

RISE

SAMHÄLLSBYGGNAD
INDUSTRIELL
OMSTÄLLNING



GRETA - Värdeskapande värmeåtervinning - huvudrapport

Oskar Räftegård

RISE Rapport 2023:95

GRETA - Värdeskapande värmeåtervinning - huvudrapport

Oskar Räftegård

Abstract

GRETA - Value adding heat recovery - main report

The main report summarises the results of the case studies and for the waste heat sources for two heat demands.

The waste heat sources are cooling systems for induction furnaces and compressed air, and heat recovery from goods, sand and heat treatment furnaces. The heat demands are district heating (incl. internal comfort heating) and heat-driven power generation.

The case study at Baettr shows good availability and temperature in both sand and goods, but the sand is easier to access than the goods. The case study at Smålands stålgiuteri shows good availability, accessibility and temperature for recovery of exhaust gas heat from the heat treatment furnace. Both case studies show that the foundry's internal comfort heat demand is poorly matched to the supply in terms of availability. District heating is a good alternative if it is accessible (distance and interest from the utility). The supply of heat-driven power plants is limited, the electrical efficiency can be expected to be 5-10% of the supplied drive heat.

Key words: foundry, waste heat recovery

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:95

ISBN: 978-91-89821-73-6

Karlstad, 2023

Innehåll

Abstract	1
Innehåll	2
Förord	3
Tack	3
Sammanfattning	4
1 Introduktion	5
2 Värdeskapande värmeåtervinning	6
2.1 Värmebehov	6
2.2 Värmekällor	7
3 Resultat av fallstudierna	9
4 Värdeskapande värmeåtervinning	10
4.1 Grundläggande kriterier	10
4.2 Efterfrågan - värmebehov	11
4.2.1 Fjärrvärme	11
4.2.2 Värmedriven elproduktion	12
5 Restvärmekällor	13
5.1 Smälta	14
5.2 Sand	15
5.3 Gjutgods.....	15
5.4 Kylvatten från induktionsugnar	16
5.5 Tryckluftskompressorer.....	17
5.6 Värmebehandlingsugnar	17
5.7 Processutsug	18
6 Slutsatser	19
Bilaga 1: Kriterier för värdeskapande värmeåtervinning	20
Bilaga 2: Kort om fjärrvärme	21
Bilaga 3: Kort om värmedrivna elverk	24
Bilaga 4: Kort om gjuteriprocess och restvärme	26

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

Huvudrapporten sammanfattar resultat från fallstudierna och för de olika restvärmekällorna för två olika värmebehov.

Genomgångna restvärmekällor är kylsystem för induktionsugn och tryckluft, samt värmeåtervinning från gods, sand och värmebehandlingsugnar. Behoven består dels av fjärrvärme (som inkluderar egen intern komfortvärme) och värmedriven elproduktion.

Bägge fallstudierna visar att gjuteriers egna komfortvärmebehov ger dålig matchning mot utbudet sett till tillgänglighet. Uppvärmningssäsongen är för kort och utbudet är mycket större än efterfrågan. Fjärrvärme är ett bra alternativ om det är åtkomligt (avstånd, samt intresse från fjärrvärmebolaget). Utbudet av värmedrivna elverk är begränsat, el-verkningsgraden kan förväntas bli 5-10% av tillförd drivvärme.

1 Introduktion

Detta arbete ingår i projektet GRETA¹, 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 livscykeln måste också klargöras, till exempel risken för ökade utsläpp av partiklar och kväveoxider.²

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.

Restvärme i gjuteriet från smälta, sand, gjutgods, kylvatten från induktionsugnar, samt delvis från processutsug, har undersökts i relation till värmebehov i form av främst fjärrvärme, intern komfortvärme eller för värmedriven elproduktion. Rapporten sammanfattar det arbete som utförts inom GRETA-projektet på två svenska gjuterier, Smålands Stålgjuteri i Eksjö och Baettr i Guldsmedshyttan. Detaljerad redovisning av de olika delmomenten presenteras i tre delrapporter som är indelade efter vilken teknik och vilka system som undersökts: svalnande gjutgods³, sand⁴ eller värmebehandlingsugn⁵.

¹ 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.

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

³ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport svalnande gjutgods, RISE rapport nr 2023:96, Karlstad 2023.

⁴ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport sand, RISE rapport nr 2023:97, Karlstad 2023.

⁵ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport värmebehandlingsugn, RISE rapport nr 2023:98, Karlstad 2023.

2 Värdeskapande värmeåtervinning

För att återvinning av restvärme ska vara värdeskapande måste utbudet (restvärmen) matcha efterfrågan (värmebehovet). Annars faller kalkylen. Ett sätt att avgöra hur väl utbud av restvärme och efterfrågan på värme matchar varandra är att värdera värmekällor och värmebehov utifrån följande fyra parametrar:

- i. tillgänglighet
- ii. åtkomlighet
- iii. temperatur (värmeflöde)
- iv. omställningsbarhet (framtidssäker)

Av ovanstående fyra är det främst restvärmens temperatur som försvårar värdeskapandet för gjuterier. Historiskt har gjuterier haft svårt att nå över ca 75-80°C, vilket är i underkant för fjärrvärme och elproduktion och ganska långt från smältans start-temperatur kring 1500°C. Historiskt har det inte heller varit lönsamt att vare sig ställa krav på, eller konstruera t.ex. sandkylare eller induktionsugnar för de temperaturer som krävs för att enkelt kunna använda eller sälja restvärmen. I efterhand är det svårt bygga om befintliga utrustningar vilket lett till att temperatur och därmed värde även fortsättningsvis varit lågt eller uteblivit. Det borde däremot gå att återvinna restvärme med lönsamhet både från induktionsugnars kylvatten och sand, möjligen även ur svalnande gods och ev. från processluft, om dessa system från början eller i efterhand byggs om för detta ändamål.

2.1 Värmebehov

Fjärrvärme behöver något generaliserat ca 90-100°C vatten för att värmen ska kunna användas rakt av. Det kan fungera ned mot 75°C eller t.om. lägre, men då med extra kostnader och/eller minskad nytta som följd. Fjärrvärmens returledning håller ca 40-50°C, vilket innebär att all värme inte kan återvinnas om kylvatten in i processkylaren behöver vara kallare än så.

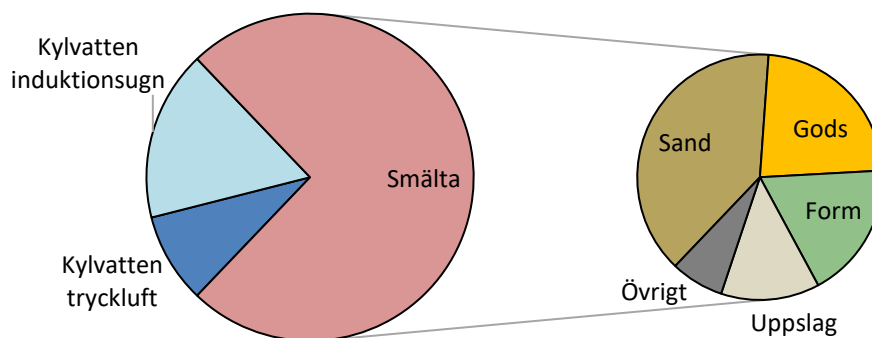
Fjärrvärmebehovet minskar på sommaren, men om nätet är stort går det få avsättning för all restvärme även sommar, vår och höst, till skillnad från om återvinning enbart sker till det egna komfortvärmesystemet. Att restvärme återvinns med fjärrvärmes temperatur underlättar även eventuellt behov att lagra värme mellan batcher och över helger.

Värmedrivna elverk finns från ca 80-90°C och uppåt. Elektrisk verkningsgrad kan förväntas bli 5-10%, resterande värme hamnar i kylvatten som ska vara så kallt som möjligt för hög elverkningsgrad. Den låga verkningsgraden talar för att värdeskapande är högre i form av fjärrvärme än som el. Det har historiskt varit svårt få lönsamhet i elproduktion vid dessa temperaturer och det krävs i regel lång årlig drifttid, mycket värme och högre temperatur än 80°C. Det är även ont om mindre elverk på marknaden, de flesta behöver flera megawatt restvärme kontinuerlig effekt. Svenska Climeon är ett exempel på leverantör. Inom GRETA har en kommande teknik som ännu inte finns kommersiellt från Zigrid studerats. Denna är ännu under validering, men förväntas fungera från ca 75°C.

Det är enklare få lönsamhet för elproduktion vid högre temperatur, som får högre elektrisk verkningsgrad. T.ex. kan 200°C hetolja / termisk olja användas som energibärare till elverk av ORC typ.

