsevärt. Se vidare nedan.
- Drift, så som mängd och typ av gods, ugnens temperatur vid programstart, typ av program (temperatur, varmhållningstid), med mera.

Storleksordning 30%-40% av värmen i bränslet går till att värma upp gods (det vill säga är den värme som gör nytta, skapar värde). Uppvärmning av ugnens infodring och värmeförlust genom ugnens klimatskal utgör kanske 10-20%.

<sup>3</sup> <https://metallkompetens.se/handbok/7-energi-och-ugnsteknik/ugnstyper-och-ugnskomponenter/infodring/>, 2023-02-20



Figur 1 nedan ger en indikation på hur uppvärmningsförloppet och fördelningen av värme mellan avgas, ugn och gods kan se ut. Figuren härrör från äldre opublicerat arbetsmaterial. Det övre diagrammet visar ackumulerad värme (kWh) och avgas-temperatur, medan den nedre visar momentan värmeeffekt (kW).



Figur 1 Exempel på effekt- och energibalans för en värmebehandlingsugn

värmevärdet använts. Skillnaden är ca 10% av tillfört bränsle, vilket helt kan tillföras avgasvärmets. I denne rapport används alltid det effektiva lägre värdet när inte annat anges.

Bränsle LHV avser bränslets förbränningsvärme räknat på det effektiva värmevärdet (Lower Heating Value).

Gods avser värme som tas upp av godset, alltså den värme som är värdeskapande och gör nytta.

I övre figuren är ugnslagring den värme som tas upp av ugnens infodring när ugnen värms upp, medan ugnsförlust är förlust genom ugnens klimatskal till omgivning. Ugnslagring blir en förlust till omgivning tids nog, men körs många batcher tätt inpå varandra så kommer viss värme kvarstå mellan batcher.

Notera att det skiljer sig åt en hel del beroende på ugn och program och att ovanstående fördelning är ett exempel.

Eftersom det effektiva värmevärdet angivits, så ingår inte heller hela avgasförlusten, vilket det gjort om det kalorimetriska (högre)

## 2.2 Effekt av effektivare brännare

En kort summering av teknik som kan minska bränslebehov och därmed mängd avgasvärme:

**Regnerativ/rekuperativa brännare** kan sägas ha en integrerad rekuperator (avgaspanna) som förvärmer förbränningsluften med hjälp av avgaserna. Se t.ex. Metallkompetens handbok 7, kapitel 4.1.3.<sup>4</sup>

En tumregel är att förvärmning sparar 5% bränsle per 100°C förvärmning. Förvärms förbränningsluften till 800°C talar vi storleksordning 40% mindre bränsle, vilket är i paritet med praktiska försök<sup>5,6</sup>. I princip hela minskningen sker i avgaserna, eftersom godset tillförs lika mycket värme som tidigare och ugnen är den samma.

I värmebehandlingsugnar utgör dock strålningsvärmens från flammen ofta den primära värmeöverföringen till godset (och inte konvektion mot rökgas). Med rekuperativ/regnerativ teknik minskar flammen. Trots det går tekniken att använda och även i batchvisa produktion, men kanske inte fullt ut. Det finns t.ex. tekniker där avgaserna leds i rör som i sin tur strålar ut värme.

Den återstående avgasvärmens får lägre temperatur, kanske 300-500°C istället för över 1000°C, men det går fortfarande utmärkt att återvinna värmevännen ur avgasen. Det blir enklare att återvinna den återstående värmens till följd av lägre temperatur, men mängden värme minskar så klart.

**Oxy-fuel**, det vill säga att ersätta vanlig förbränningsluft med ren syrgas får till följd att de ca 80% kvävgas som finns i vanlig förbränningsluften inte längre följer med in i ugnen. I försök med värmebehandlingsugnar har 40% bränslebesparing noterats av Swerea Swecast och upp mot 50% av AGA<sup>7</sup>.

Det blir med denna teknik väldigt mycket mindre avgaser att ta värme ur. Enligt Wikipedia<sup>8</sup> minskar avgaserna med 75%. Återstår endast 25% av avgaserna så blir möjligheten att återvinna värme därefter. Dock ökar möjligheten att få ut det fuktiga kondensvärmens, eftersom vattenhalten och därmed daggpunkt ökar. Det bildas ju fortfarande lika mycket vatten i relation till tillfört bränsle, medan mängden "torr" avgas minskar när kvävgasen försvinner. (Vattnet uppkommer då vätet i kolvätet som förbränns reagerar med syre och bildar H<sub>2</sub>O).

**I praktiska test med effektiva brännare** noteras ofta att godset värms snabbare och/eller jämnare i de praktiska försök som gjort, än med den befintliga brännaren som jämförelsen görs med. Det innebär att en del av den uppmätta bränslebesparingen i praktiska försök sker i form av minskade ugnsförluster och inte enbart i form av minskad avgasvärme.

<sup>4</sup> <https://metallkompetens.se/handbok/7-energi-och-ugnsteknik/ugnstyper-och-ugnskomponenter/brannare/>, 2023-02-20

<sup>5</sup> SGC, Nr 20 Rekuperatorteknik, 2000

<sup>6</sup> Energibesparing i gjuterier, Mats Holmgren, Nordiska Miniterrådet, 1984

<sup>7</sup> Optimerad värmebehandling av stål, Lennart Sibeck, Swerea Swecast rapport 2012-12, 2012

<sup>8</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Oxy-fuel\\_combustion\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Oxy-fuel_combustion_process), 2023-02-21

## 3 Framtidsäkring

-Är avgaspanna en framtidssäker investering?

