

RI. SE

MATERIAL OCH
PRODUKTION
KOMPONENTGJUTNING



Hållbara gjutna produkter. Slutrapport från
projektet GRETA

Åsa Lauenstein

RISE Rapport 2023:126

Hållbara gjutna produkter. Slutrapport från projektet GRETA

Åsa Lauenstein

Abstract

Sustainable cast products. Final report from the GRETA project

There is a high awareness within Swedish foundry industry that a sustainable transition is both necessary and desirable and that it to a high extent will affect energy consumption and carbon footprint as well as the handling of raw materials and residues. This project provided Swedish foundry industry with the means to achieve a sustainable transition with maintained competitiveness through more efficient use of resources.

The project was divided into three parts. The first examined how a higher resource efficiency can be achieved for the energy consumption for a given cast component and production process. Starting with a given cast product, the second part investigated means to achieve a higher resource efficiency in the production process itself. In the third part, the perspective was further broadened as the use phase of the cast component was included in the discussion.

The work included twelve case studies and pilot projects following specific investments in knowledge and equipment at a number of foundries. The member companies of the Swedish Foundry Association were involved in interviews and discussions in order to prioritize actions and solutions in each case. A large number of open reports were published and six new research projects were started.

Key words: foundry, metal casting, sustainable transition

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:126

ISBN: 978-91-89896-13-0

Innehåll

Förord.....	5
1 En hållbar och resurseffektiv gjuteriindustri	7
1.1 Gjuteriernas utmaningar hösten 2019	8
1.2 GRETA: Så började det	9
1.3 Projektupplägg	9
1.4 Erfarenheter från projektarbetet	11
1.5 Vad projektet har åstadkommit	12
2 Resurseffektiv design av gjutgods	15
2.1 Hållbar design av gjutna produkter	16
2.2 Fallstudier	18
2.2.1 Design och hållbarhet för gjutna komponenter	18
2.2.2 Svenska gjuteriers resa mot cirkulär ekonomi	19
2.2.3 Cirkularitet och affärsmodeller	19
3 Resurseffektiv materialanvändning	21
3.1 Materialflöden i gjutprocessen	21
3.2 Fallstudier	23
3.2.1 Kvalitet på primär och återvunnen metall	24
3.2.2 Miljöpåverkan av kärnbindemedel	24
3.2.3 Ökad användning av spånor vid stål gjutning	25
3.2.4 Klassificering av restmaterial vid järngjutning	25
4 Resurseffektiv energianvändning	26
4.1 Energianvändning i gjutprocessen	26
4.2 Fallstudier	27
4.2.1 Drivkrafter för energieffektivisering	27
4.2.2 Validering av energikrav på system och komponenter	28
4.2.3 Hantering av energitoppar genom batterilager	28
4.2.4 Värdeskapande värmeåtervinning	29
4.2.5 Energieffektiv processventilation	30
5 Framtidens hållbara gjuteri	31
5.1 Digitala verktyg för klassificering av miljöpåverkan	32
5.2 Cirkulära modeller för metaller och sand	34
5.3 Cirkulära affärsmodeller för gjutgods	35
5.4 Energieffektivitet i hela värdekedjan	36
5.5 Vad händer efter GRETA?	38
Bilaga 1. Rapporter inom projektet	39
Bilaga 2. Extern media under projekttiden.....	41

Förord

Projektet GRETA har syftat till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft. Medvetenheten är hög inom svensk gjuteriindustri om att denna omställning är både nödvändig och önskvärd och att den i hög grad kommer att påverka såväl energianvändning och koldioxidavtryck som hanteringen av råmaterial och restprodukter. Däremot har kunskapsläget hos olika företag och verksamheter tidigare varierat kraftigt inom dessa områden. Målet för projektet var därför att ge svenska gjuterier verktyg för en hållbar omställning genom mer effektiv resursanvändning.

Projektet GRETA samlade gjuteriföretag, deras kunder och företagens leverantörer. Projektet genomfördes av RISE och Jönköping University 2020–2023 och finansierades av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

Sammanfattning

Projektet GRETA har syftat till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft. Medvetenheten är hög inom svensk gjuteriindustri om att denna omställning är både nödvändig och önskvärd och att den i hög grad kommer att påverka såväl energianvändning och koldioxidavtryck som hanteringen av råmaterial och restprodukter. Däremot har kunskapsläget hos olika företag och verksamheter varierat kraftigt inom dessa områden. Målet för projektet var därför att ge svenska gjuterier gemensamma verktyg för en hållbar omställning genom mer effektiv resursanvändning.

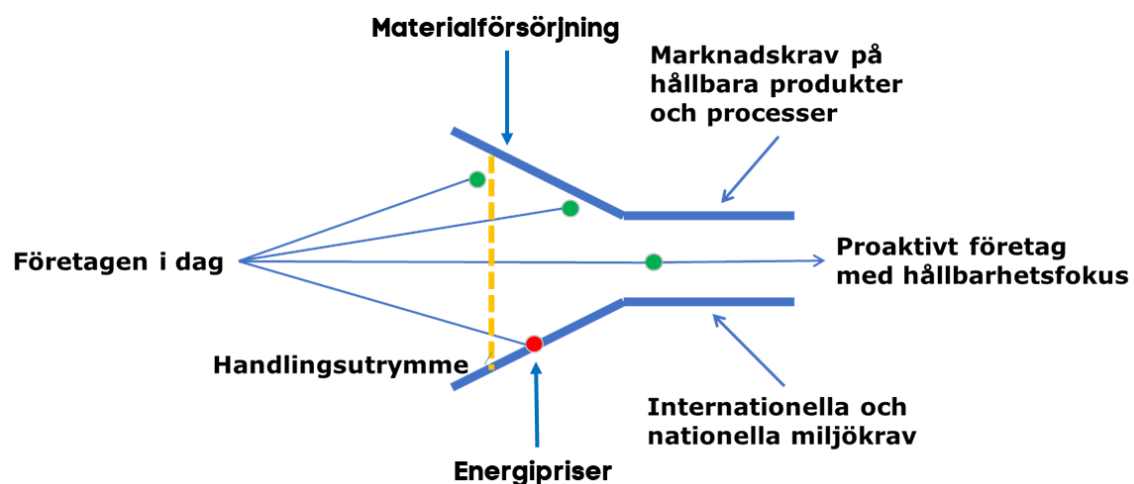
Projektarbetet organiserades i tre arbetspaket. Det första undersökte hur högre resurseffektivitet kan uppnås för energianvändningen för en given gjuten produkt och en given framställningsprocess. Det andra utgick från en given gjuten produkt och undersökte förutsättningar för högre resurseffektivitet i framställningsprocessen. I det tredje vidgades perspektivet genom att den gjutna produktens användningsfas inkluderades i diskussionen.

För att kunna prioritera och formulera förbättringsförslag på kort och lång sikt sammanställdes tillgängligt vetande i en omfattande nulägesanalys inklusive internationell *state-of-the-art*. Därefter konsoliderades och implementerades kunskapen genom att förbättringar föreslogs, testades och utvärderades. Detta skedde genom tolv fallstudier, pilotprojekt och examensarbeten kopplade till specifika investeringar i utrustning och kompetens hos utvalda gjuteriföretag. Under hela projekttiden diskuterades tillsammans med Svenska Gjuteriföreningens medlemsföretag vilka åtgärder som bör prioriteras i varje enskilt sammanhang. Ett stort antal vetenskapliga publikationer, öppna rapporter och tidningsartiklar publicerades. Kunskapsluckor identifierades och kompletterande forsknings- och utvecklingsarbete initierades, vilket bland annat lett till sex nystartade forskningsprojekt.

Projektet GRETA samlade gjuteriföretag, deras kunder och företagens leverantörer. Projektet genomfördes av RISE och Jönköping University 2020-2023 och finansierades av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

1 En hållbar och resurseffektiv gjuteriindustri

Projektet GRETA har syftat till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft. Man kan också säga att projektet har velat hjälpa gjuterier att tillsammans med sina leverantörer och kunder ta sig igenom ”omställningstratten” för att rusta sig för framtiden (Figur 1). Svensk gjuteriindustri är medveten om att denna omställning är både nödvändig och önskvärd och att den i hög grad kommer att påverka alla områden, från energianvändning och koldioxidavtryck till hanteringen av råmaterial och restprodukter, och därför i förlängningen även själva affärsmodellen. Däremot konstaterade branschen på sina strategidagar 2019 att olika företag och verksamheter inom gjuteribranschen hade kommit olika långt i frågan och också hade rätt olika bild av vad som kan och bör göras, och hur det ska gå till.



Figur 1. Gjuteriföretagen måste ta sig igenom omställningstratten för att bli proaktiva företag med hållbarhetsfokus.¹

Man startade därför ett gemensamt projekt för att ge svenska gjuterier verktyg för en hållbar omställning genom mer resurseffektiv användning i tre olika avseenden: energianvändning, materialflöden och produktdesign. Agendan för Metalliska material uttrycker det så här under insatsområde 5:

Målet är att industrin ska sätta in nödvändiga resurser så effektivt som möjligt för att skapa största möjliga resurseffektivitet i ett livscykelperspektiv. Ett sätt att öka den totala resurseffektiviteten är att utnyttja restprodukternas och restenergiernas fulla potential. [...] Svensk metallindustri ska vara globalt ledande på att använda alla resurser på ett sådant sätt att största möjliga resurseffektivitet i ett livscykelperspektiv uppnås.²

¹ Per Sommarin, Oskar Räftegård, and Henrik Borgström, Transition to Resource-Efficient Robust Production for Increased Competitiveness, AFS Transactions 23-004, p 241-245, 2023.

² metalliskamaterial.se/globalassets/2-natverk/nationell-samling-kring-metalliska-material/pdf/nationell-samling-kring-metalliska-material-2020.pdf

1.1 Gjuteriernas utmaningar hösten 2019

Svenska gjuterier har höga målsättningar att bedriva en miljömässigt hållbar verksamhet.³ Myndighetskrav sätter ramarna men även kraven från gjutgodsköpande kunder kommer att öka i en nära framtid. Gjuteriindustrin är i huvudsak underleverantör till fordonsindustrin och övrig mekanisk industri. Andra branschers strategier för hållbarhet kommer därför att interagera vilket måste beaktas, inklusive redan formulerade färdplaner för fossilfri konkurrenskraft.

Tidigare studier initierade av bland andra Svenska Gjuteriföreningen har bidragit till ökade kunskaper om gjuteriindustrins utmaningar och möjligheter inom områden som energianvändning i olika gjuteriprocesser, miljöavtrycket från olika råmaterial och hanteringen av restprodukter. Kunskapsläget vid projektstart varierade dock kraftigt inom dessa områden. Vissa var redan utforskade med goda förutsättningar för snabb implementering av ny teknik. Exempel på väl utredda frågor under åren 2012–2019 är energieffektiv smältning, värmebehandling av gjutgods, BAT, minskat metallspill och alternativa användningsområden för slagger och formsand. Andra områden utmärktes av kunskapsluckor på grund av frågeställningarnas höga komplexitet, där kraven på prestanda hos avancerade gjutna produkter ständigt höjs. Några var dessutom kopplade till de senaste årens höjda krav på exempelvis fossilfria råvaror och energislag, där gjuteriindustrins specifika situationer ännu inte hunnit utredas.

Ytterligare ett område med stor utvecklingspotential för gjuteriindustrin är cirkulära resursflöden och cirkulär ekonomi. Här hade ännu inget gemensamt utvecklingsarbete bedrivits. Ett linjärt sätt att producera och konsumera varor innebär att råvaror används för att tillverka material och varor som säljs, sedan brukas och förbrukas för att slutligen kasseras. Hur länge en produkt kan användas innan den tjänat ut och vilka förutsättningar det finns att underhålla, reparera och uppgradera den är faktorer som påverkar resursanvändningen. EU-kommissionen lade i början av juli 2019 fram förslag som ska driva på övergången till en cirkulär ekonomi – ett kretsloppssamhälle – och öka återvinningen i medlemsländerna. Enligt kommissionen kommer förändringarna att stärka Europas konkurrenskraft och minska efterfrågan på sällsynta och dyra råvaror, skapa nya jobb samt reducera utsläppen av växthusgaser.