2.2 Värmekällor

En kort introduktion till gjuteriprocessen och dess restvärme finns i bilaga 4 för den som inte sedan tidigare är bekant med gjuteribranschen. Figuren nedan visar inbördes relation mellan de olika restvärmekällorna, som ett medelvärde från fem olika gjuterier. Spridningen mellan gjuterierna är stor, i synnerhet inbördes fördelning mellan sand, gods och form.



Figur 1 Inbördes storleksordning mellan olika restvärmekällor. Värmen i smältan hamnar bl.a. i gods, sand och form. Källdata: Swerea Swecast rapport 2011-003, Emma Svensson. Egen bearbetning av data till figuren.

Induktionsugnars kylvatten har temperaturkrav som varierar med ugnsmo­dell, men 75-80°C ut ur ugnen är i många fall möjligt. Däremot kan styr- och reglersystem behöva uppgraderas för att så höga temperaturer ska kunna erhållas. Vidare finns krav på att inkommande kylvatten, t.ex. att det ska vara 30 °C lägre än utgående temperatur och andra faktorer som kan begränsa återvinning. Teknikutveckling skulle kunna leda till högre temperatur, t.ex. 100°C.

Tryckluftskompressor (vattenkylda) ger i regel 75-80°C ut från kompressor och behöver i regel 30-40°C kylvatten in. Dessa är alltså anpassade för värmeåtervinning med en god temperatur ut som standard.

Sandkylare är vanligen inte dimensionerade för att återvinna värme vid 90-100°C, men skulle kunna vara det. Det kan inte uteslutas att andra typer av kylare så som gravitationskylare blir lönsammare än exempelvis roterande trummor i vilka sanden först luftkyls. Det finns t.ex. gravitationskylare som ger 200°C hetolja (termisk olja) och som tål 800°C sand. En sådan kylare är sannolikt inte lönsam om inte värmen ut har ett betydande värde.

Gods kan vara lönsamt att återvinna värme ur, men då främst för att på enklast sätt värma antingen rumsluft eller inkommande uteluft i ventilationen. Det går också att via luftkylning återvinna värmen som t.ex. 90°C värmevatten. Exempel kan vara luftkylda

urslagstrummor som tumlar och avgradar gods ihop med sanden, eller svalugnar/svalhyddor som luftkyler godset.

Värmebehandlingsugnar har heta avgaser (upp till ca 1000-1200°C) vars värme är tekniskt sett enkel att återvinna med en avgaspanna/rökgasvärmväxlare till 100°C värmevatten, förutsatt att det är en förbränningsugn med air/fuel-brännare. Det finns dock flera typer av ugnar, t.ex. elektriska ugnar som saknar avgaser.

Varm processluft, som bl.a. härstammar från svalnande formar och gods, är visserligen smutsig men kan gå att använda till att förvärma uteluft i ventilationen. Fördelen med detta är en perfekt matchning mellan utbud och efterfrågan, i tid, kapacitet och temperatur, samt att flödet är relativt lättåtkomligt.

3 Resultat av fallstudierna

Fallstudien på Baettr visar att det redan finns så mycket 70°C varm värme det relativt sett lilla fjärrvärmenätet i Guldsmedshyttan kan ta emot. Det finns däremot kvarstående behov av het värme (ca 100°C) i fjärrvärmenätet. Inledningsvis undersöktes möjlighet att återvinna 100°C värme ur gods före urslag, därefter möjlighet att återvinna värme ur sand respektive gods.

- Att återvinna värme ur den fyllda formen visade sig svårt med dagens teknik, även om kylrör fyllda med cirkulerande flytande salt kan vara en framtida möjlighet.
- Att återvinna 100°C värme ur sand är inte ett tekniskt problem i sig. Apparaterna finns att köpa, även om de är tämligen obeprövade inom just gjuteribranschen. Vid Baettr räcker den heta värmen i sanden till större delen av fjärrvärmenätets återstående behov (efter att 70°C värme återvunnits).
- Att återvinna värme ur svalnande gods (och kokiller) är mer utmanande än sand och en möjlig lösning med svalhyddor/svalugnar utarbetades i projektet. Problemet är att luft är en dålig energibärare och att det inte finns så många andra alternativa medier för att kyla godset. Luften kan i sin tur kylas mot kylvatten. En enklare variant innebär att enkom värma luft till närbelägna lokaler, men då begränsas tillgängligheten till en kort vintersäsong och till ett fåtal närliggande lokaler. I princip så långt det är rimligt att transportera godset, då hett gods är enklare att transportera en längre sträcka än het luft.

Sammanfattningsvis finns väsentligt mer 100°C restvärme än vad fjärrvärmenätet kan ta emot. En alternativ avsättning skulle kunna vara värmedriven elproduktion. Det finns dock få lämpliga värmedrivna elverk på marknaden. Ett elverk under utveckling håller på att valideras på Baettr under år 2023.

Fallstudien på Smålands Stålgjuteri fokuserade på möjlighet att återvinna avgasvärme från värmebehandlingsugnar. Liksom för sand finns redan de apparater som behövs för att komma åt värmen att köpa. Studien inkluderade även vilka effekter byte till energieffektiva brännare så som oxy-fuel skulle få på tillgången på avgasvärme. Vid Smålands Stålgjuteri skulle värmen ge en inte oväsentlig minskning köpt fjärrvärme, men begränsat till uppvärmningssäsongen.

Mängden värme i det värmebehandlade godset är inte särskilt stor och om det ska vara lönsamt ta till vara den så är det fråga om en mycket rudimentär återvinning under kalla vinterdagar.

Vid Smålands Stålgjuteri gjordes även en mindre studie på energieffektiv process ventilation, där åtgärder minskat elbehovet för en av processventilationssystemen med ca 90%. Även Baettr uppvisar en mindre men inte obetydlig besparing på ett av sina processventilationssystem, med mycket enkla åtgärder och små medel.

Fallstudierna redovisas i detalj i de olika delrapporterna som är indelade efter teknik/system och inte efter gjuteri.

4 Värdeskapande värmeåtervinning

Värmeåtervinningens värdeskapande är beroende både av utbudet i form av restvärme och av värmebehovet. Nedan beskrivs först fyra kriterier som behöver uppfyllas och därefter beskrivs två värmebehov följt av restvärmekällorna som ska uppfylla behovet.

4.1 Grundläggande kriterier

Det finns fyra grundläggande kriterier som behöver uppfyllas om värmeåtervinning ska bli värdeskapande. Dessa gäller både värmekällan och värmebehovet.

Tillgänglighet – Tillgänglighet handlar om hur utbud/efterfrågan ser ut över tid till exempel säsongs- och/eller dygnsvariation. Exempelvis är processvärme tillgänglig under hela året i snarlik omfattning, medan komfortvärme enbart behövs under vintern. Exempel visar på en dålig matchning som minskar lönsamheten.

Åtkomlighet – Hur lätt det är att få åtkomst till värmen? Åtkomlighet inkluderar bland annat:

- avstånd och storlek (så som avstånd till fjärrvärme eller platsbrist för kylare)
- teknisk svårighetsgrad att överföra värmen (t.ex. smutsigt eller korrosivt flöde)
- kunskap, t.ex. risk för produktivitets- och kvalitetsbortfall till följd av okunskap

Temperatur (värmeflöde) – Hur väl restvärmekällans temperatur överlappar värmebehovets krav. Det är enklare att återvinna 40°C värme än 100°C värme ur 90°C sand. Det sista är omöjligt utan värmepump.

Omställningsbar – Hur sannolikt är det att restvärme respektive värmebehov finns kvar i framtiden, i takt med att hela samhället inklusive gjuteribranschen ställs om? Kommer exempelvis avgasvärmets från ugnen att finnas kvar, eller kommer brännaren att effektiviseras eller ugnen förses med elektriska värmare och bli avgasfri?

I bilaga 1 finns en något längre beskrivning av kriterierna.

Nedan följer en genomgång av dels efterfrågan på värme, dels utbudet från de olika restvärmekällorna.

4.2 Efterfrågan - värmebehov

Det går inte att återvinna värme med lönsamhet om det inte finns ett värmebehov. I projektet har främst två värmebehov undersökts. Fjärrvärme respektive värmedriven elproduktion. Egen komfortvärme och tappvarmvatten ingår som del av fjärrvärme.

Temperatur (temperaturdrivet värmefflöde) har identifierats som den mest kritiska aspekten för att få lönsamhet. Ett lämpligt riktvärde är 90-100°C värmevatten ut från processkylare.