**Rekuperativ/regenerativ brännare** eller för den delen en extern rekuperator som förvärmer förbränningsluften är lämpligt att undersöka först, innan andra möjliga nyttor för avgasvärmnet undersöks. Utbud och efterfrågan av värme får en perfekt match i tid, rum och temperatur, vilket förmodligen inte är fallet fullt ut om värme ska återvinnas till något helt annat så som komfortvärme. All värme i avgasen kan användas. All temperatur kan nyttjas. Det är fråga om kort kanaldragning eller i fallet med regenerativ eller rekuperativ brännare ingen kanaldragning alls.

I en framtid med höga bränslepriser gynnas dessa tekniker, om nu högre bränslepriser hör till framtiden. Förmodligen kan en befintlig avgaspanna fortsätta användas om denna typ av brännare installeras senare, men mängd återvunnet värme minskar med storleksordning 80%, främst till följd av lägre avgastemperatur. Lägre temperatur innebär även att billigare material / annan teknik skulle ha kunnat användas i avgaspannan. Notera att strålningsvärmnet påverkas och att det inte är en självklarhet att tekniken fungerar får en specifik ugn.

**Oxyfuel-brännare**, utgör i princip samma hot mot en avgaspanna som en rekuperativ/regenerativ brännare. Även denna teknik bör undersökas innan en avgaspanna installeras. Förmodligen kan en befintlig avgaspanna fortsätta användas om byte sker i ett senare skede, men mängd återvunnet värme minskar med storleksordning 80%, till följd av lägre rökgasflöde. Samtidigt ökar dagpunkten vilket gör att kondenseringsvärme blir tillgängligt vid högre temperatur.

**Elektricitet** kan ersätta bränsle-ugn, antingen i en el-ugn, eller om en plasma-brännare installeras. Då blir det inte så mycket avgaser kvar att återvinna värme ur. Dödar definitivt en avgaspanna.

**Vätgas** som är ett möjligt framtidsbränsle ger gott om avgaser att återvinna värme ur. Elektricitet kommer sannolikt vara billigare än vätgas, åtminstone för en stor del av årets timmar. Detta gör det sannolikt att en elugn kan vara väl så konkurrenskraftig i en framtid där vätgas används. Om vätgassamhället realiseras kommer det produceras stora mängder syrgas som biprodukt från elektrolysörer, vilket kan gynna oxyfuel-tekniken (billigt syre). Kombinationen oxyfuel/vätgas ger i sin tur ren vattenånga som avgas.

## 4 Installation av avgaspannan

### 4.1 Typ av avgaspanna

I Metallkompetens handbok Energi- och ugnsteknik, kapitel 4.4.1, beskrivs att ”avgaspannans utformning varierar mycket, men kan enklast beskrivas som ett knippe rör i avgaskanalen. Avgaserna strömmar runt omkring rören och inuti dessa strömmar vatten som värms. Man producerar hetvatten eller ånga”<sup>9</sup>.

Avgaserna från en värmebehandlingsugn är normalt sett varken särskilt korrosiva eller sotbildande och är därmed tekniskt sett enkla att värmeväxla. Möjligen kan de vara så pass heta att speciella materialval krävs, alternativt att blödluft / recirkulerande kyld luft späder ned temperaturen före avgaspannan. Som Metallkompetens skriver finns många varianter, vanligen tuber eller rör av något slag, vilka är robusta men inte så volym- och materialeffektiva. Ett alternativ är plattor som har mycket hög material- och volymeffektivitet. Lamellväxlare är i regel mer känsliga vid sotbildning, men är mycket material- och volymeffektiva.

Om inte ugnbyggaren kan tillhandahålla en lösning, så bör närmsta pannbyggare kunna lösa uppgiften utan någon större svårighet. Sökningar på internet (hösten år 2022) ger dock dåligt med träffar, sannolikt är efterinstallation av avgaspannor för industriugnar en begränsad affär som inte saluförs via internet, utan platsbyggs mot förfrågan. Undantaget om man söker på nätet är Exodraft som marknadsför sitt rökgasvärmväxlarsystem baserat på ”Basic Plate”, vilken är avsedd för industriugnar. Ser man till andra ”paketerade apparater” så finns avgaspannor avsedda för bl.a. skeppsdieslar, respektive avgaspannor som avsedda för anslutning efter en fastbränsleeldad förugn, så som OsbyParcas GTPSÖ.



Figur 2 Exempel på avgaspannor och -värmväxlare. T.v. OsbyParca GTPSÖ tre-stråks eldrörspanna, övre i mitten är en plattvärmväxlare gas/vätska samt Exodraft Basic Plate (med fyra st plattvärmväxlare), nedre mitt är Ekströms olika fenade rör för t.ex. ekonomisers och rökgaskylare. T.h. återfinns en lamellväxlare. Källor: osbyparca.se, alfalaval.se, exodraft.se, ekstromvarma.se, modinecoolers.com

<sup>9</sup> <https://metallkompetens.se/handbok/7-energi-och-ugnsteknik/ugnstyper-och-ugnskomponenter/avgaspanna/>

Förutom att avgaspannan ska klara avgastemperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ ), avgasflödet ( $\text{Nm}^3/\text{s}$ ) och ev. sotbildning, så ska den även prestera god verkningsgrad under hela värmebehandlingen, både uppvärmningsfas och varmhållningsfas, om den senare är längre än någon timme. I varmhållningsläge slås brännaren av/på intermittent och/eller går med mycket lägre flöde.