Situationen i slutet av 2019 var med andra ord komplex och mångfacetterad (och värre skulle det bli!). Trots att många studier redan gjorts kring de olika aspekterna kring hållbar produktion av gjutgods var det uppenbart att det fanns såväl faktiska kunskapsluckor som bristande koppling och anpassning av redan utförd forskning till aktuella svenska förhållanden. Ett exempel på det senare är de i och för sig väl utredda frågorna om energieffektiv smältning, värmebehandling och minskat materialspill. Trots tydliga resultat från genomarbetade studier saknades kontrollerade och väldokumenterade exempel på faktisk implementering, vilket fördröjde och försvårade beslutsprocesserna för investeringar på företagen.

Bland de kunskapsluckor som tidigast identifierades inför projektet handlade en om i vilken mån det redan existerar metoder för rening av återvunnen aluminiumsmälta som svarar mot de krav som ställs på komponenter för kritiska applikationer inom utvecklingen av elektrifierade fordon. En annan ditills outredd fråga var den faktiska

³ [Agenda för en hållbar svensk gjuteriindustri, Svenska Gjuteriföreningen 2019.](#)

processen då kemiska formlösningsmedel förbränns, vilket har stor betydelse för ambitionen att konvertera industrin till fossilfria alternativ. I bägge fallen måste tidigare studier på området verifieras och kompletterande forskningsprojekt föreslås. Detta förutsatte ett helhetsperspektiv som bara kunde uppnås genom ett nära samarbete mellan forskningsaktörer och industriella parter, vilket blev möjligt i och med detta projekt.

1.2 GRETA: Så började det

Projektet GRETA initierades under Gjuteriföreningens strategidager i september 2019. Strategidagarna genomförs årligen för att medlemsföretagen skall lyfta fram gjuteriindustrins behov vad gäller FoU, kompetensförsörjning och branschfrågor. Olika projektförslag har beretts av respektive forskningsgrupp inom föreningen. Dessa består av representanter för företag med bäring på respektive metallslag och tillverkningsmetod. Förslagen lyfts därefter till föreningens forskningsråd. Även i forskningsrådet ingår representanter för medlemsföretagen. Här samordnas projektförslagen, forskningsaktörer identifieras och ansökningar bereds. Hela processen bygger på ett aktivt deltagande och förankring hos Gjuteriföreningens medlemmar. 2019 var det tydligt att samtliga forskningsgrupper prioriterade en och samma fråga: hållbarhetsutmaningen.

Man beslutade därför att starta ett gemensamt projekt – GRETA. Genom detta projekt skulle gjuteriindustrins konkurrenskraft och lönsamhet stärkas och branschen kommuniceras som en viktig aktör i Sveriges strävan för ett hållbart samhälle. Ambitionen var att bygga upp ett forskningslandskap där regionala och nationella aktörer samverkar i en gemensam kontext. RISE och Jönköping University är forskningsaktörer med såväl vetenskaplig bredd som tydlig förankring i gjuterigjuteriindustrin. Olika frågeställningars industriella relevans säkerställdes genom att Svenska Gjuteriföreningen och dess medlemsföretag var delaktiga i problemformulering, fallstudier och utbildnings-satsningar.

Projektet viktigaste uppgift var att identifiera behovet av forskning, utveckling och innovationer för att uppnå detta syfte. Tidigare aktiviteter inom området har främst fokuserat på tekniska lösningar inom enskilda områden. En utgångspunkt för detta projekt var i stället en övergripande modell för effektiva och hållbara resursflöden. Detta arbetssätt skulle introduceras vid projektstart genom att en målbild formulerades och hinder och möjligheter för att uppnå denna identifierades. De tekniska förutsättningarna skulle utredas och konsekvenserna för produktivitet, kvalitet, logistik och affärsmodeller diskuteras vid regelbundna seminarier och workshops. I detta arbete skulle Svenska Gjuteriföreningens medlemsföretag involveras och därmed skulle ett budskap formuleras även till de andra samhällsaktörer, som påverkar förutsättningarna för hållbarhet – politiker, myndigheter, leverantörer och kunder.

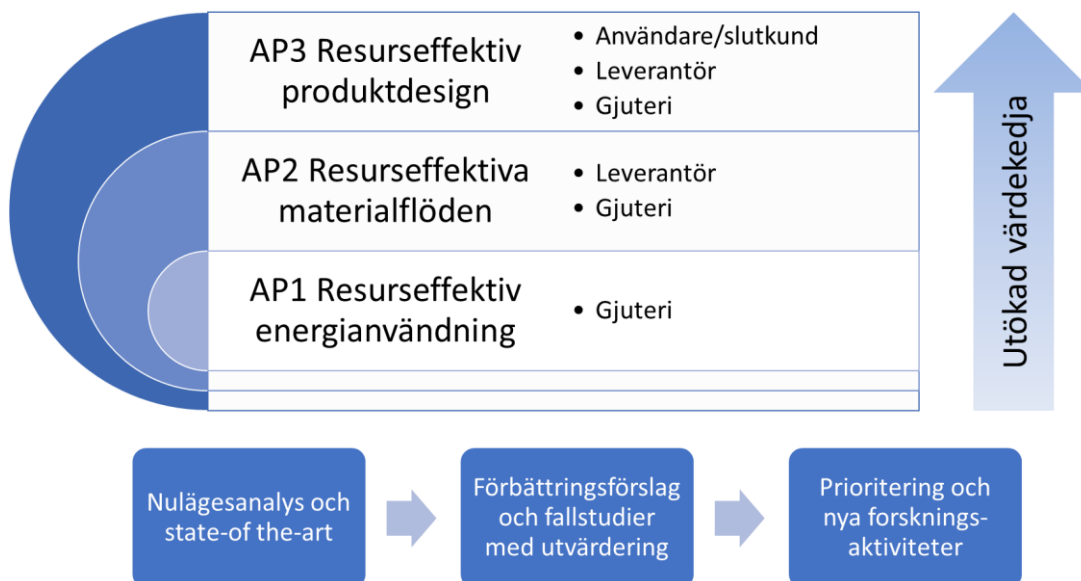
1.3 Projektupplägg

Projektet GRETA samlade gjuteriföretag samt deras kunder och leverantörer. Projektet genomfördes av RISE och Jönköping University från oktober 2020 till oktober 2023 och finansierades av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas. I projektarbetet deltog följande parter.

- *Svenska Gjuteriföreningen Service*. Ansvarade för att projektet drevs i nära samverkan med industrin. Bidrog med underlag och stod för förankringen i gjuteriindustrin genom seminarier och workshops. Delfinansiär via forskningscheckar för RISE-bolagen.
- *Svenska Gjuteriföreningen*. Som intresseorganisation för inte bara gjuteriföretagen utan också gjuteriindustrins materialleverantörer samt gjutgodsköpare garanterar föreningen långsiktig förvaltning av resultaten.
- *Svenska Gjuteriföreningens medlemsföretag*. Under projektets gång testades och utvärderades föreslagna åtgärder för minskad energianvändning och optimerat utnyttjande av råmaterial genom processförändringar och fallstudier hos ett antal utvalda pilotföretag. Redan under pågående projekt gavs samtliga gjuterier, leverantörer och gjutgodsköpare direkt tillgång till omvärldsbevakning och fallstudier som inspiration för egen utveckling. Följande medlemsföretag deltog som projektparter med eget arbete i de olika fallstudierna: *AGES Kulltorp*, *Baattr Guldsmedshyttan*, *Bruzaholms Bruk*, *Laholm Stål*, *Norrlandsgjuteriet*, *Scania CV*, *Smålands Stålgjuteri* och *Volvo GTO*. Dessutom hade *Husqvarna* en representant i projektgruppen.
- *RISE Research Institutes of Sweden*. Koordinator för projektet. Projektledning. Forskningsutförare energianvändning, materialanvändning, processoptimering, processkemikalier, restprodukter och produktdesign.
- *Jönköping International Business School*. Forskningsutförare affärsmodeller.
- *Tekniska Högskolan i Jönköping*. Forskningsutförare produktdesign och industrialisering.

Projektarbetet organiserades i tre arbetspaket (Fig. 2). AP1 undersökte hur högre resurseffektivitet kan uppnås för energianvändningen för en given gjuten produkt och en given framställningsprocess. AP2 utgick från en given gjuten produkt och sökte möjliggöra högre resurseffektivitet i framställningsprocessen med avseende på råvaruanvändning och materialoptimering samt utbyten och cirkulering av metall och tillsatsämnen. Inom AP3 vidgades perspektivet genom att den gjutna produktens användningsfas inkluderades i diskussionen. I produktens totala värdekedja kan en optimerad design bidra till en högre effektivitet vid användning och materialåtervinning men också ökad användningsfrekvens och i vissa fall även återanvändning och återtillverkning av gjuten komponent. Vart och ett av de tre arbetspaketen följde samma struktur. För att kunna prioritera och formulera förbättringsförslag på kort och lång sikt sammanställdes tillgängligt vetande i en omfattande nulägesanalys inklusive internationell *state-of-the-art*. Därefter konsoliderades och implementerades kunskapen genom att förbättringar föreslogs, testades och utvärderades. Detta skedde genom tolv fallstudier, pilotprojekt och examensarbeten kopplade till specifika investeringar i utrustning och kompetens hos utvalda gjuteriföretag.⁴

⁴ Projektet GRETA utgjordes formellt av tre separata Vinnova-projekt, Fas 1 (dnr 2020-02095), Fas 2 (dnr 2020-05222) och Fas 3 (dnr 2021-01313). Fas 1 hade tre huvuddelar: planering och initiering av de FoU-inriktade arbetspaketens genomförande, övergripande koordinering och projektledning av arbetspaketen i GRETA-projekten, samt kommunikationsaktiviteter tillsammans med Svenska Gjuteriföreningen. Fas 2 innehöll omvärldsbevakning och fallstudier för energieffektivisering medan Fas 3 omfattade samtliga forskningsaktiviteter inom resurseffektiva materialflöden och resurseffektiv produktdesign.



Figur 2. Projektstruktur. Tre arbetspaket med successivt utökad värdekedja men samma arbetsätt.

Projektarbetet inleddes med att genomarbetade beskrivningar av och planer för de FoU-inriktade arbetspaketen togs fram. Under hela projektiden diskuterades tillsammans med Svenska Gjuteriföreningens medlemsföretag vilka åtgärder som skulle prioriteras i varje enskilt sammanhang. Ett stort antal rapporter och artiklar publicerades. Kunskapsluckor identifierades och kompletterande forsknings- och utvecklingsarbete initierades, vilket bland annat ledde till sex nystartade forskningsprojekt.

1.4 Erfarenheter från projektarbetet

Projektet GRETA startade i oktober 2020 med tretton deltagande företag och organisationer och en budget på drygt 8 Mkr. Redan från början stod projektgruppen inför tre utmaningar som till viss del skilde GRETA från traditionella forskningsprojekt.

Kommunikation. En tydlig ambition var att redan under pågående projekt skulle samtliga gjuterier, leverantörer och gjutgodsköpare inom Svenska Gjuteriföreningen få direkt tillgång till omvärldsbevakning och fallstudier som inspiration för egen utveckling.

Flexibilitet. Utformningen av det tredje arbetspaketet, om cirkulär design och cirkulära affärsmodeller, var inte färdig vid projektstart utan skulle göras under projektiden, utifrån vilka resultat som kom fram från projektet i övrigt. Dessutom ville man ge samtliga medlemsföretag, inte bara projektdeltagarna, möjlighet att påverka och forma innehållet i detta arbetspaket. Samtidigt förväntades en snabb utveckling från såväl myndigheter som marknad kopplat till EU:s gröna giv, ekodesigndirektivet med mera.

Omvärldsförändringar. Projektet startade mitt under pandemin 2020 vilket ställde höga krav på planering och kreativa arbetsätt. Reserestriktioner, besöksförbud och permitteringar påverkade arbetet i projektgrupp och fallstudier. Så dröjde det till exempel två år in i projektet innan projektgruppen kunde träffas ”på riktigt” första gången i

september 2022.⁵ Men även de yttre förutsättningarna för gjuteribranschen förändrades snabbt på grund av först pandemin och sedan andra internationella kriser. Ändrad konkurrenssituation vid nedstängningar i olika delar av världen, materialbrist, höjda energipriser och osäker tillgång på energi var några av parametrar som i hög grad påverkade projektarbetets inriktning – och gjorde det ännu mer relevant.

Erfarenheten vid projektslut är att samtliga utmaningar ändå kunde hanteras och att projektet levererat enligt plan. Mer resurser än planerat fick användas till projektledning och administration. Trots detta och tack vare ett stort engagemang från företagen i projektgruppen ledde arbetet till många intressanta resultat i fallstudierna, och satsningen på kommunikation ledde till ett motsvarande engagemang hos branschen i stort. Precis som ambitionen varit kunde projektresultaten under pågående projekt successivt presenteras och diskuteras i olika forum kopplade till Svenska Gjuteriföreningen och dess medlemmar. Att påstå att alla de stora omvärldsförändringarna under projekttiden ökat intresset och engagemanget bland företagen är väl snarast en underdrift.