4.2.1 Fjärrvärme

Tillgänglighet – I regel blir kapacitetsfaktorn för restvärme hög, om gjuteriet är litet i förhållande till fjärrvärmenätet. Fjärrvärme har en betydande säsongvariation, ca 60% är komfortvärme och ca 30% är tappvarmvatten som (nästan) inte har någon säsongvariation. Ca 10% är förluster i ett svenskt nät.

I bilaga 2 finns ett förenklat varaktighetsdiagram som visar hur värmebehovet vanligen täcks i ett medelstort nät. Baslast utgörs typiskt av industriell restvärme eller av värme från avfallseldade kraftvärmeverk, källor med låg eller negativ rörlig kostnad (SEK/kWh).

Åtkomst – Fjärrvärme är lätt att ansluta mot, förutsatt att inte avståndet är för långt, vilket kan begränsa åtkomst.

Temperatur (värmeflöde) – Fjärrvärme behöver i regel 90-110°C framledningstemperatur vintertid, även om det finns några nyare nät med lägre temperatur. Sommartid räcker vanligen 75°C. Restvärme med lägre temperatur än ovan framledningstemperaturer kan användas till att förvärma fjärrvärmevatten, men då krävs någon värmekälla som slutvärmer vattnet, t.ex. en panna i anslutning till gjuteriet. Returtemperaturen är ca 45°C, men kan vara ca 50°C sommar och vid köldknäppar vilket sätter en nedre gräns för gjuteriets temperatur ut.

Omställningsbart – Det finns inget som tyder på att fjärrvärmen inte överlever omställningen. Tvärtom. Historiskt har fjärrvärmen redan ställt om två gånger i modern tid, först från olja till kol och sedan från kol till biomassa/avfall. En utmaning för fjärrvärmen är att få ned temperaturen i näten, för att enklare kunna ta emot just spillvärme.

Se vidare bilaga 2 som ger en kort introduktion till fjärrvärme

Gjuteriets egna värmebehov

Gjuteriets egna värmebehov består av tappvarmvatten, främst till duschar, komfortvärme och förluster i rörsystem. Komfortvärmebehovet beror av utomhustemperaturen. För gjuthall och liknande utrymmen är brytpunkten för när värme behövs kanske någonstans kring 5°C ute. Detta ger låg kapacitetsfaktor. Det behövs mycket värme under några få timmar per år. Därmed behöver investeringskostnaden för värmeåtervinning vara låg (SEK/kW). Samtidigt är vattenburna värmesystem ofta dimensionerade för 60-75°C eller högre framledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur, vilket ställer krav på kylaren. Möjligen kan lösningar med luft som energibärare fungera för att hålla ned

kostnad, men denna begränsas av att luften tar stor plats och är kostsam att transportera någon längre sträcka.

Båda fallstudierna inkluderar de studerade gjuteriernas värmebehov.

4.2.2 Värmedriven elproduktion

Tillgänglighet – Elen går att sälja 24/7/365 och behovet i det Europeiska elsystemet är närmast oändligt, dygnet och året runt. Däremot varierar försäljningspriset en hel del, bl.a. beroende på sol, vind, utomhustemperatur, tid på dygnet, veckodag och massor av andra faktorer.

De flesta värmedrivna elverken är relativt stora och kräver flera megawatt restvärme, även om det kan gå att hitta maskiner ned mot någon enstaka megawatt tillförd värme.

Åtkomst – Elnätet är extremt enkelt åtkomligt och lagstiftningen är anpassad för småskalig produktion.

Kylning är en förutsättning för elproduktion, ytvatten/sjövatten är att föredra. Med luftkylning blir el-effektiviteten lägre, i synnerhet varma dagar om vanliga (torr-) kylare används.

Temperatur – Restvärmens (drivvärmens) temperatur, liksom temperaturen på kylvattnet som kyler elverket har mycket stor påverkan på elektrisk verkningsgrad. Det finns maskiner från ca 80-90°C, t.ex. från svenska Climeon. Teknik som klarar ca 75°C, kanske lägre, är under utveckling av Zigrid och håller på att valideras/testas på ett gjuteri. Elektrisk verkningsgrad blir låg vid dessa temperaturer, kanske 5-10%. Resterande 90-95% hamnar i kylvattnet som kyler elverket.

Vid högre temperatur, ca 200°C, finns ett flertal tillverkare med s.k. ORC-teknik. Dessa har kanske 15-20% elektrisk verkningsgrad. Då ska man komma ihåg att t.ex. sanden inte heller kan kylas till mer än 200°C av ORC-elverket. Alternativt kan sådana maskiner ge både el och fjärrvärme, så kallad kraftvärme, vilket kanske innebär 5% el och resten som fjärrvärme, med 0 (noll) behov av kylvatten. Dock återstår en hel del värme i t.ex. sanden om den inte kyls till mer än 200°C.

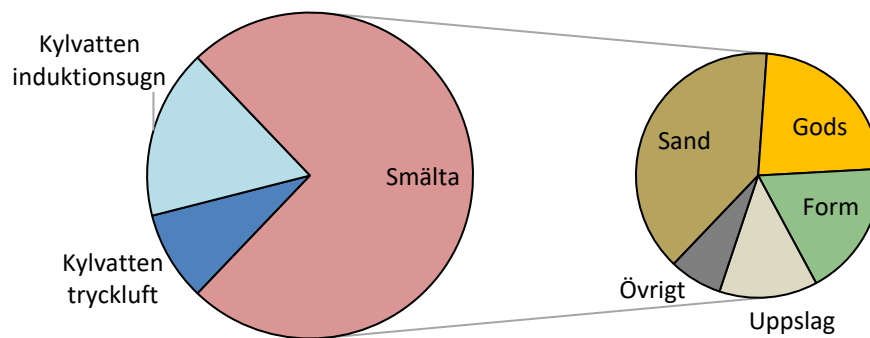
Omställningsbart – Egen elanvändning kommer i princip alltid vara större än vad ett restvärmedrivet elverk kan producera oavsett framtida teknikval, därutöver går elen enkelt att sälja. Det hävdas för de flesta elproduktionstekniker som är under utveckling att de i framtiden ska kunna tillverka el till en kostnad av ca 50 öre/kWh (5 US cent/kWh) oavsett vilken teknik. Detta kan ge en föraning om förväntade framtida elpriser på en marknad i balans med tillräcklig kapacitet. Landbaserad vindkraft och solkraft är redan billigare än 50 öre/kWh på många håll i världen.

Se vidare bilaga 3 som ger en kort introduktion till värmedrivna elverk.

5 Restvärmekällor

Tillgängligheten följer av produktionen. Det innebär att exempelvis jul, nyår och sommarstopp påverkar, liksom shiftschema, batcher och beläggningsgrad. Det finns inte någon utomhustemperaturberoende säsongsvariation av betydelse.

I figuren nedan åskådliggörs några olika restvärmekällornas storlek i förhållande till varandra som ett medelvärde för fem gjuterier. Variationen mellan gjuterier är dock betydande. Figuren får därmed inte betraktas alltför bokstavligt då den alltid kommer vara missvisande jämfört med ett specifikt gjuteri. Framför allt uppvisar inbördes förhållande mellan sand, gods, form och uppslag på stor spridning. Mycket sand ger t.ex. lite värme i godset.



Figur 2: Inbördes storleksordning mellan olika restvärmekällor. Värmen i smältan hamnar bl.a. i gods, sand och form. Källdata: Swerea Swecast rapport 2011-003, Emma Svensson. Egen bearbetning av data till figuren.

Notera att den totala värmemängden (vänstra cirkeln) motsvarar storleksordning 60% av total köpt elektricitet.

Avgasvärme från värmebehandlingsugnar ingår inte i figuren. Storleksordning 50% tillfört bränsle går att återvinna ur avgaserna för vanliga gaseldade ugnar.