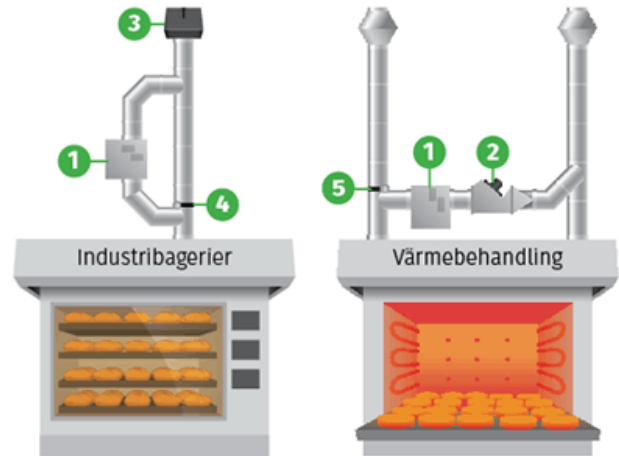
## 4.2 Installation och system

En installation bör inkludera ett by-pass spjäll som säkerställer att ugnens drift inte påverkas om avgaspannan krånglar. Vidare kan ett blödluft-spjäll som späder ned temperaturen före avgaspannan med uteluft behövas för att förhindra överhettning. Detta ger dock en energiförlust, så om det är ett vanligt driftsfall kan man i stället återcirkulera kyld rökgas med en rökgasfläkt, eller välja en annan panna som tål högre temperatur. Figuren nedan är tagen från Exodraft och visar på exempel på hur avgaspannor kan installeras. Båda exemplen är tillämpbara för värmebehandlingsugnar.

**Oro:**  
Kommer **exodraft** värmeåtervinningsenhet att påverka pålitligheten av min produktion?

**Svar:**  
Nej – vår bypass system är **100% säkert**.

- 1 Basic 500 värmeåtervinningsenhet
- 2 exodraft CFI kanalfläkt
- 3 exodraft rökgasfläkt
- 4 exodraft bypass spjäll BD350 (én skorsten)
- 5 exodraft bypass spjäll BD350 (separate skorstene)



Figur 3 Exempel på installation av system. Källa exodraft.se

Vidare behöver systemet sannolikt en ackumulatortank som buffrar värmevatten/ånga mellan batcher, men det beror på vad värmen ska användas till. En vattenmantlad avgaspanna kan i sig innehålla en betydande mängd vatten.

## 5 Avgasvärme – detaljer

Om överslagsberäkning enligt ekvation 1 ovan och andra omständigheter verkar gynnsamma, beskrivs ytterligare några olika aspekter nedan som kan vara till hjälp för att gå vidare mot beslut nedan.

### 5.1 Verkligt värmeinhåll i rökgasen

Från ett rökgasprotokoll kan en mer noggrann beräkning av avgasvärmets göras. Rökgaserna är sannolikt uppmätta, t.ex. vid driftsättning eller för att verifiera miljötillstånd, och då bör rökgasvolym, temperatur, fukthinnehåll framgå. Rökgasprotokollet gäller för en driftpunkt med fortvarig drift och fångar inte uppstarten, eller varmhållning med intermitterant drift on/off, men dessa bör inte ge någon större påverkan på möjlig värmeåtervinning per insatt mängd bränsle.

Avgasen behöver däremot kylas ned ordentligt för att all värme (effektivt värmevärde) ska gå att nyttiggöra. Beroende på tillämpning och teknik kan mängden återvunnen värme minska från ca 50% till ca 40% om det inte går att kyla ned avgasen ordentligt. Överslagsmässigt: Avgasen är 1000°C och kyls till 25°C, varvid 50% av bränslets effektiva värmevärde återvinns. Kyla avgasen i stället till 200°C blir det  $50 \times 800/975 \approx 40\%$  som överslagsmässigt kan återvinnas. Notera att 50% fortfarande bara är ett antagande och exempel, rökasprotokollet ger ett bättre svar och med hjälp av detta går det att beräkna hur mycket värme som går att återvinna vid en viss temperatur efter avgaspannan.

I denna rapport har bränslets effektiva värmevärde använts (ibland kallat undre eller nedre värmevärde, "lower heating value", LHV). I detta ingår inte kondenseringsvärmets i rökgasen, vilket det gör i det kalorimetriska värmevärdet (övre, "higher heating value", HHV). För t.ex. propan och butan tillkommer då ca 8% värme som kan nyttjas till att värma exempelvis kallt vatten eller kall uteluft. Det kan alltså gå att återvinna ytterligare värme, beroende på vad värmen ska användas till.

All värme behövs inte heller under hela året, t.ex. komfortvärme, vilket förstås kan ge en menlig påverkan på investeringskalkylen. Se vidare fallstudien nedan. Utöver ovan nämnda förluster och begränsningar, har själva avgaspannan en värmeförlust, inklusive dess rörsystem och ackumulatortank, vilket inte heller ge någon större påverkan. Sedan finns ju alltid omständigheter.

### 5.2 Program och batch – fler detaljer

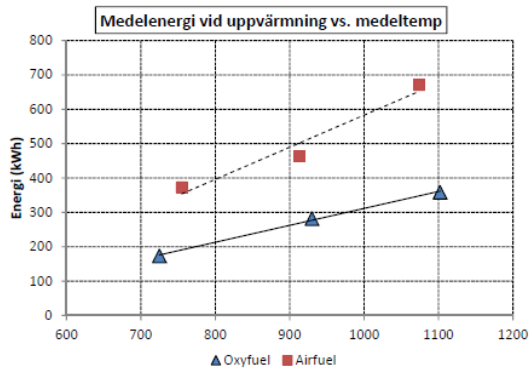
Olika värmebehandlingsprogram (temperatur och hålltider) påverkar mängd tillgänglig avgasvärme. Detta är främst intressant om den återvunna värmen behöver lagras över dygnet för att kunna användas, eller för att prognostisera vad en framtida förändring av produktionen innebär. Det påverkar i övrigt inte en överslagskalkyl baserat på historisk bränsleanvändning.