Centrum för projektets kommunikation var GRETA-sidan, en samlingssida under Svenska Gjuteriföreningens webbplats. Där gjordes rapporter, media, pressklipp med mera tillgängliga och där publicerades även egna nyheter och arrangemang.⁶ Regelbundna nyhetsbrev skickades ut till en kontinuerligt växande prenumerationslista.

Projektresultaten kommer långsiktigt att förvaltas av Svenska Gjuteriföreningen, RISE och Jönköping University genom implementering av förbättringsförslag, fortsatta initiativ till nya forskningsaktiviteter och framtagning och spridning av utbildningsmaterial. Genom denna konstellation garanteras tillgänglighet för gjuteriindustrin, dess leverantörer och kunder över tid och i kända och upparbetade kanaler.

1.5 Vad projektet har åstadkommit

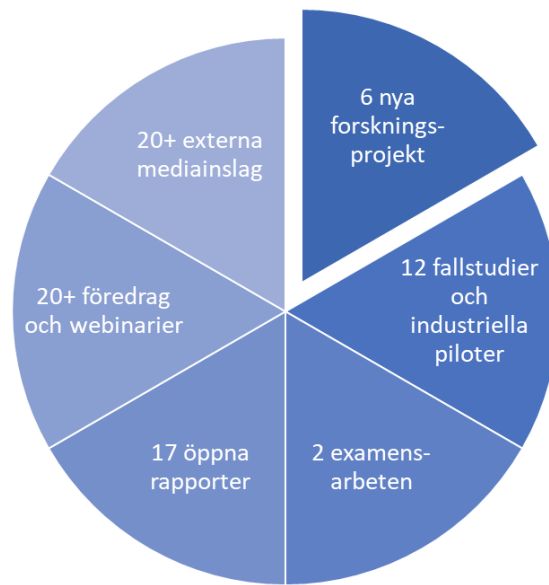
Leveranserna från projektet GRETA sammanfattas i Figur 3.

- Inom projektet publicerades 20 rapporter inklusive denna slutrapport, varav 17 öppna. Två var internationella publikationer. Förteckning finns i Bilaga 1.
- Två examensarbeten utfördes i samarbete med Jönköping University.
- Tolv fallstudier och industriella piloter genomfördes.
- Ett tjugotal externa mediainslag genererades, däribland två artiklar i Ny Teknik och ett radioinlägg. En fullständig förteckning återfinns i Bilaga 2.
- Projektresultaten kommunicerades muntligt vid mer än tjugo olika tillfällen. Bland annat arrangerades totalt sju webinarier som även finns tillgängliga via projektets websida.⁷
- Sex nya forskningsprojekt startades. De sammanfattas i Tabell 1. Sammanlagt 33 olika företag och organisationer deltar i ett eller flera av dessa projekt och den totala projektbudgeten uppgår till 34,5 Mkr.

⁵ Projektgruppen bestod av Jonas Willaredt, Husqvarna, Jessica Elfsberg, Scania CV, Jenny Hägg, Volvo GTO, Diana Bogic, Svenska Gjuteriföreningen, Toni Bogdanoff, Jönköping University, samt Oskar Räftegård, Anton Bjurenstedt, Martin Risberg och projektledaren Åsa Lauenstein, RISE.

⁶ [GRETA - Svenska Gjuteriföreningen \(gjuteriforeningen.se\)](https://www.gjuteriforeningen.se)

⁷ [Media - Svenska Gjuteriföreningen \(gjuteriforeningen.se\)](https://www.gjuteriforeningen.se)



Figur 3. En sammanfattning av projektets leveranser.

Tabell 1. Gemensamma forskningsprojekt utgående från resultat i GRETA-projektet

Akronym	Projektnamn	Startår	Budget	Finansiär
ReFound ⁸	Substituering av fossilt kol med biokol i järngjutning	2022	2,8 Mkr	Vinnova
InReAl ⁹	Ökad användning av återvunnet aluminium i gjuteriprocesser	2022	5,5 Mkr	Vinnova
HANS ¹⁰	Hållbar gjutning genom alternativt nyttiggörande av spånor och restprodukter	2022	8,0 Mkr	Vinnova
ReVär ¹¹	Resurseffektiv värmebehandling av stålsgjutgods med digitala verktyg	2023	8,2 Mkr	Vinnova
SANDRA ¹²	Hållbar och cirkulär sandåtervinning	2023	6,0 Mkr	Vinnova
PassPå ¹³	Industriella behov för spårbara och cirkulära produktflöden genom digitala produktpass	2023	4,0 Mkr	Vinnova

En omvärldsbevakning skrevs och kompletterades under projektets gång. Där görs ett subjektivt urval från en närmast oöverskådlig mängd pågående arbeten och aktiviteter inom området.¹⁴ Målet har varit att visa på en rad utvecklingsområden för kunskap som antingen kan tillämpas av gjuteribranschen omgående eller är tillräckligt intressanta för att i närtid bli föremål för nya gemensamma aktiviteter och utvecklingsprojekt.

⁸ [ReFound - Substituering av fossilt kol med biokol i järngjutning | Vinnova](#)

⁹ [Ökad användning av återvunnet aluminium i gjuteriprocesser | Vinnova](#)

¹⁰ [Hållbar gjutning genom Alternativt Nyttiggörande av Spånor och restprodukter \(HANS\) | Vinnova](#)

¹¹ [Resurseffektiv värmebehandling av stålsgjutgods med digitala verktyg | Vinnova](#)

¹² [Hållbar och cirkulär SANDÅtervinning \(SANDRA\) | Vinnova](#)

¹³ [Industriella behov för spårbara och cirkulära produktflöden genom digitala produktpass \(PassPå\) | Vinnova](#)

¹⁴ Åsa Lauenstein (red.), Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

Förhoppningen är att rapporten ska ge inspiration till en fortsatt hållbar transformation av svensk gjuteribransch och nyfikenhet på de möjligheter som finns.

Inom **AP1 Resurseffektiv energianvändning** behandlades energieffektivisering för smältning respektive andra ändamål i gjuteriernas processer. Fallstudierna har gjorts inom fem områden: Drivkrafter för energieffektivisering, validering på systemnivå av energiprestanda i gjutprocessen, möjligheten att kapa energitoppar i gjutprocessen genom användning av batterilager, värdeskapande värmeåtervinning i gjuteriets olika delprocesser samt effektivisering av processventilation. Samtliga studier gjordes på befintliga utrustningar på fyra olika gjuterier och i flera fall kunde väsentliga energibesparingar konstateras redan under projekttiden. Ett examensarbete på Jönköping University genomfördes. Fallstudierna beskrivs i detalj i avsnitt 4.2.

Världshändelserna och samhällsutvecklingen under projekttiden gav en förnyad tyngd åt energifrågorna inom svensk industri. Kontinuerlig kommunikation med gjuteriföretagen i form av föredrag, webinarier och workshops kunde förmedla värdefulla insikter kring förutsättningarna för arbete med energieffektivisering och kopplade investeringar i gjuteribranschen. Ett energinätverk för svenska gjuterier har initierats i samarbete med Svenska Gjuteriföreningen. Ett nytt forskningsprojekt har startat som direkt fortsättning på en av fallstudierna och behandlar resurseffektiv värmebehandling av stålgjutgods med digitala verktyg (Tabell 1).

Inom **AP2 Resurseffektiva materialflöden** genomfördes fallstudier kring återvunnet aluminium, totala miljöpåverkan av kärnbindemedel, ökad återanvändning av metallhaltigt restmaterial samt alternativa analysmetoder för klassning av metallhaltigt filterstoff. Fallstudierna beskrivs i detalj i avsnitt 3.2. Fyra nystartade forskningsprojekt syftar till ökad cirkularitet i olika materialflöden, sand, aluminium och stål, samt utforskar möjligheten att ersätta fossilt kol med biokol i gjutformar och gjutlegeringar (Tabell 1).

AP3 Resurseffektiv produktdesign har utvärderat olika system för cirkulära affärsmodeller där hållbarhetsfaktorer har en tydlig roll. Även samspelet mellan hållbarhetsindex och standarder i produktutvecklingen har diskuterats. Ett examensarbete på Jönköping University har genomförts och en omvärldsbevakning har publicerats. Ett nystartat forskningsprojekt kommer att skapa grundläggande förutsättningar för spårbarhet i gjutprocessen inför kommande krav på digitala produktpass (Tabell 1). Genom intervjuer, seminarier och workshops har ett stort antal företag inom gjuteribranschen deltagit i en brett upplagd diskussion om utmaningar och möjligheter med cirkulära affärsmodeller. Tre fallstudier har genomförts kring olika aspekter av design och affärsmodeller för cirkulära gjutna produkter och beskrivs i detalj i avsnitt 2.2. En av dessa var ett examensarbete på Jönköping University.

Sammanfattningsvis har projektresultaten fortlöpande lett till viktiga inspel till gjuteribranschens gemensamma strategiska arbete. Olika aktiviteter har genomförts tillsammans med Gjuteriföreningens medlemsföretag, bland annat föredrag på Gjuteridagarna, workshops under branschens strategidagar och öppna webinarier. Projektet har haft en innehållsrik hemsida på Gjuteriföreningens webbplats och regelbundna nyhetsbrev har skickats ut. Dessutom har projektet fått uppmärksamhet i media såväl lokalt som på riksnivå. Sjutton öppna rapporter och ett stort antal tidningsartiklar har publicerats. Allt detta har bidragit till att skapa en positiv bild av svenska gjuterier som pådrivande i en hållbar omställning av samhälle och industri.

2 Resurseffektiv design av gjutgods

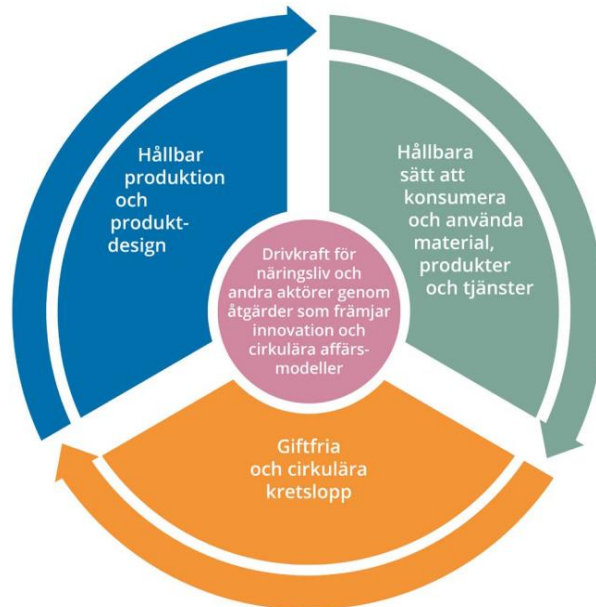
I detta arbetspaket studerades gjuteriets roll i en hållbar och cirkulär designprocess. I produktens totala värdekedja kan en optimerad design bidra till en högre resurseffektivitet vid tillverkning, användning och materialåtervinning men också ökad användningsfrekvens och i vissa fall även återanvändning och återtillverkning av gjuten komponent.

Ur Agendan för Metalliska material, steg 5:

... kanske viktigast av allt är att kunna se det stora perspektivet. För att minimera det totala resursutnyttjandet när vi människor tar en viss funktion i bruk behövs insikt om hur resurser används i hela kedjan, och insikten behöver omsättas i åtgärder där de gör verklig nytta. [...] För att förstå mer komplexa samband och därmed undvika suboptimeringar krävs förbättrade modeller över var och när olika resurser tas i anspråk och i vilka mängder.

I linjära produktflöden designas gjutna komponenter i första hand för funktion och utseende samt effektiv och resurssnål tillverkning. Vid cirkulära produktflöden tillkommer behovet av ett helhetsfokus på produkternas och materialens cirkulerande flöden över livscyklerna, vilket omfattar exempelvis nyttjandefrekvens, produktivslängd, återtillverkning, materialseparation och materialåtervinning. Projektet utgick från detta cirkulära perspektiv för att utveckla designprocessen och med hjälp av samtliga aspekter ge stöd för utformningen av hållbara affärsmodeller. Designutformningen hänger intimt ihop med affärsmodellen och övergången till cirkulära produktflöden innebär förändrade beteenden i hela värdekedjan.