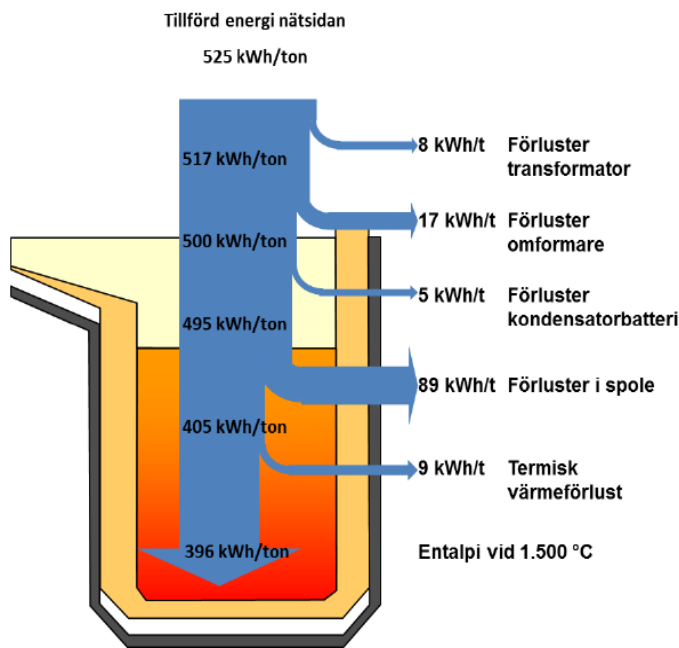
Åtkomligheten är god för kylvattnen från ugn och tryckluft, medan värmen i smältan (efter avgjutning) är oåtkomlig med dagens teknik, annars återfinns det mesta av värmen i smältan och vid hög temperatur (ca 1500°C). Värme i sand är däremot åtkomlig. Värme i gods och formar kan återvinnas via luft som energibärare vilket är en begränsning. Avgasvärme från värmebehandlingsugnar är enkelt åtkomligt med avgaspannor / avgasvärmeväxlare.

Temperatur (värmeflöde) är det största hindret för värmeåtervinning till fjärrvärme och elproduktion. De flesta källor är i sig varma nog, men temperatur går förlorad på vägen, inte minst genom kylares och kylsystems utformning. Större värmeöverförande ytor är kostsamt och tar plats.

Omställningsbar – De flesta värmekällor kommer sannolikt finnas kvar ett tag till, men exempelvis avgaser från värmebehandlingsugnar kan minska till en fjärdedel eller helt och hållet med teknikbyten.

5.1 Smälta

Att utvinna värme ur smältan medan den stelnar och svalnar i sandformen är idealt, men den är inte åtkomlig med dagens teknik. I figuren nedan som är tagen från powerpoint-presentation tillhörande ugnstillverkaren ABP Induction systems så återfinns 75% av tillförd el till ugnen i smältan, före avgjutning.



Figur 3 Energibalans induktionsugn

och tål inte mer än ca 500°C), alternativt finns salt mellan ca 300-600°C. Salter har inte undersökts vidare inom GRETA, men ses som en framtida möjlighet kombinerat med "conformal cooling channels" på liknande sätt som för pressgjutningsverktyg.

Till vinsterna hör styrd avsvaning (produktivitets- och kvalitetsvinster), utomordentligt bra **temperatur** (värmeflöde), hög **tillgänglighet** (all värme finns ju i smältan innan den sprids vidare till sand, form och omgivning). Att kyla smältan/godset direkt i form minskar även behov att i nästa skede kyla sand och gods. Sannolikt fås även bättre arbetsmiljö med svalare sand, form och lokal.

Omställningen lär inte påverka denna värmekälla i sig, om dagens gjuteriteknik överlever omställningen.

Se vidare Greta-rapport Värdeskapande värmeåtervinning från svalnande gjutgoods där detta berörs.⁶

⁶ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport svalnande gjutgoods, RISE rapport nr 2023:96, Karlstad 2023.

Problemet är främst att det inte finns någon bra fluid att kyla smältan med efter avgjutningen. Annars finns t.ex. redan teknik med passiva kyljärn som leder ut värmen i sanden istället för till ett kylrör med en fluid. Fluiden behöver tåla hög temperatur, då stelnings- och svalningsförlopp inte får gå för fort vid temperaturer på ca 7-800°C eller högre beroende på legering. Detta utesluter t.ex. vatten som media. Gas har för låg kapacitet, även om vätgas är 7-8 gånger bättre än kvävgas/luft. Det finns salter som möjligen kan fungera, men dessa har ett arbetsområde från ca 150-500°C (dvs stelnar vid ca 150°C

5.2 Sand

Variationen är stor mellan gjuterier, både avseende värmemängd och temperatur. I rapporten "Värmeåtervinning från svalnande gjutgods", anges att 39% av energin i smältan kyls bort i sandkylare, samt att 13% förloras vid uppslag. Detta är medelvärden för de i studien deltagande gjuterierna. Spridningen mellan de fem gjuterierna är stor, mellan 20% och 57% av energin i smältan hamnar i sanden beroende på gjuteri.

Tillgänglighet – Sand blir tillgänglig batchvis men är enkelt lagringsbar en kortare tid. Hur mycket värme som finns i sanden varierar mellan gjuterier och beror även på dess temperatur och inte enbart massflöde.

Åtkomlighet – Sanden är enkelt åtkomlig efter urslag och är värmetekniskt delvis att betrakta som en fluid, vilket gör att den även är förhållandevis lätt att värmeväxla till lämplig energibärare (så som värmevatten/kylvatten).

Temperatur – Temperaturen är i regel god, men det är stora skillnader mellan gjuterier, från under 100°C till långt över 200°C. Sanden tenderar att isolera sig själv vilket begränsar värmeflödet. Det krävs någon form av omrörning mot den värmeväxlande ytan / kyl luften. Det kan även gå att selektivt avskilja sval sand, t.ex. sand med intakt bindemedel, så att den kvarvarande sandens medeltemperatur blir högre.

De sandkylare gjuterier använder idag tenderar att förstöra temperaturen vilket i praktiken minskar värmeflödet. Det finns dock andra kylare/värmeåtervinnare på marknaden, både beprövade och sådana som används till liknande partiklar och borde fungera med gjuterisand.

Omställningsbart – ja, oavsett typ av sand, så länge sandform används vid gjutning.

Se vidare Greta-rapport Värdeskapande värmeåtervinning från sand.⁷

5.3 Gjutgods

Det mesta av värmen som fanns i smältan har överförts till sand, form och omgivning. Enligt samma studie som ovan så återfinns drygt 20% av värmen i smältan i godset, vilket alltså motsvarar knappt hälften av värmen i sanden. Det kan dock vara nästan lika mycket värme i godset som i sanden, Spridningen är 13-30% av värmen mellan gjuterierna i studien och där det är mycket värme kvar i godset blir det lite värme i sanden.

Även formarna innehåller en del värme efter urslag, i snitt nästan lika mycket som godset. Temperaturen är dock lägre än godsets, även om kokiller kan vara nog så varma. Precis som för allt annat är spridningen mellan gjuterier stor.

Tillgänglighet – Värmen kommer batchvis vid urslag.

⁷ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport sand, RISE rapport nr 2023:97, Karlstad 2023.

Åtkomlighet – Åtkomligheten är begränsad, då gods och formar inte är fluider utan fast materia. Det saknas även lämplig fluid att effektivt kyla godset med eftersom vatten är olämpligt. Närmast till hands är luft som har dålig kapacitet. Luft kan i sin tur värmväxlas till vatten.

En möjlighet är att värma intilliggande lokaler med recirkulerande luft, eller förvärma ventilationsluft på enklast möjliga sätt. Luft är kostsamt att transportera, avstånd är avgörande, luftflödet blir stort.

Att spraya på flytande vatten (aerosol) på godset med fasövergång till ånga som följd, bedöms som svårt utan att påverka kvalitet (ojämn/snabb avsvälning). Aerosolspray bör annars kunna gå att överföra till ett ca 80-90°C värmevatten, beroende på andel luft.

Temperatur – Temperaturen är god vid urslag, vanligen över 400°C, men godset är i fast form, vilket gör det svårare att överföra temperaturen till en fluid.

Omställningsbar – ja

Se vidare Greta-rapport Värdeskapande värmeåtervinning från svalnande gjutgods.⁸

5.4 Kylvatten från induktionsugnar

Induktionsugnarnas krav på kylvatten varierar mellan tillverkare och modeller. I **Fel! Hittar inte referenskälla.** ovan är det 17% av tillförd elektricitet till ugnen som blir värme i spolen, vilken i sin tur kyls med kylvatten. Detta är i samma storleksordning som kvarvarande värme i godset och storleksordning hälften av värmen i sanden. Verklig förlust beror förutom av ugnstyp även på hur ugnen körs.

Tillgänglighet – Värmen kommer batchvis

Åtkomst – Kylvattnet ut ur ugnen är mycket lättåtkomligt, kylslinga för kylslinga, medan själva induktionsspolen som är den egentliga källan i praktiken är oåtkomlig för gjuteriet.

Temperatur – Induktionsspolen (av koppar) tål avsevärt högre temperatur än 100°C, men isolationsmaterialet begränsar temperatur, ihop med kylvattensystemets konstruktion och reglering. I praktiken är ca 80°C möjlig temperatur på kylvattnet ut ur ugnen för många modeller/fabrikat, men inte alla. Att nå 80°C kan kräva att styr- och reglersystem behöver trimmas och/eller uppgraderas.