Nedan visas några exempel på hur värme (bränsletillförsel) fördelas för några olika värmebehandlingsprogram. Samtliga exempel är tagna från Swerea Swecast rapport 2012-12 "Optimering av värmebehandling av gjutstål", 2012. Mätningar härrör från en

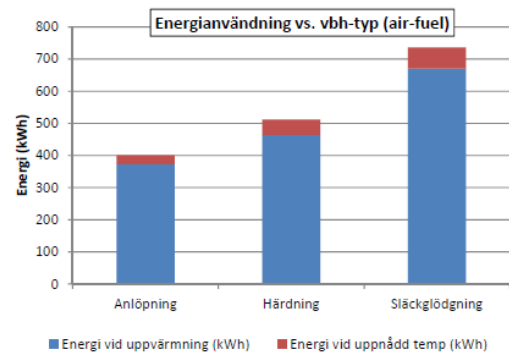
och samma ugn som finns hos Smålands Stålgjuteri. Ugnen bedöms som representativ och är av fabrikat Danlof med invändiga dimensioner, botten c:a  $2 \times 2,5$  m och höjd 1,5 m, volym c:a  $7,5$  m<sup>3</sup>.

I figur 5 nedan framgår att det mesta av avgasvärmnet återfinns under uppvärmningsfasen i de gjorda försöken och att det finns en tydlig koppling mellan energi och temperatur (figur 4, 6 och 7). Notera att figurerna visar tillfört värme (bränsle), så ca 50% av air-fuel brännarens förbrukning kan återvinnas. Varmhållningstiden för anlöpning är en knapp timme och en halvtimme för de två andra värmebehandlingarna som det redogörs för.

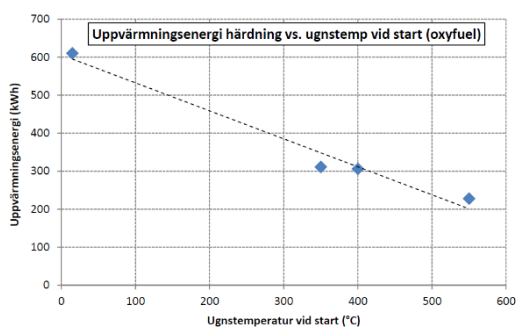
I figur 6 syns tydligt samband mellan ugnens starttemperatur och hur mycket energi som åtgår för att nå hålltemperaturen (900°C), notera att detta sker med en oxy-fuel brännare så mängden bränsle (kWh) skiljer sig från de figurer som visar en vanlig (air-fuel) brännare.



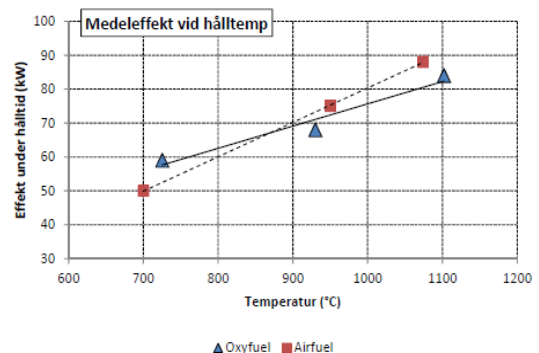
Figur 4 Bränsleåtgång under uppvärmning vid olika sluttemperaturer



Figur 5 Bränsleanvändning vid olika värmebehandlingar



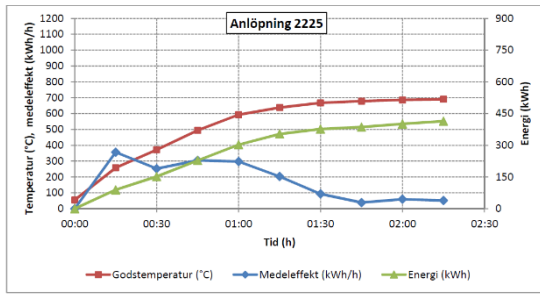
Figur 6 Tillfört bränsle för uppvärmning från olika start-temperaturer i ugnen



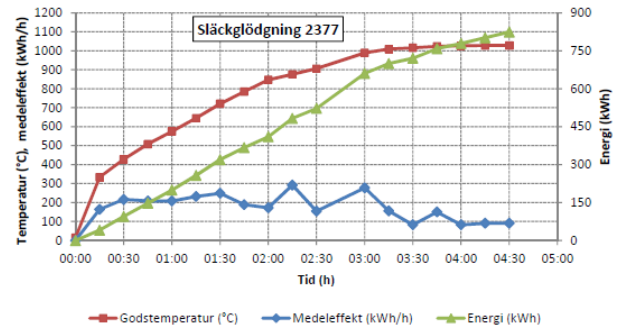
Figur 7 Medeleffekt (tillfört bränsle) vid olika hålltemperatur



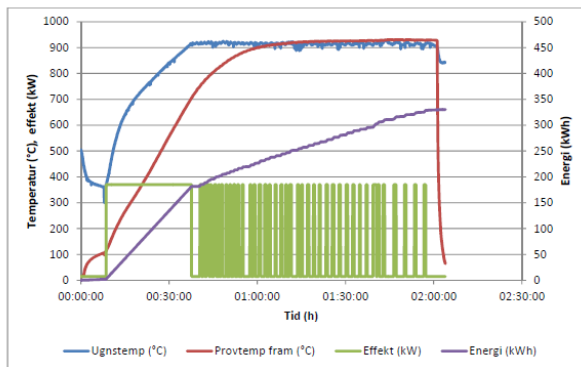
I figurerna nedan återges några exempel på förbrukning under enskilda batcher



Figur 8 Anlöpning, 700°C, totalt 414 kWh bränsle, varav 386 kWh under uppvärmning



Figur 9 Släckglödning, 1030°C, totalt 824 kWh bränsle, varav 758 kWh under uppvärmning.