Aspekter för att utveckla **produktdesign för senare delar av produktlivscykeln** som längre livslängd och hållbart underhåll samt återtillverkning och sekundära tillämpningar behandlas i detta avsnitt. Även spårbarhet och analys över användningscykeln behöver belysas då det kan ha stor betydelse för utformningen av produktdesign och affärsmodeller. Vid införande av nya cirkulära flöden och affärsmodeller som ökar funktionsvärdet kan aktörer i värdekedjan för gjutna komponenter vara hjälpta av representativa nyckeltal och guidning som understödjer olika initiativ för totaloptimering. Dagens industri blir mer och mer digitaliserad och olika steg i en utveckling av en produkt inklusive dess produktionsberedning kan stödjas av olika digitala verktyg. Vi ser ett fortsatt behov av att utreda nuläget kring vilka digitala verktyg som kan användas för att öka resurseffektiviteten i de cirkulära värdeflödena.



Figur 4: Fokusområden för cirkulär omställning: produktion (blått), restprodukter (gult) och affärsmodeller (grönt).¹⁵

Vikten av att arbeta med **cirkulära affärsmodeller** speglas i Figur 4, där en reflektion kring projektets olika arbetspaket kan göras. Bilden utgår från regeringens handlingsplan för en cirkulär omställning. På bilden kan flera av projektets insatser placeras på områden där fokus ligger på bland annat hur man designar och producerar produkter (blått), samt hur man hanterar restavfall (gult). För att nå framgång på dessa två områden är det i första hand en forskningssatsning på *teknik* som gäller. Ett viktigt resultat i projektet är dock hur företag kan konsumera och använda material och produkter på ett mer hållbart sätt, och skapa cirkularitet genom att minska kundens *konsumtion* av en produkt. Detta område (grönt) berör till stor del gjuteriernas affärsmodeller, som oftast bygger på att maximera kundens köp av deras produkter. Projektet identifierar detta område som ett viktigt komplement till de andra två. Nya affärsmodeller behöver tillämpas om gjuterier ska kunna behålla sin ekonomiska hållbarhet, samtidigt som de säljer färre produkter. Gjutna komponenter är ofta robusta vilket öppnar för förändrade affärsmodeller där leverantören successivt kan övergå från att sälja gjutna produkter till att dynamiskt tillhandahålla produktbaserade tjänster som i dialog med kund och användare levererar långvarig nytta.

Under projektets gång valdes ett par olika områden ut för fördjupade studier. Tidigt gjordes en översikt av styrmedel och indikatorer för hållbar design av gjutna produkter. Därefter genomfördes tre intervjubaserade fallstudier. Detta arbete sammanfattas i det följande. För en fullständig framställning hänvisas till respektive rapport.

2.1 Hållbar design av gjutna produkter

Den största miljöpåverkan från ett gjuteri är materialets klimatpåverkan och energianvändningen vid smältning och nedkyllning. Både energi och material belastar affären och detta innebär att gjuterier länge har arbetat med att minska sin materialåtgång, minska spill och minska energikonsumtionen. Då Sverige har en hög återviningsgrad av metaller samt energi med lågt klimatavtryck innebär detta att svenska

¹⁵ [Handlingsplan cirkulär ekonomi \(regeringen.se\)](https://www.regeringen.se/Handlingsplan-cirkular-ekonomi)

gjuterier redan idag har ett lågt klimatavtryck jämfört med internationell produktion¹⁶. För att uppfylla EU:s klimatmål att minska koldioxidutsläppen med minst 80% till 2050 behöver resursutnyttjandet dock förbättras ännu mer. Drivkrafterna och styrmedlen för gjuteribranschens hållbara omställning liksom vilka indikatorer som kan förväntas i en nära framtid beskrivs i detalj i GRETA-projektets **omvärldsbevakning**.¹⁷

I december 2015 enades världens länder om Parisavtalet, som syftar till att hålla den globala temperaturökningen under 2 grader. Därefter har EU antagit en plan för hur utsläppen ska minska med minst 55 % till 2030. Klimatåtgärderna finns samlade i ett åtgärds paket – Green Deal eller Den gröna given. För att målen i Parisavtalet ska uppnås behöver verksamheter förutse och hantera kommande myndighetskrav och krav ifrån kunder, ägare och investerare (Se Figur 1). Den gröna given lyfter fram områden som har behov av innovation och investeringar för att bli resurseffektiva¹⁸ och åtgärderna kommer att beröra alla delar av samhället. De första åtgärderna och klimatinitiativen inrymmer en ny klimatlag, strategier för att involvera allmänheten, en klimatmålsplan och en strategi för klimatanpassning.

EU-kommissionen presenterade i mars 2022 sitt förslag till förordning om ekodesign för mer hållbara produkter. Syftet är att ha en bredare definition av ekodesign för produkter som avses och de krav som ingår. Förslaget förväntas få en stor påverkan på små och medelstora företag.¹⁹ Flera svenska gjuterier redovisar idag klimatpåverkan via Svenska Gjuteriföreningens klimatindikator.²⁰ Under åren har utvecklingen i världen och energieffektiviseringar medfört mindre skillnader mellan svensk och annan produktion i EU och världen. Detta innebär att andra faktorer som avfallshantering och resursförbrukning påverkar produktens klimatavtryck allt mer.²¹ En vägledning för CO₂-mätning har tagits fram för den tyska gjuteriindustrin²² och utöver det finns olika beräkningsmjukvaror för att skatta olika industriers CO₂-utsläpp. Det kommer att ställas allt högre krav på att redovisa relevant klimatinformation, och dessa krav kommer att utgå från branschgemensamma normer. Därmed finns ett stort behov av att se hur andra branscher arbetar och därmed besluta hur gjuteribranschen skall agera.

Som ett direkt resultat av diskussioner och workshops inom projektet GRETA startades 2023 ett nytt projekt Industriella behov för spårbara och cirkulära produktflöden genom digitala produktpass (PassPå)²³. Projektets syfte är att genom utbildning och utveckling av guidelines skapa en samsyn för arbetet med digitala produktpass. Projektet ska även identifiera och hantera de industriella förutsättningar som krävs för införandet av digitala produktpass, bland annat tillverkningsunderlag för att enkelt och enhetligt föra med sig data genom de olika tillverkningsstegen samt individmärkning av gjutna komponenter.

¹⁶ Peter Nayström: Klimatpåverkan av gjutgods, Rapport 2020-001, Svenska Gjuteriföreningen 2020.se

¹⁷ Åsa Lauenstein (red.), Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

¹⁸ J. Rådström, "Resurseffektivitet Fakta och trender mot 2050", Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), Stockholm, 2015. Åtkomst datum: 13 april 2021. [Online]. Tillgänglig vid: www.iva.se

¹⁹ [Spårbarhet och digitala produktpass - Tillväxtverket \(tillvaxtverket.se\)](https://www.tillvaxtverket.se)

²⁰ [Klimatindikatorn - Svenska Gjuteriföreningen \(gjuteriforeningen.se\)](https://www.gjuteriforeningen.se)

²¹ Åsa Lauenstein (red.), Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

²² <https://www.guss.de/prozess/informationen-fuer-giesser/leitfaeden/co2-leitfaden>

²³ [Industriella behov för spårbara och cirkulära produktflöden genom digitala produktpass \(PassPå\) | Vinnova](https://www.vinnova.se/industriella-behov-for-sparbara-och-cirkulara-produktfloden-genom-digitala-produktpass-passpa)

2.2 Fallstudier

Tre intervjubaserade fallstudier genomfördes kring design och hållbarhet för gjutna komponenter, svenska gjuteriers resa mot en cirkulär ekonomi, samt cirkularitet och affärsmodeller. Nedan sammanfattas arbetet; fullständiga beskrivningar av fallstudierna finns i respektive rapport.

2.2.1 Design och hållbarhet för gjutna komponenter

Elva svenska gjuterier intervjuades under våren 2022 om sambandet mellan design och hållbarhet för gjutna komponenter.²⁴ Syftet med intervjuerna var att undersöka kriterier som främjar och/eller styr gjuterierna för att nå optimerad design och hållbarhet i hela livscykeln. Områden som berördes var materialval, val av design, kundens logistikkrav, affärsmodellen, nya regelverk, energiaspekter och utmaningar. Intervjupersonerna var också fria att lyfta egna tankar inom vida ramar. Resultaten från intervjuerna användes under våren 2022 till att prioritera och planera fallstudierna inom projektets AP3, men också som inspel i vidare bemärkelse till projektet som helhet.

För gjutgodslieferantörerna är den största utmaningen att kunna ta betalt för sitt låga klimatavtryck. Ofta är det en viktig fråga för gjutgodsköparen att få produkter med lågt klimatavtryck men när sedan fler leverantörer ställs mot varandra är det nästan alltid priset som avgör. Kunderna vill inte betala för ett minskat klimatavtryck i slutändan. Ofta finns även en koppling till material-, process- och designval. Gjuteriet säljer gjutgods men kommer i regel in sent i utvecklingsarbetet: produkten är redan färdigdesignad, och det är sällan möjligt att påverka och anpassa konstruktion eller design för gjutprocessen.

En stor utmaning för flertalet av de intervjuade företagen är att klimatkraven inte är samordnade mellan olika länder och marknader. Att Sverige är i framkant på klimatomställning med högre lagkrav på nationell industri än i konkurrerande länder har gjort produktionskostnaden högre. Samtidigt vill gjutgodsköparna ännu inte betala fullt ut för minskat klimatavtryck vilket har minskat svenska gjuteriers marknadsandelar.

Legogjuterier är ofta små eller medelstora företag (SMF) vilket gör att det blir en utmaning att hinna följa med i den snabba utvecklingen av teknik och krav från myndigheter eller kunder. Generellt skall företagen rapportera in uppgifter från produktionen eller underlag från egna leverantörer i olika digitala system som inte samkörs, samma uppgifter skall in i olika system. Ett exempel är att avfall skall rapporteras till både Naturvårdsverket och Förpackningsinsamlingen. Är gjuteriet underleverantör till fordonsindustrin ökar antalet digitala system ytterligare.

När det gäller **gjuterier med egna produkter** kan några trender lyftas fram. Produktomställningen mot elektrifiering påverkar vilken typ av gjutgods det finns efterfrågan på och nya typer av gjutgods behövs. Här är det viktigt att företagen och branschen ställer om både hos gjutgodssägarerna och dess underleverantörer. Klimatkrav leder även till förändringar i gjutprocessen internt när råvaror och insatsmaterial påverkas. För emissioner som inte kan tas bort måste branschen arbeta med klimatkompensation.

²⁴Martin Risberg, Design och hållbarhet för gjutna komponenter, RISE-intern rapport, Jönköping 2023.

De höga elpriserna under slutet av 2021 och under 2022 gjorde att omställningen till fossilfrihet bromsade in och en del gjuterier som varit föregångare i omställningen fick problem med sin lönsamhet. Alla intervjuade företag önskar en långsiktig och stabil energipolitik för en lönsam omställning med högre energieffektivitet och tillgång till förnybar el. Det finns exempel i gjuteribranschen där klimatomställningen stoppats eftersom energibolaget inte kan leverera tillräckligt med elkraft för elektrifierade alternativ till befintlig process och utrustning.

2.2.2 Svenska gjuteriers resa mot cirkulär ekonomi

Resurseffektiv produktion som inkluderar ett cirkulärt tänkande har under de senaste tjugo åren blivit verklighet för industrin. För små och medelstora företag är detta en stor utmaning. Ofta är många underleverantörer delar av en större värdekedja vilket både styr och begränsar vilka åtgärder som kan genomföras. Dessutom förändras marknadens behov kontinuerligt vilket kräver god förmåga att parera både väntade och oförutsägbara förändringar. Några aktuella exempel är osäkra leveranskedjor, nya teknologier, skiftande energipriser, ändrade kundkrav och nya cirkulära affärsmodeller.

Svenska gjuteriers resa mot en cirkulär ekonomi undersöktes i en intervjubaserad studie i form av ett examensarbete på Jönköping University.²⁵ Den utgår från flödet av komponenter och hur gjuterierna påverkas i en förändrad leveranskedja när vi går mot ökade hållbarhetskrav för produkter. Målet var att skapa en förståelse för hur leverantörskedjor kan organiseras för att kunna integreras i en framtida cirkulär design av gjutgods. Detta gör det möjligt för gjuteriernas komponenter och produkter att bidra till ett monteringsystem hos slutkund med ett lägre klimatavtryck. Den största hållbarhetsutmaningen för små gjuterier är att anpassa produktionen till orderändringar i sista minuten från större kunder. Detta kan leda till energispill, onödig väntan och svårigheter att leverera kompletta beställningar, vilket i sin tur leder till extra transporter och ökade utsläpp. Gemensamt för samtliga gjuteriföretag i studien är att de målmedvetet arbetar med sina hållbarhetsutmaningar och har bra intern cirkularitet men är långt ifrån att uppnå cirkulära leverantörskedjor. En specifik utmaning att lösa är fortsatt spårbarhet av den färdiga produkten.