Det finns isolationsmaterial som tål högre temperaturer och det finns förmodligen inte något praktiskt hinder att utveckla ugnar som t.ex. ger 100-120°C fluid ut, men en sådan ugn blir så klart dyrare att tillverka.

Omställningsbar – ja

Se vidare Greta-rapport Värdeskapande värmeåtervinning från gjutgods, kapitel gällande fallstudien på Baettrs gjuteri Guldsmedshyttan där induktionsugn delvis berörs.⁹

⁸ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport svalnande gjutgods, RISE rapport nr 2023:96, Karlstad 2023.

5.5 Tryckluftskompressorer

Tryckluft är inte försumbart då efterbehandlingen (rensning) kräver mycket elektricitet till tryckluft som används för blästring. I ovanstående refererade studie (Swerea Swecast rapport 2011-003) var snittet 6% av köpt elektricitet. Jämfört med gjutprocessen motsvarar värmen från tryckluften storleksordning hälften av värmen i induktionsugnens kylvatten, eller en fjärdedel av värmen i sanden.

Tillgänglighet –Värmen finns framför allt tillgängligt när renseriet är i drift.

Åtkomlighet – Extremt enkelt. Vattenkylda tryckluftskompressorer har kylsystem som konstruerats för värmeåtervinning som standard.

Temperatur – Ca 75-80°C vatten ut och ca 30-40°C in i kompressorn är relativt vanligt. Beroende på typ av kompressor kan det finnas två olika kylbehov i kompressorn med lite olika temperaturkrav. 90°C ut är kommersiellt tillgängligt under vissa förutsättningar.

Omställningsbar – Tryckluften används i stor omfattning till efterbehandling, det vill säga rensning som sker med tekniken blästring. Författaren saknar kunskap om alternativa rensningsmetoder. Blästring är inte bra sett till arbetsmiljö och tryckluft har låg energieffektivitet.

5.6 Värmebehandlingsugnar

Det finns flera typer av ugnar. För den absolut mest vanligt förekommande ugnen, som är en gaseldad ugn med öppen låga i ugnens kammare återfinns ca 50% av tillförd energi i avgaserna. Alternativa tekniker så som oxy-fuel brännare minskar avgasvärmets till kanske 15-20% och en elektrisk ugn har inga avgaser alls.

Tillgänglighet –Värmen finns batchvis tillgängligt, främst under uppvärmningsfasen som kanske varar en till en och en halv timme åt gången.

Åtkomlighet – Värmen är enkelt åtkomlig med en avgaspanna.

Temperatur – 100-110°C vatten ut är inga problem och det går även att producera t.ex. 120°C ånga.

Omställningsbar – I en framtid utan fossila bränslen kan t.ex. bio-propan användas, men om framtiden även innebär dyrare bränsle kan t.ex. oxy-fuel eller elektriska tekniker som har avsevärt mindre avgasvärme eller inget avgasvärme att bli aktuella.

Se vidare Greta-rapport Värdeskapande värmeåtervinning från värmebehandlingsugnar.¹⁰

⁹ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport svalnande gjutgods, RISE rapport nr 2023:96, Karlstad 2023.

¹⁰ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport värmebehandlingsugn, RISE rapport nr 2023:98, Karlstad 2023.

5.7 Processutsug

Processutsug har inte studerats närmare. Det enda tänkbara värmebehov som matchar processutsug är förvärmning av ventilationsluft (uteluft) och det behovet matchas å andra sidan väldigt väl gällande såväl tillgänglighet, åtkomlighet som temperatur. Behovet är dock fortsatt begränsat till ett fåtal timmar per år med kallt väder. Åtkomligheten är rimlig även för smutsig luft med rätt sorts värmeväxlare, exempelvis nålrörsväxlare. Omställningsbarhet beror delvis på vilka gjuteriprocesser som i framtiden kommer att kapslas in/robotiseras: koncentrerade flöden med högre temperatur är enklare än stora utspädda flöden med lägre temperatur.

Se vidare Greta-rapport Effektivisering av processventilation som delvis berör värmeåtervinning.¹¹

¹¹ Oskar Räftegård: Energieffektiv processventilation, RISE rapport nr 2023:98, Karlstad 2023.

6 Slutsatser

Huvudrapporten sammanfattar resultat från fallstudierna och för de olika restvärmekällorna för två olika värmebehov.

Genomgångna restvärmekällor är kylsystem för induktionsugn och tryckluft, samt värmeåtervinning från gods, sand och värmebehandlingsugnar. Behoven består dels av fjärrvärme (som inkluderar egen intern komfortvärme) och värmedriven elproduktion.

Sammanfattningsvis behöver utbud och efterfrågan matcha varandra utifrån fyra grundläggande aspekter:

1. Tillgänglighet – mängd värme och över tid, så som dygns- och säsongvariation, sammanvägd kapacitetsfaktor för utbud och efterfrågan, etc.
2. Åtkomlighet – så som avstånd, utrymmeskrav, teknisk svårighetsgrad, tillgång till beprövad teknik, etc.
3. Temperatur – I vilken grad restvärmen är varmare än behovet, temperaturförluster över värmeväxlare, etc.
4. Omställningsbar (eller framtidssäker) – Hur sannolikt det är att utbud respektive efterfrågan kvarstår efter omställningen till ett hållbart samhälle. Ersätts fossileldade ugnar med elektriska så försvinner t.ex. avgasvärmen.

Temperatur är den största show stoppern för befintliga utrustningar, så som sandkylare eller kylvattensystem. Temperaturen blir för låg för att enkelt kunna användas till fjärrvärme eller värmedriven elproduktion. 100°C värme är enkel att använda till fjärrvärmeändamål och möjlig att använda till värmedriven elproduktion. Lägre temperatur är svårare, men ned till ca 75°C är det generellt sett rimligt, men lokala förutsättningar blir allt mer avgörande.

Värmebehandlingsugnar och sand verkar generellt ha god potential att återvinna värme från med högre temperatur (t.ex. 100°C) vilken kan komplettera och värma på svalare restvärme från t.ex. induktionsugnarnas kylsystem (ca 70°C).

Fallstudien vid Baettr visar på god tillgänglighet och temperatur både i sand och gods, men sanden är enklare åtkomlig än godset.

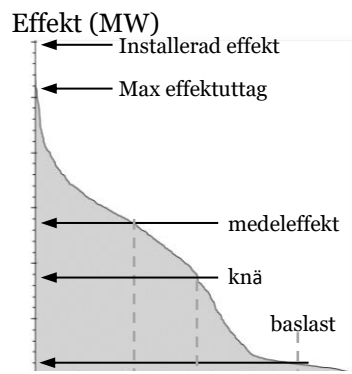
Fallstudien vid Smålands stålgiuteri visar på god tillgänglighet, åtkomlighet och temperatur för återvinning av avgasvärme från värmebehandlingsugn.

Bägge fallstudierna visar att gjuteriernas egna komfortvärmebehov ger dålig matchning mot utbudet sett till tillgänglighet. Uppvärmningssäsongen är för kort och utbudet är mycket större än efterfrågan. Fjärrvärme är ett bra alternativ om det är åtkomligt (avstånd, samt intresse från fjärrvärmebolaget). Utbudet av värmedrivna elverk är begränsat, el-verkningsgraden kan förväntas bli 5-10% av tillförd drivvärme.

Bilaga 1: Kriterier för värdeskapande värmeåtervinning

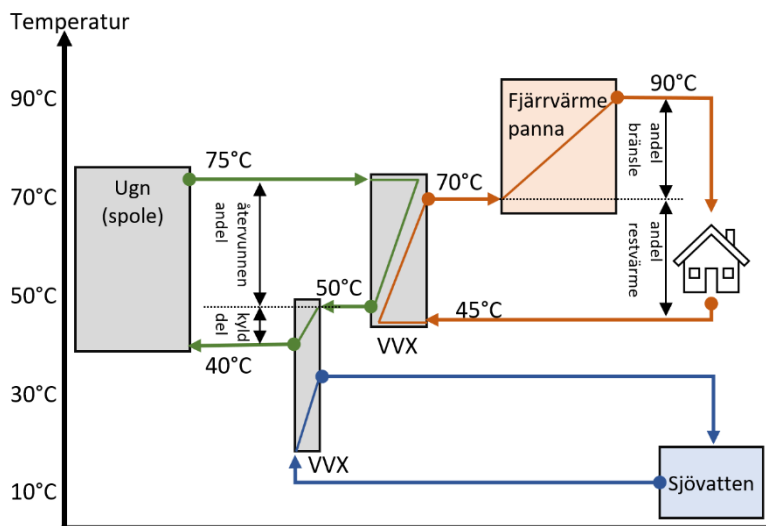
Tillgänglighet avser tillgång/behov av värme över tid. Tillgänglighet kan uttrycks i form av effekt, energi och kapacitetstal så som fullasttimmar, men även i tiden, t.ex. per batch, per kalendertimme, etc. Varaktighetsdiagrammet till höger illustrerar några aspekter.