Figur 10 Härdning, 675°C, totalt 330 kWh bränsle, varav 228 kWh under uppvärmning, med en oxy-fuelbrännare. Notera hur brännaren slås av/på (grön linje) med allt glesare intervall under varmhållningsfasen i takt med att ugnsinfodringen värms upp och ugnsförlusten närmar sig fortvarighet



## 5.3 Dimensionering av ackumulatortank

En ackumulatortank behöver förmodligen rymma värme från minst en hel batch, om värmen används till komfortvärme och liknande behov.

Med acktank avses i detta sammanhang en trycksatt tank som är helt och hållet fylld med värmevatten. Hett framledningsvatten fylls på och tas ut i toppen och avkyld retur i botten.

En acktank rymmer en volym ( $m^3$ ) vatten och inte en värmemängd (kWh). Värmesystemets fram- och returledningstemperatur, liksom avgaspannans temperatur på utgående vatten är avgörande för hur stor vattenvolym som krävs.

### Ekvation 2: Ackumulatortank

En perfekt stratifierad tank rymmer:

$[(T_{\text{hög}} - T_{\text{låg}}) \cdot 1,677]$  kWh/ $m^3$  värme per kubikmeter.

Volymen blir:  $[\text{lagrad värme kWh}] / [(T_{\text{hög}} - T_{\text{låg}}) \cdot 1,677]$   $m^3$

I verkligheten behöver tanken förmodligen ha 10-50% större volym.

Kommentar: Dels finns dels en död volym i toppen och botten av tanken, dels kommer omblandning ske inne i tanken vilket ger en temperaturförlust och för det tredje har tanken värmeförluster till omgivningen. Hur mycket omblandningen påverkar beror väldigt mycket på tankens utformning och verkliga driftförhållande. En tank som är helt fylld med 100°C vatten och som lämnas oanvänd över en helg har ingen omblandning, eftersom den enbart är fylld med 100°C vatten. Efter helgen håller den kanske 95°C, beroende på isolering. En "halvfylld" tank, det vill säga 100°C i övre halvan och t.ex. 50°C avkyld returvatten i den nedre halvan som inte används över helgen har förmodligen en temperatursgradient från knappt 100°C i toppen till drygt 50°C i botten, eller så har den hunnit bli helt omblandad så att det är knappt 75°C i hela tanken. 75°C innebär att tanken är helt tömd och innehåller 0 kWh användbar värme, om värmesystemet behöver 76°C framledningstemperatur. Temperaturen är ju för låg för att kunna användas! Värmen (kWh) finns dock kvar, tanken är ju välisolerad, den är bara oanvändbar.

Ovanstående tydliggör att det är svårt att ge tumregler för hur effektiv en acktank blir vid verklig drift och att det är viktigt att kontrollera hur den fungerar på riktigt vid drift.

## 6 Fallstudie Smålands stålgjuteri

### -ett exempel på återvinning till komfortvärmesystem

Smålands Stålgjuteri (SSG) vill i första hand återvinna värmen mot komfortvärmesystemet. SSG köper fjärrvärme både till tappvarmvatten och komfortvärme. Alla jämförelser nedan relaterar därför till köpt fjärrvärme och görs med ett antagande att det är det den återvunna värmen ska ersätta.

Precis som på de flesta gjuterier så står portarna öppna tills det blir ”jävligare att ha dem öppna än stängda”<sup>10</sup>. Processutsugen är betydande. Eftersom komfortvärmebehovet därmed till stor del beror på utetemperatur och verksamhet (inkl. beteende) är det lämpligt att jämföra tillgänglig avgasvärme mot värmebehovet vid varierande utomhustemperatur och verksamhet.

### 6.1 Överslagsberäkning

Överslagsberäkning enligt ekvation 1 i början av rapporten:

$$\begin{aligned}
 [\text{Återvunnet värde (kr/år)}] &= [\text{Använd mängd bränsle (ton/år)}] \times [\text{Effektivt värmevärde (MWh/ton)}] \times 50\% \times [\text{ersatt värmes värde (kr/MWh)}] = \\
 &= 15 \text{ ton/år} \times 12,9 \text{ MWh/ton} \times 50\% \times 500 \text{ kr/MWh} = \\
 &= 48\,375 \text{ kr/år}.
 \end{aligned}$$

-Vad får det kosta?