I en uppföljande forskningsartikel presenteras en konceptuell guideline för hur små och medelstora tillverkningsföretag ska kunna anpassa sig och utvecklas i en cirkulär industri. Ett sätt att hantera denna omställning mot cirkularitet kan vara att utveckla nya, tvärfunktionella samarbeten mellan olika aktörer och kompetenser.²⁶

2.2.3 Cirkularitet och affärsmodeller

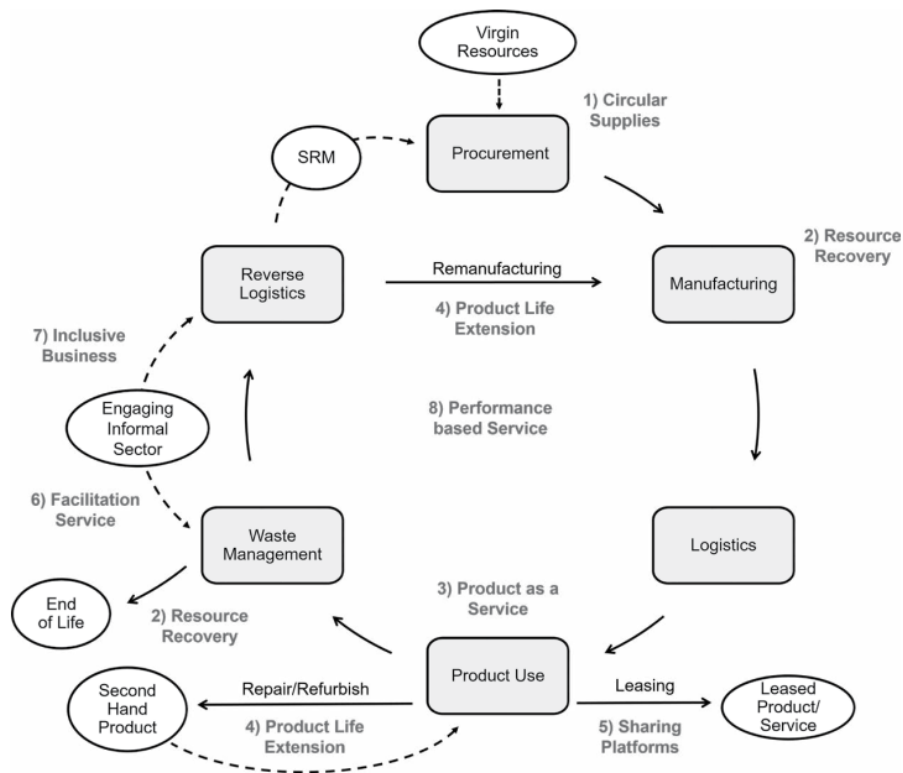
Inom gjuteriindustrin är det traditionellt den gjutna produkten som står i centrum. Företagets värdeerbjudande kretsar oftast kring dess tekniskt kunnande kring gjutprocessen och utrustningen som företaget äger för produktion, två faktorer som påverkar företagets möjlighet att producera komponenter med rätt kvalitet till ett pris som kunden bedömer som rimligt. De senaste åren har ytterligare ett krav prioriterats,

²⁵Paul Abaci och Elin Karlsson, Identifying Challenges Regarding Sustainability and Circularity in Foundries: A multiple-case study of OEMs and SMEs in the Swedish foundry industry, Bachelor's thesis in Industrial Engineering and Management, Jönköping School of Engineering, Jönköping 2023.

²⁶Kerstin Johansen, A disruptive industrial environment – Aspects to reflect on as a manufacturing SME, The Journal of Applied Economics and Business Research (JAEBR), 13(2), pp. 57-66, 2023.

nämligen företagets förmåga att producera högkvalitativa och kostnadseffektiva produkter på ett miljövänligt sätt. EU policy och lagstiftning tolkar detta alltmer som en förflyttning från linjära affärsmodeller till cirkulära.

I rapporten *Cirkularitet och affärsmodeller* diskuteras olika alternativ för denna förflyttning. De olika affärsmodellerna hittar man på olika platser längs produktens livscykel (Figur 5).²⁷ Praktiska exempel på sådana alternativa affärsmodeller hämtas i rapporten från intervjuer med företrädare för Husqvarna och Bruzaholms bruk.



Figur 5. Åtta olika affärsmodeller på olika platser längs produktens livscykel.

Tre tydliga utmaningar definieras för att kunna samarbeta kring cirkulära affärsmodeller. För det första prioriteras hållbarhet inte av alla återförsäljare – även om de gärna säljer en produkt som de kan marknadsföra som 'grön'. Den andra utmaningen handlar om att kunna ta betalt för den cirkulära processen. Den tredje är att kompetensen hos slutanvändaren minskar när det gäller att bruka och reparera produkten.

Rapporten avslutas med tidiga lärdomar från gjuteriföretagens arbete mot cirkularitet, när det gäller just affärsmodeller. Bland annat lyfts fram vikten av ett fördjupat partnerskap med ett fåtal partnerföretag, projekt som tillåter att gjuteriföretag experimenterar med alternativa affärsmodeller, och insikten att det tar tid för det cirkulära tänket att sätta sig i hela organisationen.

²⁷ Duncan Levinsohn: Cirkularitet och affärsmodeller. JIBS Research Reports Nr. 2023-1, Jönköping 2023.

3 Resurseffektiv materialanvändning

För en given gjuten produkt finns goda förutsättningar att åstadkomma högre resurseffektivitet i framställningsprocessen. Bättre kunskap om hur en råvara kan substitueras med en annan gör det möjligt att i varje läge välja den mest effektiva vägen till målet. Genom att utnyttja ny kunskap från materialutveckling och funktionskrav och utveckla allt bättre mät- och styrmetoder, baserade på modern teknik och anpassade till de människor som ska använda dem, kan processteg optimeras för högre utbyten och effektivare materialanvändning. Möjligheten att cirkulera olika material i processerna har ytterligare potential.

Ur Agendan för Metalliska material, steg 5:

Målet är att industrin ska sätta in nödvändiga resurser så effektivt som möjligt för att skapa största möjliga resurseffektivitet i ett livscykelperspektiv. Ett sätt att öka den totala resurseffektiviteten är att utnyttja restprodukternas [...] fulla potential. För att utnyttja dessa möjligheter krävs dock vidare systemgränser, samarbete över branscher och i vissa fall förändrad lagstiftning.

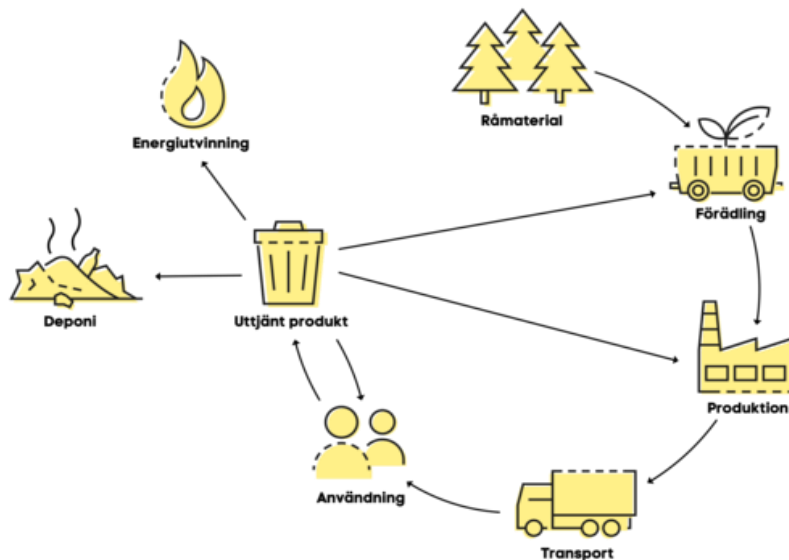
I detta arbetspaket utreddes de tekniska förutsättningarna för att öka återvinningsgraden för metallråvara samt minska den ingående miljöpåverkan från tillsatsämnen och processkemikalier. Genom industriella fallstudier förankrades och förtydligades utvalda delar i en svensk gjuterikontext.

3.1 Materialflöden i gjutprocessen

Tre olika spår av materialflöden har behandlats i projektet: metallråvaran, som kan vara primär eller återvunnen; tillsatsämnen och processkemikalier, till exempel sand, bindemedel och blacker; och restprodukter, som genom innovativ process- och produktutveckling i stället kan inordnas som biprodukter i ett cirkulärt flöde (Figur 6).

Primär och återvunnen metall. Metalliska material har fördelen att de kan återvinnas, teoretiskt i all oändlighet. För både stål och aluminium är graden av återvinning och kvaliteten på det återvunna materialet av stor vikt för den totala resurseffektiviteten. Förbättrade återvinningstekniker och system som ser till att metalliska material cirkulerar på ett så bra sätt som möjligt i kretsloppet är därför prioriterade områden.

Metallegeringar består av en basmetall och legeringstillsatser som tillsätts för att styra egenskaper. Dessutom förekommer ämnen som inte tillsatts med avsikt. I vissa fall är de harmlösa medan de i andra fall påverkar viktiga egenskaper högst avsevärt. Det kan röra sig om både inlösta, metalliska grundämnen, exempelvis järn i aluminiumlegeringar eller koppar i stållegeringar, och olika slags icke-metalliska inneslutningar, som slagg i gjutstål. Primär metall, det vill säga metall som tillverkats från malmråvara, innehåller oftast lägre halter av föroreningar. I återvunnen metall förekommer högre halter, bland annat beroende på sammanblandning vid sortering av skrot, men även på själva återvinningsprocessen, som att mängden slagg i återvunnet stål är högre än i primärt eftersom metallbeståndsdelar oxiderar vid omsmältningen. Oönskade ämnen kan också tillföras metallen under senare steg i tillverkningsprocessen.



Figur 6. Materialflöden i en tillverkningsprocess.²⁸

Både metalliska och icke-metalliska föroreningar kan ha skadlig påverkan på produkttegenskaperna. Det är därför önskvärt att utveckla processer för att reducera dessa föroreningar i återvunna metaller. I synnerhet aluminiumlegeringar för krävande applikationer kan idag ofta inte framställas ur industriellt återvunnet material. Att förbättra reningsmetoderna, skapa legeringsspecifika slutna kretslopp eller på annat sätt säkra kvaliteten på komponenter tillverkade av återvunnen metall är möjliga vägar att öka återanvändningen i kritiska applikationer där det idag enbart används primära legeringar.

Tillsatsämnen och processkemikalier. Gjutprocessens många olika steg förutsätter användning av kemiska produkter och tillsatser. Råsand för formning innehåller stenkolspulver för att rätt egenskaper ska kunna nås. I form- och kärntillverkning används sand, kemiska bindemedel, blacker för ytmodifiering, matarhylsor, släppmedel för effektivare processer och så vidare. Förutom sanden är så gott som alla tillsatsämnen baserade på fossila kolprodukter. Vid avgjutning förbränns eller pyrolyseras kolinnehållet och ger då upphov till ett stort antal emissioner. Både de ursprungliga ämnena och de som bildas vid upphettningen är svårdefinierade, och vad som händer i detalj är dåligt känt. Processerna behöver beskrivas bättre för att hitta fram till bästa resurseffektivitet.

De regleringar och lagkrav som styr kemikaliehanteringen utgår från direkt påverkan på arbetsmiljö och yttre miljö medan en övergripande studie av miljöpåverkan från gjutprocessens kemikalieanvändning saknas. För att nå målen om framtida fossilfrihet behöver framtida gjutprocesser inriktas på att ge nollutsläpp av fossilt kol. Vägen dit är lång och under resan behöver gradvisa förändringar genomföras. Genom att exempelvis optimera formhållfasthet, ytegenskaper, gjutprocess och formfyllnad minskar man riskerna för överanvändning av kemikalier. De kemikalier som ska användas framåt måste ha ett så litet fossilavtryck som möjligt. Bindemedelsfria processer har potential att radikalt minska industrins miljöavtryck.

²⁸ Marie Bom: Bedömning av restprodukter från gjutning 2023 – Scania CV AB, RISE rapport nr 2023:69, Jönköping 2023.