Åtkomlighet avser hur lätt det är att återvinna värmen. Åtkomlighet kan delas upp i en rad parametrar. Om tekniken är beprövad inom gjuteribranschen, det vill säga kunskap/erfarenhet är en viktig sådan. Andra parametrar kan vara om flödet är svårt att värmeväxla (smutsigt eller korrosivt), utrymmesbehov och avstånd.



Figur 3 Varaktighetsdiagram för komfortvärme

Temperatur avser i detta sammanhang temperaturöverlapp och temperaturförluster mellan värmekällans temperatur och mottagarens, inklusive värmeöverförande medium så som värmevatten/kylvatten, temperaturförlust över värmeväxlare med mera. En alternativ benämning är **värmeflöde**. I figur 5 illustreras hur temperaturer påverkar återvinningen, från vattenburen restvärme (gröna pilar) till fjärrvärme (orange), men där icke-matchande temperaturer innebär att all restvärme inte kan användas: Värme kyls bort (blått kylvatten) eftersom temperaturen blir för hög för ugnen. Dessutom minskar behovet av värme eftersom en panna tillför delar av värmen, som i sin tur beror på att restvärmens temperatur är för låg.



Figur 4 Princip för ugnskylning och värmeåtervinning till fjärrvärme

Omställningsbar eller framtidssäker, avser om värmekälla respektive värmebehov kommer finnas kvar efter pågående omställning och med vilken kravbild. Inom gjuteribranschen finns exempelvis fossileldade ugnar. Ersätts dessa med elektrisk teknik, försvinner avgasvärmets. Installeras oxyfuelbrännare försvinner nästan allt avgasvärme så att bara en bråkdel återstår, för att ta ett annat exempel. Andra trender kan vara mer svåröversedda. En omställning går fort när den väl inträffar.

Bilaga 2: Kort om fjärrvärme

Nedanstående kortfattade bakgrund syftar till att ge en inledande förståelse för värmeåtervinning till fjärrvärme.

Restvärmens värde i fjärrvärmenätet

Värdet på restvärmen beror dels på vilken produktion värmen ersätter, dels på kvalitetsparametrar, så som temperatur.

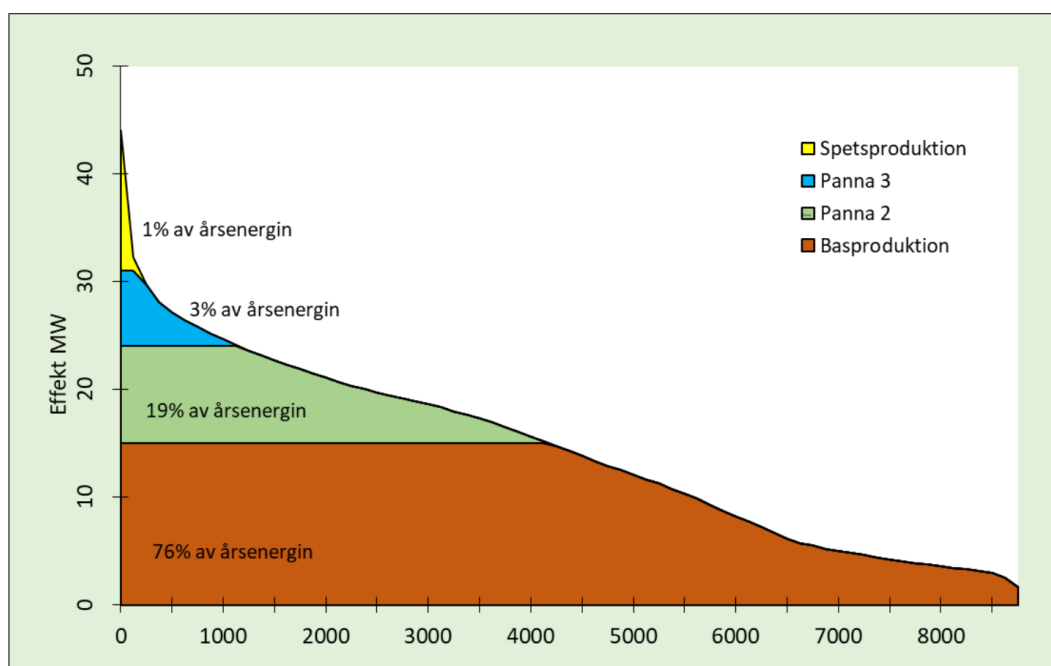
Värme med låg temperatur kan liksom batchvisa leveranser kan ge upphov till merkostnader eller att all restvärme inte kan tillvaratas för fjärrvärmeändamål.

På kundsidan är fjärrvärmen konkurrensutsatt och tävlar mot bl.a. värmepumpar. Fjärrvärme är därför helt och hållet beroende av prisvärda värmekällor/-bränslen, så som restvärme från gjuterier. Det räcker alltså generellt sett inte att restvärmens blir lika dyr som den produktion som den ersätter, utan den behöver många gånger bli billigare.

Alternativkostnad (bränslepris) kan dock vara en lämplig utgångspunkt för att bedöma storleksordningen på det värde som skall fördelas mellan gjuteri och fjärrvärmebolag vid en restvärmeleverans. För att bedöma om det alls kan gå att genomföra.

Fjärrvärmens värmeproduktion

Större nät har ofta baslast-, mellanlast- och topplastpannor, där prisvärd baslastvärme är det som gör fjärrvärmen konkurrenskraftigt mot t.ex. värmepumpar. I figur 6 visas ett förenklat varaktighetsdiagram som åskådliggör hur olika pannor nyttjas under ett år, där värmebehovet är rangordnat från timme med störst behov till timme med lägst behov. (I princip från årets kallaste till varmaste dag).



Figur 5 Förenklat varaktighetsdiagram, Källa: Energiforsk rapport 2019:591 Jämförelse av effektreduceringsåtgärder i fjärrvärmenät.

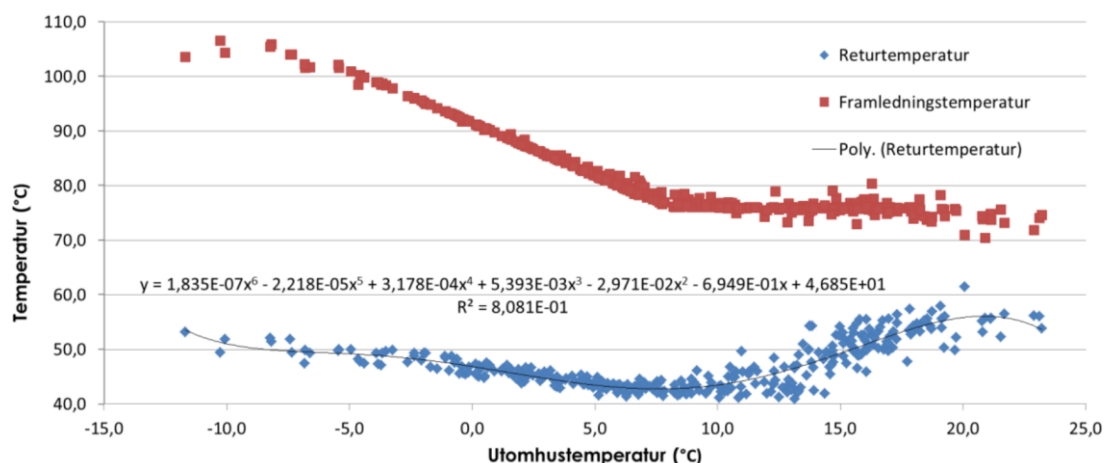
Baslast kan bestå av fastbränslepannor avsedda för att elda billiga våta bränslen eller avfall, alternativt utgöras av industriell restvärme. Det är vanligt att detta återspeglas mot kund i tariffstrukturen, med riktigt billig fjärrvärme på sommaren.