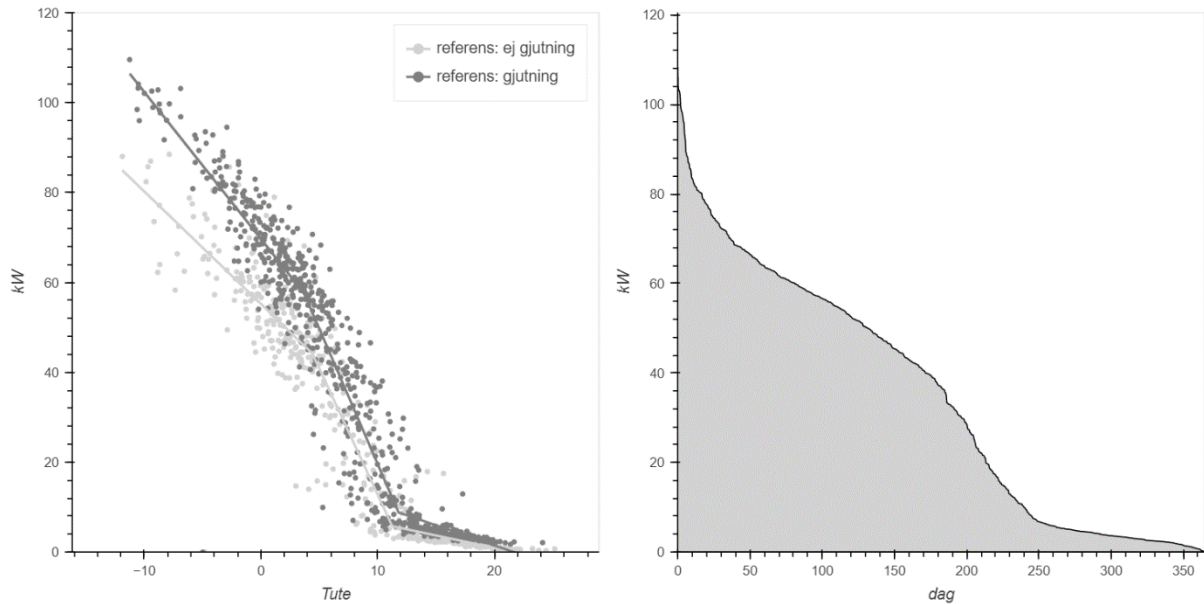
**Resultat**, storleksordning 300 000 kr. Värmebehandling med bränsleeldad ugn är en strategisk och viktig del av SSGs verksamhet. Det finns planer på att utöka värmebehandlingen. Även komfortvärme kommer fortsatt att behövas så länge verksamheten bedrivs. Återvinning ökar robusthet och minskar risk (t.ex. i form av skenande energipriser). Därmed är sex år rak pay back rimlig. 50 000 kr/år x 6 år = 300 000 kr.

Not: Detta är författarens syn på saken och inte SSGs.

<sup>10</sup> Muntligen till författaren på ett annat gjuteri än SSG

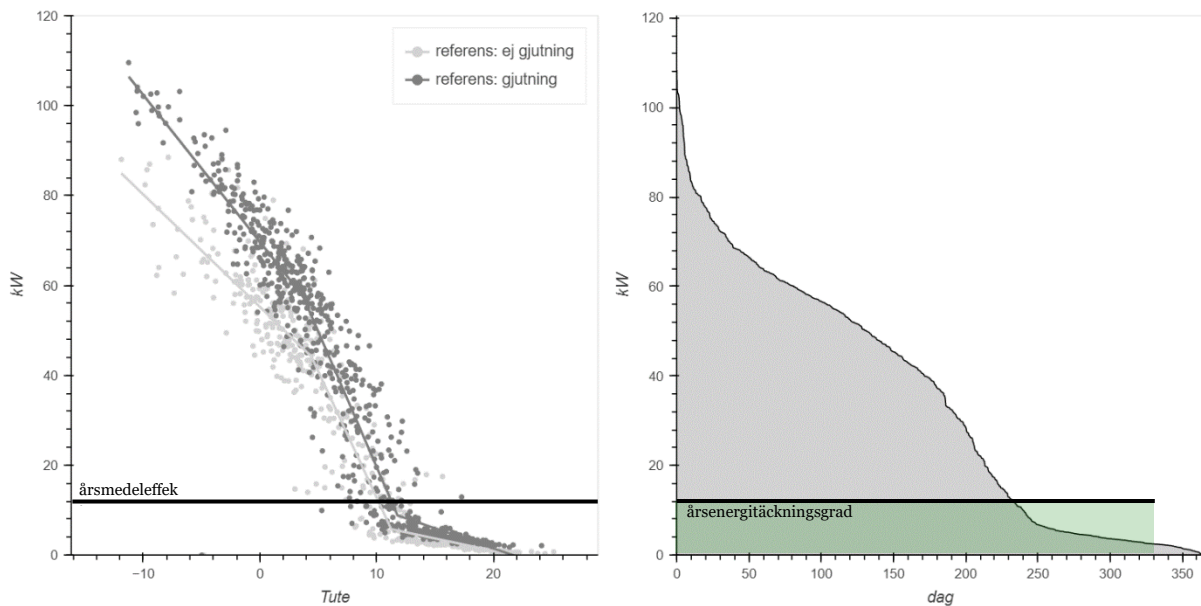
## 6.2 Värmebehov SSG

I nedanstående figur visas referensförbrukning i form av tre års dygnsförbrukningar av fjärrvärme.



Figur 11 Köpt fjärrvärme som dygnsmedeleffekt (kW). T.v. effektsignatur, det vill säga värme (kW) i relation till dygnsmedeltemperaturen (°C), för dag med gjutning respektive dag utan gjutning. Det är tydligt att det sker ett omslag i förbrukningen vid ca 10°C dygnsmedeltemperatur och ett något mindre tydligt kring 4°C. T.h. visas varaktighetsdiagram, dygnsmedeleffekt (kW) i fallande ordning från dag med högst till lägst, där tre års historisk användning skalats om till ett referensår (å 365 dagar). Även i denna syns brytpunkterna vid ca 10°C respektive 4°C.

## 6.3 Årsgenomsnitt återvunnen värme



Figur 12 Årstäckningsgrad baserad på årlig bränsleförbrukning. Notera att medeleffekten räknats på 11 månader och att ugnen står stilla en månad under sommaren. Detta har förenklats till de dagarna med lägst värmebehov, och därmed slutar den gröna rektangeln 30 dagar före året tar slut.