Utöver de kemiska produkter som ingår i själva formmaterialen använder formningsprocessen också ett antal hjälpkemikalier i form av smörjmedel, hydraulvätska med mera. Gjuteriindustrins totala förbrukning och miljöavtryck är bristfälligt undersökta, liksom vilka alternativa produkter som finns eller behöver utvecklas.

Cirkulära restprodukter. I de flesta industriella processer uppkommer andra produkter än de processen syftar till att ta fram, ofta kallade restprodukter. De kan bli till avfall eller biprodukter. I ett hållbart samhälle kommer det att vara viktigt att restprodukter också kommer till användning och för gjuteriindustrin skulle det vara gynnsamt att i högre grad använda sig av cirkulära flöden. För det krävs det en helhetssyn på samhällets behov och tillgångar både ur ett tekniskt perspektiv och politiskt perspektiv. Försiktighetsprincipen vid tillämpning av lagar som stiftats för att skydda miljö och befolkning står ibland i vägen för hushållningsprincipen, alltså att hitta användningsområden för restprodukter av olika slag. Exempel på biprodukter som genom tidigare genomförda forsknings- och utvecklingsprojekt har visats komma andra till nytta är form- och kärnsand, olika slags slagg, glödska, sliprester och stoft. Vidare finns det eventuellt restprodukter från andra branscher som kan komma till nytta inom gjuteriindustrin.

Omvärldsbevakning. I projektets omvärldsbevakning²⁹ beskrivs hur en resurseffektiv materialanvändning kan uppnås på ett antal olika områden: gjutning av aluminium, järn och stål, gjutning i engångsformar och användning av formmaterial, samt genom digitalisering av gjutprocessen. Kriterier för klimatneutral framställning av aluminium, järn- och stålråvara samt sandformar går igenom tillsammans med en generell överblick över gjuteriernas koldioxidavtryck. Olika vägar till cirkulära materialflöden beskrivs för aluminium, järn, stål och sand, och ett särskilt avsnitt ägnas åt restprodukter.

Som en direkt följd av omvärldsbevakningen startades under projektiden två nya forskningsprojekt om hållbar och cirkulär sandåtervinning³⁰ respektive substituering av fossilt kol med biokol i gjutprocessen³¹.

3.2 Fallstudier

I detta arbetspaket utreddes de tekniska förutsättningarna för att öka återvinningsgraden för metallråvara samt minska den ingående miljöpåverkan från tillsatsämnen och processkemikalier. Genom fyra industriella fallstudier förankrades och förtydligades utvalda delar på fem olika gjuterier. I den första studerades förutsättningarna för återcirkulering av sekundärlegeringar i ett aluminiumgjuteri genom dokumentation av materialval, processparametrar och kvalitetsutfall. Den andra jämförde två typer av kärnbindemedel och deras respektive totala påverkan på omgivningen. Målet för den tredje och den fjärde var att formulera en strategi för ökad användning av alternativa ingångsmaterial vid järn- och stål gjutning. Samtliga piloter utgick från de faktiska förutsättningarna på respektive företag. Nedan sammanfattas arbetet; fullständig beskrivning av varje fallstudie finns i respektive rapport.

²⁹ Åsa Lauenstein (red.), Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

³⁰ [Hållbar och cirkulär SANDåtervinning \(SANDRA\) | Vinnova](#)

³¹ [Substituering av fossilt kol med biokol i järngjutning \(ReFound\) | Vinnova](#)

3.2.1 Kvalitet på primär och återvunnen metall

På längre sikt är målet att kunna ersätta primära legeringar med sekundära då energiåtgång och utsläpp är avsevärt mycket lägre när sekundära legeringar används. Genom att förstå hur föroreningar, som inverkar negativt på de sekundära legeringarnas hållfasthet, varierar i en industriell process kan kunskap byggas som leder till möjlighet att ersätta de primära legeringarna med förfinade sekundära legeringar med förbättrade prestanda.

Denna studie gjordes på AGES i Kulltorp.³² Pressgjutna komponenter av en sekundär aluminiumlegering togs ut ur löpande produktion för mekanisk provning och mikrostrukturundersökningar. Resultaten av gjorda mätningar visade på en jämn kvalitet på det producerade gjutgodset. Ingen statistisk skillnad mellan proverna kunde påvisas. Detta betyder att även om några data insamlade från gjuttillfället varit i utkanten av önskat intervall så har egenskaperna inte signifikant påverkats. Det finns med andra ord en högre potential i återvunna legeringar än den som redovisas i den styrande standarden. Stelningshastighet, eventuell värmebehandling och mängden defekter spelar en avgörande roll för slutegenskaperna hos en gjuten detalj. Vid optimering av dessa kan man erhålla egenskaper som överträffar standarden. Dessa erfarenheter har tagits till vara inom fortsättningsprojektet InReAl som startade 2022.³³

3.2.2 Miljöpåverkan av kärnbindemedel

Tillverkning av formar och kärnor är en central process i varje gjuteri. Användningen av kemiska bindemedel vid tillverkning av formar och kärnor utgör en viktig miljöaspekt för gjuterier. Det finns en omfattande flora av bindemedelstyper, och vilket bindemedel som används i det specifika gjuteriet är ofta en följd av fattade beslut i samband med tidigare godsproduktion. Bindemedlen ger upphov till vissa störningar på gjuteriets interna arbetsmiljö och på den yttre miljön, då i form av emissioner till omgivningen och i form av rester i det avfall som uppkommer.

Syftet med denna fallstudie var att jämföra miljöavtrycket från två kärnbindemedel, aminhårdad Coldbox och SO₂-hårdad epoxy. Studien gjordes i kärntillverkningen på Scania CV och Volvo GTO.³⁴ Den begränsades till att omfatta vad som händer i processen innanför fabriksgrindarna och huvuddelen behandlade vad som genereras och emitteras från bindemedlen då kärnorna används. Detta simulerades i laboratieförsök, där mätningar på emissioner från 150°C i luft (simulerade blacktorkning) och 600°C i syrefri miljö (simulerade avgjutning) utfördes. Mätningarna utvärderades med parametrar som används då miljövarudeklarationer framställs. Miljö- och hållbarhetsdata för många ämnen saknades dock, vilket ledde till att miljöpåverkan i första hand bestämdes av mängden bindemedel i kärnorna. För att metoden ska ge mer allsidiga resultat behöver kunskapen om emitterade ämnens klimatpåverkan öka.

³² Anton Bjurenstedt: GRETA – Fallstudie återvunnen aluminium, RISE rapport nr 2023:72, Jönköping 2023.

³³ [Ökad användning av återvunnet aluminium i gjuteriprocesser \(InReAl\) | Vinnova](#)

³⁴ Ulf Gotthardsson: Jämförelse mellan två kärnbindemedel, RISE rapport nr 2023:81, Jönköping 2023.

3.2.3 Ökad användning av spånor vid stål gjutning

För att nå en stabil tillverkningsprocess i gjuteriet behövs en ingångsråvara av jämn och förutsägbar kvalitet, vilket ofta kan vara svårt att tillgodose. En viktig råvara för järn- och stål gjutning är stålskrot. Stålskrot av specifik kvalitet är på väg att bli en bristråvara och det material som finns tillgängligt är ofta av andra kvaliteter än vad som krävs för en stabil process.

Denna studie gjordes på Laholms Stål.³⁵ Gjuttester genomfördes med olika proportioner av ingångsmaterial och spånor, som från början varit blöta av skärvätska, men sedan torkats. Efter gjutning analyserades materialets egenskaper. Syftet var att undersöka om blöta spånor, alltså de spånor som bildas vid stålbearbetning där skärvätska använts, skulle kunna återanvändas i nya gjutningar. Idag skickas dessa spånor som skrot till återvinningsföretag, men det skulle vara en resursmässig vinst om de skulle kunna återanvändas till nya gjutningar i stället tillsammans med torra spånor. Testerna visade lovande resultat och fick ligga till grund för fortsättningsprojektet HANS³⁶.

3.2.4 Klassificering av restmaterial vid järngjutning

Studien utfördes på Scania CV³⁷. Syftet var att jämföra två olika analysmetoder som verktyg för klassificering av metalliskt stoft från bearbetning av gjutna komponenter. För att återvinna och kunna återanvända material måste man kunna separera olika restmaterial. Det finns därmed behov av en kostnadseffektiv metod som uppfyller de krav som finns på kunskap om innehåll i materialet.

I Sverige finns få vägledningar och få kriterier för restmaterial som kan användas men många lagar som beskriver avfallets hantering. Den metod som används för riskbedömningen bygger på perkolationstest vilket är en dyr metod med lång svarstid. Skaktest är en billigare och snabbare analysmetod. Den kan enligt handboken användas under förutsättning att det redan finns överensstämmelse mellan skaktest och perkolationstest och att produktionen av restmaterial är densamma. Tidigare erfarenhet från RISE visar att skaktest ger tillräckligt bra information om hur mycket och vilka ämnen som lakar ut fraktionen. Då regler och vägledningar har förändrats fanns behov av att undersöka om skaktest fortsatt är ett godtagbart avsteg ifrån de vägledningar som finns. Två fraktioner analyserades och materialets föroreningsinnehåll utvärderades, vilket visade att metoden för lakning inte påverkar den slutliga bedömningen för materialet.

³⁵ Cecilia Westerlid, Testrapport Laholm Stål: Torkade stålspånor i olika proportioner i gjutning, RISE-intern rapport, 2022-05-24.

³⁶ [Hållbar gjutning genom Alternativt Nyttiggörande av Spånor och restprodukter \(HANS\) | Vinnova](#)

³⁷ Marie Bom: Bedömning av restprodukter från gjutning 2023 – Scania CV AB, RISE rapport nr 2023:69, Jönköping 2023.

4 Resurseffektiv energianvändning

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 livsrymden måste också klargöras, till exempel risken för ökade utsläpp av partiklar och kväveoxider.

Gjuteriindustrin har en tydlig ambition att minska användningen av fossila bränslen. Alternativ till fossilbaserad kol, koks och gasol är elektrifiering där teknik finns att tillgå upp till drygt 1000 °C. Här befaras dock att tillgången på prisvärd el kan komma att bli en begränsande faktor. Redan idag upplever gjuterier tydliga tecken på effektbrist och, inte minst i södra Sverige, tydliga tecken på brist på överföringskapacitet. Alternativa bränslen finns att tillgå eller är under utveckling. Produktion av biogasol är etablerad och finns kommersiellt precis som biogas. Andra fossilfria alternativ under utveckling är biokoks, biokol och syngas. På längre sikt kan vätgas från elektrolys och elektro-bränslen komma i fråga, alternativt utvecklad direkt-el teknik för högre temperaturer.

I detta arbetspaket behandlades energieffektivisering för smältning och andra ändamål i gjuteriernas processer. Det inleddes med en kartläggning med state-of-the-art och förbättringsförslag. Genom fyra industriella piloter förankrades och förtydligades utvalda delar i praktiken.

4.1 Energianvändning i gjutprocessen

Av den totala energianvändningen i gjuteriindustrin är en betydande del kopplad till smältprocessen, vilket gör att det alltid är aktuellt att utforska möjligheterna till förbättringar och se om dessa går att implementera. Smältprocessen styr mycket av den slutliga produktens egenskaper, vilket gör att förändringar i processen alltid måste ses i ett helhetsperspektiv så att inte produktkvaliteten påverkas negativt.

Många smältugnar är eldrivna induktionsugnar även om tekniken med kokseldad kupolugn är tonnagemässigt stor för gjutjärn. Andra smältsystem bygger på användning av gasol eller andra fossila bränslen. Processerna står för typiskt 50 % eller mer av ett gjuteris totala energianvändning. En effektivisering av dessa processer i kombination med energiåtervinning bidrar därför starkt till en reduktion av komponenternas tillverkningskostnad och miljöpåverkan.

Utöver smältningen av metallen finns ett stort antal energikrävande moment i gjuteriprocessen. Såväl all förvärmning av material och avgjutningsutrustning som efterföljande värmebehandling är energikrävande och sker idag ofta med fossila bränslen,

särskilt gasol. Smältbehandling som avgasning, kornförfining och förädling leder till energiförluster. Form- och kärntillverkning, rensning, bearbetning och interna transporter bidrar till den totala energiförbrukningen och därmed en kändbar del av produktionskostnaden. Samtidigt finns outnyttjade möjligheter att tillvarata överskottsvärme från värmebehandlingsprocessen. Att till exempel se till att temperaturen hos bortförd värme är så hög som möjligt ökar möjligheten att återanvända värmens energi.