Mindre fjärrvärmenät har färre pannor. Ofta eldas dessa med något lokalt mellandyrt restbränsle så som skogsflis. För riktigt små nät vill man dessutom undvika bemanning av pannorna, vilket innebär att träpellets eller något annat torrt briketterat fastbränsle är vanligt.

Fjärrvärmedistribution

Fjärrvärmedistribution består av två rör i marken med ett cirkulerande vattenflöde. Det är vattenflödet och vattentemperaturerna i som avgör om och hur ett gjuteri kan leverera restvärme.

Vattenflödet i nätet styrs av kundernas värmebehov (ventil öppnar hos kund). Sommartid är ca 75° en vanlig framledningstemperatur i de flesta nät. När behovet ökar till följd av kallare väderlek och ökat behov av komfortvärme hos kund, ökar flödet i nätet (ventil öppnar). När flödet närmar sig maximal kapacitet i rörledningarna ställs framledningstemperaturen upp av fjärrvärmebolaget. De flesta svenska nät är dimensionerade för en maximal temperatur mellan 90-110°C. Returtemperaturen i nätet blir vad den blir, beroende på hur väl kundernas anläggning fungerar, kortslutningar i nätet, med mera. 40-45°C brukar vara dimensionerande temperatur, verklig temperatur mellan 45-55°C. Högre vid kallt väder och vid låglast. Nedanstående figur ger exempel på hur det kan se ut i ett svenskt fjärrvärmenät. Notera att det är väldigt få dagar som är riktigt kalla respektive varma och att många av punkterna är överlappande.



Figur 6 Dygnsmedeltemperatur för fram- och returledning vid Gunneboverket i Lund vid olika utomhustemperaturer, som dygnsmedelvärden. Källa: Optimerad framledningstemperatur i Lunds fjärrvärmenät, Falkvall & Nilsson (2013)

Om gjuteriet finns långt ut i fjärrvärmenätet, kan det verkliga temperaturkravet på framledningen vintertid i den lokala grenen av fjärrvärmenätet vara lägre än i den centrala fjärrvärmestammen, beroende på var i nätet flödes-flaskhalsarna finns. Det kan alltså räcka med 75-80°C även en kall vinterdag. Det finns tekniska lösningar för att "shunta ned" en hel fjärrvärme-gren. Därefter går det att förse denna del av nätet med svalare värme. Det går då även att blanda ett "övertempererat" vatten från centrala

fjärrvärmenätet (t.ex. 100°C) med ett "undertempererat" vatten från gjuteriet (t.ex. 70°C). Restvärmeleveransen begränsas i dessa fall till vattenflödet i den del av nätet där gjuteriet finns, till det tillgängliga delflödet och till den delmängd av flödet som kommer från gjuteriet.

Andra möjligheter om gjuteriet inte kan leverera färdig värme med tillräckligt hög temperatur, är antingen merinvesteringar så som en panna eller eldriven värmepump i direkt anslutning till gjuteriet eller att gjuteriet ligger nära en central stam i nätet, så att gjuteriet kan värma på vattnet i returledningen till fjärrvärmepannan. Sådana lösningar finns bl.a. i Charlottenberg och Guldsmedshyttan (i denna fallstudie) där gjuteri och fjärrvärmens panncentral ligger tillräckligt nära varandra.

Om gjuteriets restvärme kommer batchvis kan det finnas behov av en ackumulatortank om nätets kapacitet är begränsad. En ackumulatortank rymmer en volym vatten, inte en volym energi. Stor temperaturskillnad mellan varm och kall sida ger en mindre tank och vice versa. Stor temperaturskillnad underlättar dessutom temperatursiktning i tanken, så att inte varmt och kallt vatten blandas, vilket skulle ge en stor temperaturförlust och därmed påverka lagringsförmåga negativt.

Bilaga 3: Kort om värmedrivna elverk

Nedanstående text är en översiktlig introduktion till småskalig värmedriven kraftproduktion, det vill säga att göra elektricitet av restvärmen.

Restvärmens värde för gjuteriet

För gjuterier är värdet av elproduktion främst att ställa mot alternativkostnaden att köpa elenergi (SEK/kWh). Utöver energikostnad har nätet även en effektkostnad (kr/kW för högsta uttag) vilken kan minskas med den egna produktionen.

Småskaliga värmedrivna elverk

Elverkningsgraden för en liten värmekraftanläggning som drivs med lågtempererad värme (70-100°C) kan antas till storleksordning 5-10%, men beror bl.a. på temperaturskillnad mellan varm restvärme och kallt kylvatten. (Mer i detalj om detta nedan). 10% elverkningsgrad innebär att 9 delar av 10 av restvärmen hamnar i kylvattnet och endast en (1) del blir till elektricitet.

Har man restvärme med högre temperatur är det möjligt att använda fjärrvärmen som kylvatten, resulterande i 1 del el och resten (9 delar av 10) som fjärrvärme. Tyvärr är det inte praktiskt möjligt att få ut dessa temperaturer från gjuterier generellt sett med dagens teknik.

Leverantörer

Det finns ett stort utbud av tillverkare som använder Organic Rankine Cycle, ORC, för "småskalig" elproduktion. Ofta är det fråga om ca 10 MW drivvärme, men det finns mindre apparater, ned till någon megawatt värme. ORC-system finns t.ex. framtagna för hetvattenpannor som konverterats till termisk olja, s k hetolja (kiselolja). Drivvärmets i hetoljan är då ofta drygt 200°C, men ORC-tekniken återfinns för många temperaturer, med olika arbetsmedia. Turboden och Againty är exempel på tillverkare respektive leverantör av sådana lösningar.

Climeon har en ORC liknande teknik som är optimerad för 90°C, men klarar tillloppstemperatur på drivvärmets mellan 80-120°C. Climeon finns installerad ombord på framförallt kryssningsfartyg, men finns t.ex. även på stålverk. Maskinen ger 150 kW el, vilket innebär att maskinen borde behöva storleksordning 1 MW restvärme eller mer.

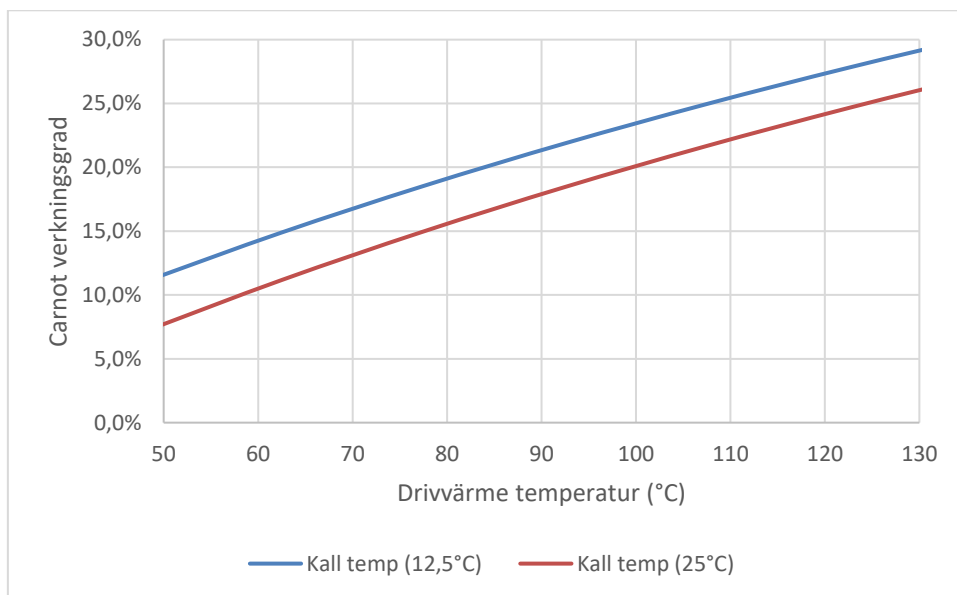
Zigrid har en teknik som är under validering lämplig för 50-70°C drivvärme, men fungerar enligt uppgift ända ned till ca 35°C. Deras maskin är i sammanhanget liten och deras tanke är att den ska installeras i rack med tio- till hundratals maskiner. Förutsättningar för denna teknik har undersökts på Baettr, en prototyp finns installerad. Tekniken är under validering när denna rapport färdigställs.

Utvikning om elverkningsgrad och temperaturberoende

Värmedriven elproduktion får högre maximal teoretisk elverkningsgrad med ökad temperaturskillnad mellan varm drivvärme och kall kylning. I stora värmekraftverk används hetånga (400-600°C) och dessa når ca 75% av maximal teoretisk elverkningsgrad, s k Carnotverkningsgrad. För mindre anläggningar som drivs med

restvärme är förmodligen verkningsgraden (inkl. parasiteffekter från kraftelektronik, pumpar, etc) i härad 50% av teoretisk maximal verkningsgrad.