Genom att sätta in årlig genomsnittlig återvunnen värme i figuren ovan kan en uppfattning fås om mängd värme som bör gå att använda. Ugnen antas vara i drift 11 månader av 12, d.v.s. står i juli.

Daglig återvunnen medelvärmeeffekt (kW) =  
 $= [\text{Använt bränsle (ton/år)}] \times [\text{Värmevärde (kWh/ton)}] \times 50\% / [8760 \text{ h/år}] \times [12/11] =$   
 $= 15 \times 12900 \times 50\% \times 12/11 = 12,0 \text{ kW årsmedeleffekt, exklusive juli. (11 månader av 12)}$

**Resultat** framgår ur figuren ovan (t.h.). Årsenergitäckningsgraden blir hög. I princip kan all värme användas under mer än 230 dagar per år och därefter ca 1/3 av återstående 135 dagar. T.v. går att utläsa att det är vid varmare väderlek än ca 12°C dygnsmedeltemperatur som det blir outnyttjad värme över. Resonemanget bygger dock på att ugnsdriften är jämnt fördelad över dag, vecka och år. I sammanhanget skall även noteras att fjärrvärmes taxan är lägre på sommaren och högre på vintern.

Ugnens brännare har en installerad effekt på 300 kW värme, antaget att 50% återvinns motsvarar detta  $300 \times 50\% = 150 \text{ kW}$  värme under uppvärmningsfasen. Med stöd av figuren kan antas att det är ganska få timmar per år så mycket värme åtgår momentant. Alltså behövs en ackumulatortank som rymmer den värme som inte konsumeras momentant under uppvärmningsfasen. För att komplicera bilden påverkas behovet av acktank även av hur ugnen körs.

Om SSG kör intensivt med flera batcher per dygn tisdag, onsdag, torsdag, följt av ett långt stillestånd skulle en större acktank behövas gentemot om ugnen körs jämnt fördelat över veckan. Samtidigt är det värt att komma ihåg att det är bränsleeffektivare att köra så intensivt som möjligt, eftersom varmhållningsförlusterna i ugnen minskar om den då tillåts svalna helt, i stället för att ugnen hålls uppvärmd dygnet och veckan runt.

I fallet SSG kan det vara lämpligt att utgå från att acktanken måste rymma en batch, men att den helst ska rymma två batcher. En dubbelt så stor tank kostar inte dubbelt så mycket, vilket innebär att om utrymme finns kan det vara värt att välja en större och inte en mindre tank.

### 6.3.1 Medeleffekt per batch

Utöver årsmedeleffekt kan vi även räkna ut vad en enskild batch bör ge. Detta kan göras på flera sätt, t.ex.:

- a) Utgå från brännarens effekt:  
[tid för uppvärmning] x [brännarens effekt] x [50%] + [pålägg för varmhållning]
- b) Utgå från rökgasprotokoll:  
[tid för uppvärmning x [rökgasens värmeinhåll] + [pålägg för varmhållning]
- c) Utgå från bränslemätaren:  
[avläsning efter – avläsning före ] x [effektivt värmevärde] x [50%]

SSG kör mestadels två olika värmebehandlingar:

Släckhärdning:

Uppvärmning till först 1100°C, ca 3½-4, timmar, därefter varmhållning i ca 4 h. Uppmätt är 500 kWh/batch (drygt 19 m<sup>3</sup> propan) vilket ger ca 250 kWh värme (500 x 50%= 250)

Mjukglödning:

Uppvärmning till 900°C, ca 2 timmar, och därefter varmhållning under 24 h, vilket förbrukar ca 650 kWh bränsle.

Bränsleförbrukningen ovan skiljer sig en hel del från det som redovisas i figur 4 **Fel! Hittar inte referensskälla.** ovan. SSG har genomfört förändringar sedan år 2012, vilket minskat bränsleförbrukningen per batch.

En batch á 250 kWh återvunnen värme ger en dygnsmedeleffekt på ca 11 kW (250 kWh /24 h ≈11 kW). Den råkar alltså sammanfalla med årsmedeleffekten (12 kW) i detta fall. Körs två batcher under samma dygn blir dygnsmedel 22 kW.

I fallet SSG antas avgaspannan ge 100°C hetvatten och värmesystemet hålla 75/50°C (fram/retur) vid kall väderlek. Returtemperaturen kan i verkligheten skilja sig en del mot vad som står på konstruktionsritningar och flödeschemor och kan vara värd att kolla upp på riktigt vid olika driftfall.

**Resultat:** En perfekt tank rymmer på SSG (100-50) x 1,667 = 58 kWh/m<sup>3</sup> värme. (se ekvation 2). Till detta lägger vi på en godtycklig marginal på 20%.

En tank som rymmer en batch blir då [250 kWh] / [58 kWh/m<sup>3</sup>] x 1,2 ≈ 5,2 m<sup>3</sup> stor.

Ska tanken rymma att två batcher körs, det vill säga två uppstarter inom loppet av 10 timmar, behöver konsumtionen under dessa 10 timmar kan räknas av. Ska vi ha god täckning, så är det lämpligt att räkna med ca 10 kW konsumtion, dvs 10 kW x 10 h = 100 kWh egenkonsumtion. 10 kW egenkonsumtion är godtyckligt valt, men baserat på figur 12.