Omvärldsbevakning. I projektets omvärldsbevakning³⁸ ingår på energiområdet en omvärldsspaning med avseende på yttre påverkan som prischocker, nya prismodeller och den nya taxonomin. Där finns också en översikt över gjuteriernas energianvändning och riktlinjer för arbetet att effektivisera den. Två avsnitt behandlar klimatneutral energitillförsel och cirkulära energimodeller. Avslutningsvis presenteras områdesvis ett antal åtgärdsförslag inklusive en läslista med tidigare forskningsrapporter.

4.2 Fallstudier

Genom fem industriella fallstudier förankrades och förtydligades olika förändringar och förbättringar av gjuteriernas energianvändning. Samtliga var kopplade till nyligen gjorda eller planerade investeringar på respektive företag. Den första fallstudien undersökte drivkrafterna för gjuteriföretag att arbeta med energieffektivisering och genomfördes som ett examensarbete. Den andra fallstudien tog fram en övergripande metodik för validering av energiprestanda på objekt- och systemnivå. Den tredje utvecklade en beräkningsmodell för hantering av effekttoppar genom *s k peak shaving* med batterienergilagring. Fjärde fallstudien verifierade metoder för värdeskapande värmeåtervinning från sand, svalnande gjutgods och värmebehandlings-ugnar, medan den femte fokuserade på energieffektivisering kopplat till process-ventilation. Nedan sammanfattas innehållet i fallstudierna. För detaljerad information hänvisas till respektive rapport.

4.2.1 Drivkrafter för energieffektivisering

Studien undersökte drivkrafterna för ett gjuteriföretag att arbeta med energieffektivisering. Den genomfördes som ett examensarbete på Jönköping University 2021 i samarbete med Baettr i Guldsmedshyttan.³⁹ Syftet var att visa på vilka faktorer som talar för och emot att ett företag ska vilja investera i energieffektiv teknik som värmeåtervinning eller energilagring. Här visade sig ekonomin vara det största hindret och miljövinster den viktigaste drivkraften, medan tekniska och organisatoriska faktorer hade mindre påverkan på besluten. Huvudfrågan var dock i vilken mån nya energieffektiva tekniker verkligen kan leda till förbättringar i energieffektivitet, kostnadsbesparingar och utsläpp av klimatpåverkande gaser i den aktuella gjuteriprocessen. Ett enkelt beräkningsverktyg skapades liksom ett beslutsstöd anpassat för energiintensiva industrier.

³⁸ Åsa Lauenstein (red.), Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

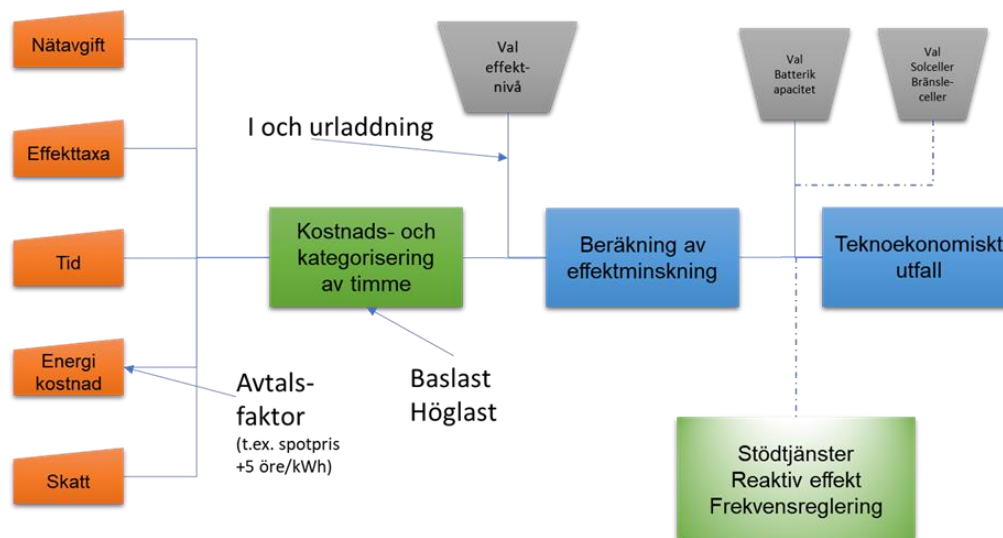
³⁹ Hatem Ahmed, Zineb Lanouar: Barriers and Motivations to Energy Efficiency Technology Implementation: A Case Study in a Swedish Foundry Industry, Master's thesis in General Management, Jönköping International Business School 05/2021, Jönköping 2021.

4.2.2 Validering av energikrav på system och komponenter

Denna studie gick ut på att i samverkan med Scania CV:s personal ta fram metodik för validering av energiprestanda på objekt- och systemnivå⁴⁰. Fokus låg på ventilation och sandkylare. Valideringen skedde utifrån de krav som ställs på utrustningen och de krav som ställs av processerna. Den framtagna metodiken kopplas till valda delar i standarden ISO 14955 som implementerats i valideringsmetoden. ISO 14955 är inte direkt utvecklad med hänsyn till gjuterimaskiner och därför utreddes vilka delar av standardens innehåll som kan tillämpas och användas på de två utvalda systemen. Valideringsmetoden kommer att kunna nyttjas i samband med inköp av utrustning och system samt att ta fram kravbilder för befintliga system som står inför förändring. Den är generaliserbar och kan användas i hela gjuterisektorn.

4.2.3 Hantering av energitoppar genom batterilager

Studien genomfördes på Norrlandsgjuteriet⁴¹ och har undersökt om ett batterilager kan vara ekonomiskt lönsamt för att kapa effekttoppar på gjuterier. I studien har en modell tagits fram för att kunna beräkna nyttan av ett batterilager oavsett elprisområde och eltariffer (Figur 7). Resultaten visar att det för 2021 års elpriser inte var lönsamt (baserat på en rak återbetalningstid) att endast kapa effekttoppar och utnyttja elprisarbitrage med batterier. För att nå lönsamhet krävs någon form av elnätjänst, exempelvis stödtjänstmarknaden. Värdet av att delta på stödtjänstmarknaden är inte inkluderat i analysen eftersom detta var ett nytt och osäkert område när modelleringen utfördes. Dessutom är ersättningen för stödtjänster i nuläget volatil och varigheten för ersättningsnivån är oklar.



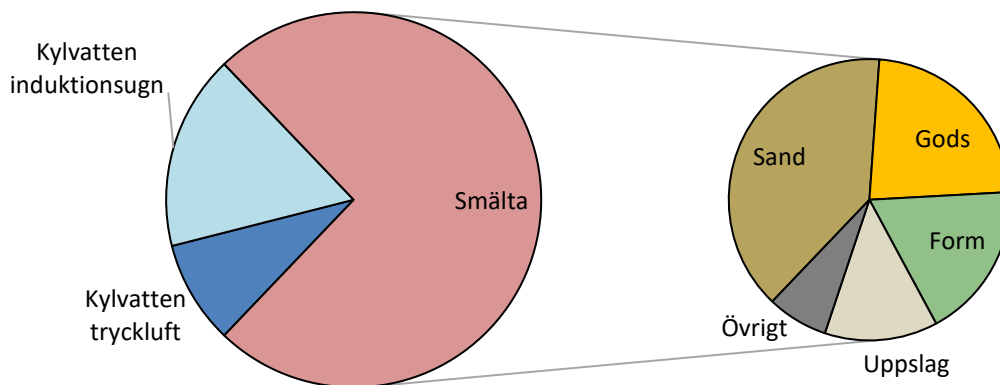
Figur 7. Modell för att beräkna nyttan av ett batterilager för att kapa effekttoppar.

⁴⁰ Per Sommarin och Anders Svensson, Validering av energiprestanda i gjutprocessen, RISE rapport nr 2023:115, Jönköping 2023.

⁴¹ Per Sommarin och Marcus Vendt, Batterilager för att kapa effekttoppar i gjuteriprocessen, RISE rapport nr 2023:114, Jönköping 2023.

4.2.4 Värdeskapande värmeåtervinning

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 och intern komfortvärme samt värmedriven elproduktion. Arbete har utförts på Smålands Stålgjuteri i Eksjö och Baettr i Guldsmedshyttan. Genomgångna restvärmekällor är kylsystem för induktionsugn och tryckluft, samt värmeåtervinning från gods, sand och värmebehandlingsugnar (Figur 8).



Figur 8. 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.

Fallstudien 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.

Huvudrapporten sammanfattar resultatet för de olika restvärmekällorna för två olika värmebehov.⁴² Detaljerad redovisning av de olika delmomenten presenteras i tre delrapporter som är indelade efter vilken teknik och vilka system som undersökts: svalnande gjutgods⁴³, sand⁴⁴ eller värmebehandlingsugn⁴⁵.

⁴² Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – huvudrapport, RISE rapport nr 2023:95, Karlstad 2023.

⁴³ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport svalnande gjutgods, RISE rapport nr 2023:96, Karlstad 2023.

⁴⁴ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport sand, RISE rapport nr 2023:97, Karlstad 2023.

⁴⁵ Oskar Räftegård: GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – delrapport värmebehandlingsugn, RISE rapport nr 2023:98, Karlstad 2023.

4.2.5 Energieffektiv processventilation

Fallstudien har tagit fram exempel på åtgärder och bakomliggande teori för att el-effektivisera processventilation på Smålands Stålgjuteri i Eksjö och Baettr i Guldsmedshyttan.⁴⁶ Besparingen för de två studerade processutsugen är ca 90% och 20%. Detta motsvarar ca 600 000 kWh/år elektricitet respektive 200 000 kWh/år. Med ett antaget elpris på 1 kr/kWh blir det 600 000 kr/år respektive 200 000 kr/år. I båda fallen består åtgärderna av att anpassa luftflöden till aktuellt driftfall genom att reglera fläkten med hjälp av en frekvensomriktare.

I teoridelen framgår att avståndet mellan föroreningens källa och utsuget får en mycket stor påverkan på elektricitet till fläktdrifter, men att andra åtgärder som till exempel att minska avstånd till källan också har betydelse. Förslag på praktiska metoder för att trimma processutsug kan till exempel vara att använda rökfacklor som ger en tydlig visuell respons på infångningsförmåga före och efter en förändring.

⁴⁶ Oskar Räftegård: GRETA – Energieffektiv processventilation, RISE rapport nr 2023:99, Karlstad 2023.

5 Framtidens hållbara gjuteri

Projektet GRETA startade hösten 2020 och under projektiden hann mycket ske i omvärlden. Ett exempel är att den internationella fordonsindustrin aktivt driver efterfrågan på hållbara produkter. Särskilt trycket på minskad klimatpåverkan är stort, vilket visar sig i svenska aktörers erbjudanden. Under hösten 2023 meddelas till exempel att

- Volvokoncernen planerar en värdekedja med nettonollutsläpp av växthusgaser till år 2040, där stål med nära nollutsläpp spelar en central roll. Processen fokuserar på att minska utsläppen till en punkt där miljöpåverkan minimeras avsevärt, om inte helt elimineras.⁴⁷
- Scania vill till 2030 ha 100 procent gröna inköp av stål, batterier, aluminium och gjutjärn till sin europeiska produktion. Det är fyra "hotspots" som står för 80 procent av klimatutsläppen från produktionsmaterialet. Målet ska nås genom en kombination av grön energi, elektrifiering, ny vätgasteknologi och ökad återanvändning av material.⁴⁸

Detta är förstås tydligt kopplat till att miljöpåverkan från leverantörsnätverket och produktionen blir allt mer utslagsgivande, i takt med att kommersiella fordon i högre grad körs på elektrifierade lösningar som minskar utsläppen när produkten används.

Enligt Agenda 2030 blir samhället hållbart genom att vi når alla FN:s 17 hållbarhetsmål, vilka enligt FN är odelbara. Av det följer att man måste ha alla mål i åtanke när man utformar såväl specifika åtgärder, framtidsstrategier som politiska ramverk för att nå enskilda mål. Ofta visar det sig att fler samarbetspartners, mer tvärvetenskap, mer sökande efter möjliga synergier, och en vilja att ompröva lösningar är nycklar till att komma närmare de 17 hållbarhetsmålen.⁴⁹

Under gjuteribranschens Strategidagar 2023 var hållbarhet ett bärande tema i diskussionen om branschens utmaningar, med föredrag om energiförsörjning, digitala produktpass och samhällets gröna och digitala omställning.⁵⁰ I en workshop med medlemmarna lyftes bland annat energifrågan, klassificering av miljöpåverkan för process och produkt, ekodesign och cirkularitet. Utgående från dessa diskussioner samt erfarenheterna från projektet GRETA föreslår projektgruppen att följande fyra områden prioriteras i branschens gemensamma forsknings- och utvecklingsaktiviteter.