Figuren nedan visar maximal teoretisk verkningsgrad (Carnotverkningsgrad), ekvationen återfinns nedan. I figuren nedan används drivvärmets, respektive kylvattnets medeltemperatur (in/ut).



Figur 7 Teoretisk Carnotverkningsgrad för elproduktion med restvärme. I figuren används medeltemperatur för respektive drivvärme och kylvatten.

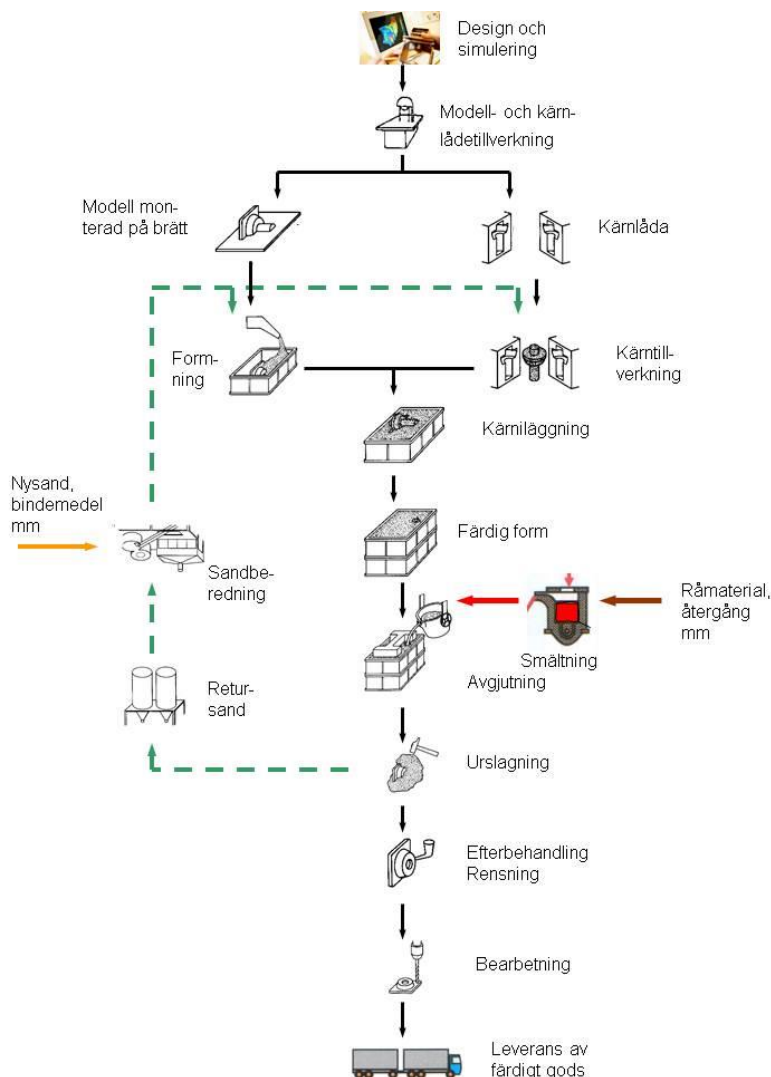
Verklig elektrisk verkningsgrad för hela systemet kan antas till storleksordning halva Carnotverkningsgraden.

Ur figuren framgår att högre restvärmemetemperatur ger ett betydligt högre värdeskapande. Att höja drivvärmets temperatur med 15°C från 70/55°C till 85/70°C (med 10/15°C kylvatten) ger 36%(!) högre elproduktion, allt annat lika.

Att kunna använda en existerande tillgång till kallt kylvatten (sjövatten) underlättar att få ekonomi i investeringen, gentemot om ett nytt kylvattensystem behöver byggas. Givetvis kan även luft användas för kylning av kylvattnet.

Bilaga 4: Kort om gjuteriprocess och restvärme

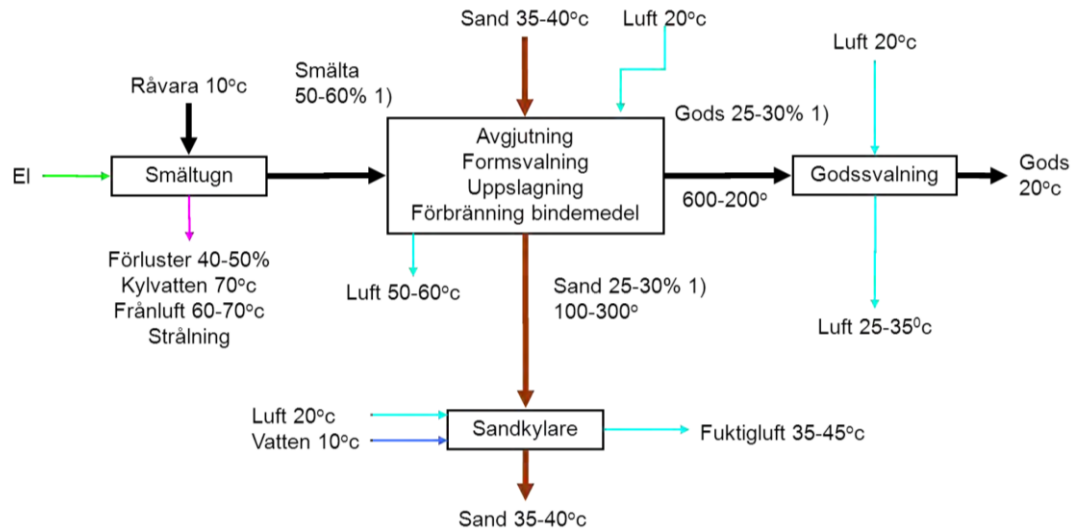
Nedanstående processbeskrivning vänder sig främst till de som inte är införstådda i gjuteriprocessen. Kapitlet avser främst gjutning med järn/stål i sandform. Gjuterihandboken¹² är en bra källa till den som söker djupare kunskap. I figuren nedan återfinns ett översiktligt processschema.



Figur 1: Processchema. Källa: Gjuterihandboken (metallkompetens.se), nedladdad 2022-04-22.

Energi används främst för smältning, men hjälpprocesser så som processventilation och komfortvärme är inte obetydliga. Notera att gjutning är en batchprocess där ugnen är i drift ett fåtal timmar åt gången. Antalet batcher per dag beror av gjuteriets produktion: antal ugnar, typ av produkt, skiftgång, etc. En generell energibalans för ugn, smälta, gods och sand visas i figur 2 nedan.

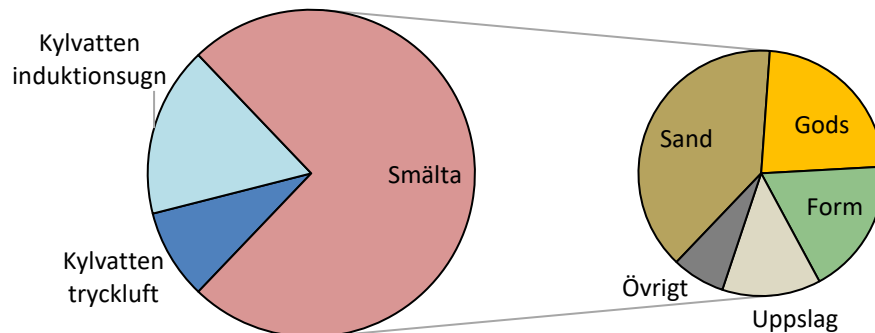
¹² <https://metallkompetens.se/metallkunskap/gjuteriteknik/>



1) Andel värmeenergi jämfört med tillförd energi i smältugn

Figur 2 Energiflöden i sand och gods, Källa: Swerea Swecast rapport 2011-006 "Värmelagring för energiintensiva SMF med fokus på svensk gjuteriindustri", Viktor Arvidsson, Per Sommarin.

Restvärme uppstår främst som värmeförluster från induktionsugn och tryckluft, samt värme som härstammar från smältan. Inbördes storleksordning för dessa källor visas i figuren nedan, där värmen i smältan till stor del hamnar i sand, gods och form. Spridning mellan olika gjuterier är dock betydande.



Figur 3: Inbördes storleksordning mellan olika restvärmekällor. Värmen i smältan hamnar bl.a. i gods, sand och form. Källdata: Swerea Swecast rapport 2011-003, Emma Svensson. Egen bearbetning av data till figuren.

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, Internet: www.ri.se

Industriell omställning
RISE Rapport 2023:95
ISBN: 978-91-89821-73-6