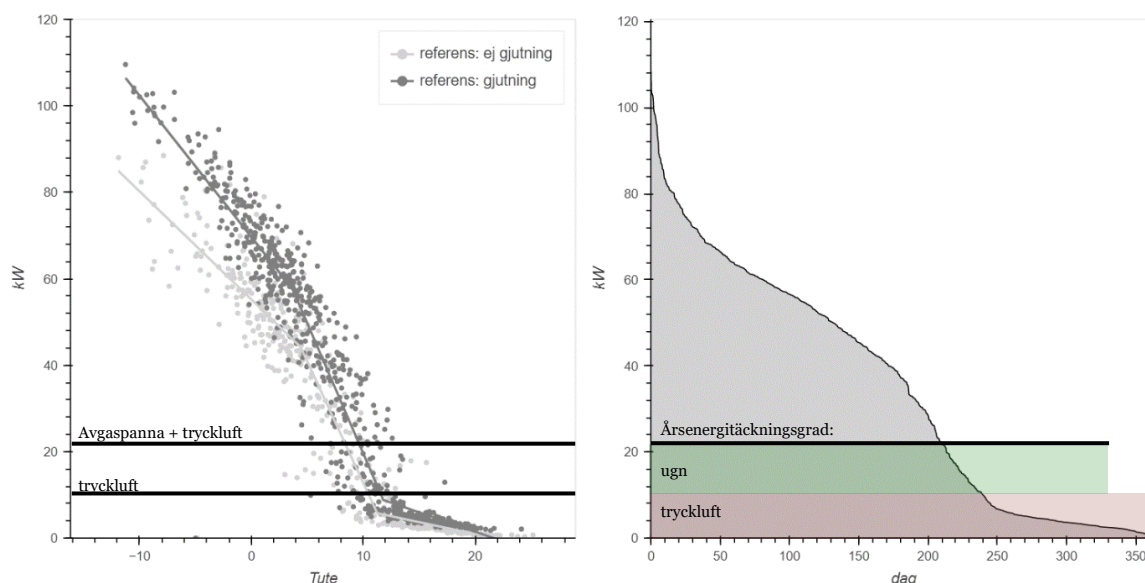
Tanken bör därmed rymma 250 x 2 - 100 = 400 kWh värme, vilket motsvarar 400/58x1,2 = 8,3 m<sup>3</sup>.

## 6.4 Diskussion av fallstudie

SSG funderar på att köpa ytterligare en värmebehandlingsugn. Det skulle då gå att använda en och samma avgaspanna till båda ugnarna om dessa står bredvid varandra och man inte drar i gång bägge samtidigt, utan med ca 2-4 timmars förskjutning, så att bara en av dem går på full effekt åt gången. Det är ju under uppvärmning som den stora värmemängden återfinns.

Ytterligare en aspekt är att i framtiden kunna nyttja kondenseringsvärmets och lämna plats för en rökgaskondensator som installeras vid senare tillfälle, om det blir lönsamt. Gjuterier har stora ventilationsbehov och förvärma kall uteluft kan göras med lågtempererat värmevatten.

SSG har nyligen börjat återvinna värme från tryckluft till vattenburen värme, vilket inte framgår i figurerna ovan. Tryckluft används främst dagtid och beror i första hand av blåstring. Detta ökar behovet att lagra värme i ackumulatortank något. I figuren nedan exemplifieras hur denna återvinning påverkar hela värmebehovet sett som dygnsmedelvärde och om den uppgår till 10 kW årsmedelvärde. Som synes (t.h.) minskar årsenergitäcktäcksgraden till ca 75% för en avgaspanna. Om det tidigare fick kosta 300 000 kr, så blir det nu 225 000 kr, obeaktat att fjärrvärmens är billigare på sommaren än under vintern. Beroende på placering, så går det dessutom utmärkt att använda en ackumulatortank till både tryckluft och avgaspanna.



Figur 13 Effekt och energitäcktäcksgrad med värmeåtervinning från både tryckluft och avgaspanna

### Rekuperator

I fallet SSG kan det vara värt att först se om det finns ekonomi att återvinna mot förbränningsluft. Det kräver brännarbyte. Det finns en brännare av samma typ och fabrikat som klarar 500°C förvärmad luft, men då krävs förstås även en extern rekuperator som förvärmer luften. Men förmodligen krävs byte av brännar-typ helt och hållet för att få tillräckligt med strålningsvärme. Därefter kan det möjligen finnas utrymme att återvinna den nu relativt svala avgasen med en enklare avgaspanna som främst värmer rumsluft i närliggande lokal.

## 7 Slutsatser

Att återvinna avgasvärme från värmebehandlingsugnar är tekniskt sett enkelt och ger värme med hög temperatur, t.ex. 100°C värmevatten/fjärrvärme eller ånga. Metoden har utvärderats på ett svenskt stålgiuteri.

En tämligen grov uppskattning är att knappt 50% av tillfört bränsle (effektivt värmevärde) kan återvinnas ur rökgasen förutsatt att en vanlig brännare används. Är brännaren regenerativ/rekuperativ eller av oxy-fuel-typ minskar mängden kvarvarande avgasvärme avsevärt, till kanske 15-20% av tillfört bränsle. Ytterligare värme finns åtkomlig vid låga temperaturer, t.ex. till förvärmning av ventilationsluft.

På längre sikt kan omställningen till ett hållbart samhälle förändra mängd tillgängliga avgaser, t.ex. om elektriska ugnar som saknar avgaser tar över marknaden från förbränningsugnar, eller om t.ex. bränsle- och syrgaspriser i framtiden premierar oxy-fuel brännare.

En ackumulatortank som rymmer värme motsvarande en batch behövs sannolikt om värmen ska användas till komfortvärme eller liknande ändamål.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

Industriell omställning  
RISE Rapport 2023:98  
ISBN: 978-91-89821-76-7