1. Digitala verktyg för klassificering av miljöpåverkan
2. Cirkulära modeller för sand och metaller
3. Cirkulära affärsmodeller för gjutgoods
4. Energieffektivitet i hela värdekedjan

⁴⁷ [Volvokoncernen säkrar ökade volymer av stål med nära nollutsläpp genom samarbete med H2 Green Steel \(volvogroup.com\)](https://www.volvogroup.com), 2023-09-14.

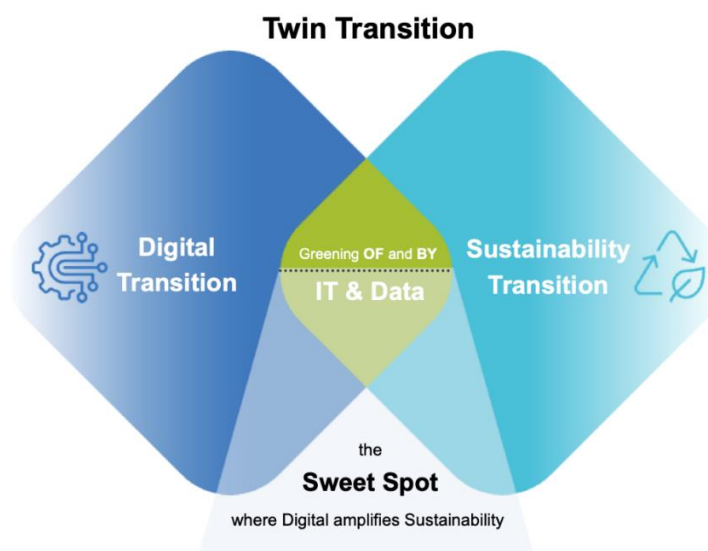
⁴⁸ [Scanias nya krav på stål, aluminium, batterier och gjutjärn \(metal-supply.se\)](https://www.metal-supply.se), 2023-11-24.

⁴⁹ [Jernkontorets teknikområde 86, Hållbarhetskompassen](https://www.hallbarhetskompassen.se)

⁵⁰ [Strategidagarna 2023 - Svenska Gjuteriföreningen \(gjuteriforeningen.se\)](https://www.gjuteriforeningen.se)

5.1 Digitala verktyg för klassificering av miljöpåverkan

Ett effektivt hållbarhetsarbete kräver idag att digitala verktyg och möjligheter används på bästa sätt. Den gröna omställningen måste även vara digital – en dubbel omställning, twin transition (Figur 9).



Figur 9. Grön och digital omställning – Twin Transition⁵¹

Kraftsamling för ett hållbart digitaliserat Sverige var ett regeringsuppdrag för att föreslå utformningen av ett strategiskt program för att leda i den digitala strukturomvandlingen där myndigheterna Vinnova, Myndigheten för digital förvaltning (Digg), Post- och telestyrelsen (PTS) och Vetenskapsrådet (VR) medverkade. Myndigheterna föreslog en nationell digital kraftsamling med fokus på spårbarhet, resurseffektivitet och kraftigt minskade utsläpp av växthusgaser, nyttjande av förnyelsebara råvaror och energikällor samt återanvändandet av material.⁵² Detta ledde till **forskningsprogrammet Avancerad digitalisering**, där finansiering av projekt bland annat förutsätter ett tydligt hållbarhetsfokus för att bidra till samhällets digitala omställning, en hållbar utveckling och arbetet för att nå de svenska miljömålen. I november 2023 finansierar programmet drygt 180 projekt med över 400 aktörer och en totalbudget på 1,6 miljarder kronor⁵³, däribland ett par av de nystartade projekt som beskrivs i Tabell 1 i denna rapport (ReVär och SANDRA).

I **Svenska Gjuteriföreningens branschagenda** identifieras ett framgångsrikt utnyttjande av digitaliserade processer, bearbetning av stora datamängder och artificiell intelligens som viktiga förutsättningar för framtidens hållbara och konkurrenskraftiga produktion. 2025 skall gjuteribranschens behov vara kartlagt och plan för implementering av digitala processer ha tagits fram.⁵⁴ Spännvidden är dock stor vad gäller digital mognad,

⁵¹ Illustration från [What is the 'twin transition' - and how can it speed sustainable growth | World Economic Forum \(weforum.org\)](https://www.weforum.org)

⁵² [Regeringsuppdrag att föreslå ett strategiskt program för digital strukturomvandling \(N2021/00041\)](#).

⁵³ www.avanceraddigitalisering.se

⁵⁴ [Agenda för en hållbar svensk gjuteriindustri \(2019\)](#)

faktisk kompetens och strategi, och många gjuteriföretag befinner sig fortfarande tidigt i den digitala transformationen med tillgång till stora mängder ”tysta” processdata, som varken visualiseras eller analyseras. Ett område som kommer att kräva särskild omsorg är digitala verktyg för verifiering av klimatavtryck, bedömning av cirkulära affärsmodeller med mera. I detta ingår även övergripande förutsättningar för hållbar transformation genom digitala verktyg för nationella och internationella regelverk och klassificeringar, etik och juridik. Samma behov finns inom hela den svenska tillverkningsindustrin, vilket ger goda möjligheter till samarbete med andra branscher.

Digitalisering är bland annat nödvändig för att säkerställa den spårbarhet som är nödvändig för att vi ska kunna följa och dokumentera klimatpåverkan av en process eller produkt. EU-kommissionen presenterade i mars 2022 sitt förslag till förordning om ekodesign för hållbara produkter med **krav på digitala produktpass**.⁵⁵ Sannolikt kommer det att handla om omfattande miljö- och hållbarhetsrelaterad information, och förslaget gör ingen skillnad mellan företag av olika storlek.⁵⁶ RISE deltar i det nätverk av organisationer som bygger en vision för ett enhetligt digitalt produktpass med gemensamma principer och standarder.⁵⁷ Frågan diskuterades flitigt på Strategidagarna i oktober 2023. Här önskar man få kompetensutveckling och hjälp att hitta adekvata verktyg. Kunskapsläget om digitala produktpass och kraven i den kommande ekodesignförordningen är generellt låg bland gjuteriföretagen, men man ser en potential i förbättringsarbete, affärsutveckling och kostnadsbesparingar som en effekt av ökad tillgång till information om produkterna.

Lagring, hantering och delning av den data som krävs för ökad spårbarhet kräver även den energiförbrukning. Om ett fullt utvecklat centralt system för produktpass utvecklas, kommer energiåtgången för att dela all denna information öka flerfaldigt utan att mervärdet nödvändigtvis ökar i samma grad. Vissa aktörer förespråkar därför en decentraliserad lösning.⁵⁸ I november 2023 lanserade Fordonskomponentgruppen FKG sitt **klimatdatablad**, en metod där ett tillverkningsföretag kan lära sig att samla in sina hållbarhetsdata för att sedan få det arbetet validerat hos RISE. Klimatdatabladet ersätter inte livscykelanalyser utan är ett enklare och mer kostnadseffektivt verktyg som förutsätter ett samarbete mellan leverantör, företag och kund.⁵⁹ Flera företag inom gjuteribranschen har bidragit till framtagning och utvärdering av klimatdatabladet.

En stor svårighet när det kommer till att tillämpa mer kraftfulla digitala verktyg som AI-lösningar på klimatutmaningen är **brist på högkvalitativa data**. Det krävs stora mängder data för att driva inlärning i moderna AI-system. Inom AI-forskningen pågår det idag en viktig diskussion om möjliga metoder som kan utnyttja mindre och glesare datamängder.⁶⁰ En annan möjlighet är att utnyttja expertkunskaper och mer formella matematiska modeller som komplement till data, så kallad fysikbaserad AI.⁶¹ Här bör

⁵⁵ [Datadelning för hållbarhet. En ny europeisk produktpolicy för sammanlänkad grön och digital omställning, Vinnova 2022.](#)

⁵⁶ [Spårbarhet och digitala produktpass \(tillvaxtverket.se\)](#)

⁵⁷ [CIRPASS - Shaping the future of the Digital Product Passport | RISE](#)

⁵⁸ [Utvecklad position om digitalt produktpass.pdf \(svensktnaringsliv.se\)](#)

⁵⁹ [Klimatsmarta komponenter placerar Sverige i framkant - FKG](#)

⁶⁰ Victor Galaz, Erik Wilson, Maria Schewenius och Sverker Jansson, AI i klimatets tjänst, ISBN 978-91-89107-04-5, 2021. [Rapporten kan laddas ner från AI Swedens hemsida.](#)

⁶¹ [Karniadakis et al., Physics-informed machine learning, Nature Reviews Physics, 3, 422-440 \(2021\).](#)

gjuteribranschen uppmärksamt följa utvecklingen och aktivt bidra till inriktningen på den tillämpade forskning som bedrivs i Sverige idag.

En annan fråga att ta ställning till är **digitaliseringens nettoeffekt** när det gäller klimat- och miljöfrågor.

Olika mätningar och uppskattningar av hur mycket av alla växthusgaser som är resultatet av digitaliseringsprocesser visar att andelen av globala utsläpp som skapas av den informationsteknik som används för att hantera och underhålla digitala tjänster uppgår till mellan 2 och 3 %. Det är dock svårare att beräkna vilka effektiviseringar som digitalisering, maskininlärning med mera har medfört inom olika industrier, branscher och sektorer. Vi känner med andra ord inte till nettoeffekten av digitaliseringens klimatavtryck.⁶²

Förutom effektiviseringar av industriella processer, smartare design av produkter och nya möjligheter till återvinning av material och insatsvaror leder ju digitaleringen även till att fysiska produkter och tjänster minskar i omfattning, vilket i sin tur minskar resursanvändningen. Å andra sidan kommer beräkningstunga AI-algoritmer, blockkedjor och sakernas internet att kräva mer energi. Och på längre sikt kan vi räkna med att hela affärssystem förändras och kanske ersätts av andra. Direkta effekter på kort sikt är dock möjliga att ta hänsyn till och bör därför inkluderas i hållbarhetsbedömningar och klimatavtryck för gjuteribranschens produkter och processer.

5.2 Cirkulära modeller för metaller och sand

Det finns ett stort behov av att ta fram en strategi för gjuteriernas materialförsörjning. Tre nystartade projekt tar upp kortare cirkulationsvägar för återgång av järn/stål, ökad användning av återvunnen aluminium i krävande applikationer samt ökad återanvändning av sand (Tabell 1).

Trenderna visar att **kraven på renhet i insamlingskrot** kommer att bli allt svårare att uppfylla. Detta innebär ökade krav på att separera i allt fler fraktioner och därmed krav på spårbarhet och incitament som bidrar till att använda skrot av differentierad kvalitet. Detta kan innebära att vissa skrotkvaliteter skall klassas som en kritisk råvara, likt det som gäller för legeringsämnen, men också att ta fram kriterier för vilka material som inte får förorenas och säkerställa att dessa material verkligen kan separeras. Man behöver även se över befintliga affärsmodeller kring skrothantering och utifrån detta tillsammans med industrin ta fram en plan för hur dessa skulle kunna modifieras för att öka den inhemska försörjningen av återvunnet material.⁶³

För gjutna aluminiumkomponenter är målet att på sikt kunna **ersätta primära legeringar med sekundära** då energiåtgång och utsläpp är avsevärt mycket lägre när sekundära legeringar används. Genom att förstå hur föroreningar, som inverkar negativt på de sekundära legeringarnas hållfasthet, varierar i en industriell process kan kunskap byggas som leder till möjlighet att ersätta de primära legeringarna med förfinade sekundära legeringar med förbättrade prestanda. Preliminära resultat från pågående

⁶² [Perspektiv på digitalisering, DIGG, Myndigheten för digital förvaltning, 2023-2197.](#)

⁶³ Åsa Lauenstein (red.), Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

projekt är lovande i denna riktning.⁶⁴ Parallellt med projektet GRETA genomfördes ett forskningsarbete på betydelsen av mikrostruktur, defekter och ytkvalitet för mekaniska egenskaper hos gjuten aluminium. I doktorsavhandlingen från december 2023 demonstreras vikten av bra kvalitet på inkommande material. Där ges också exempel på hur man, om man förstår materialet och tillverkningsprocessen, kan modifiera gjutprocessen för att förebygga sprickbildning och samtidigt minska energiförbrukningen.⁶⁵

Gjuterier i Sverige förbrukar 200 000 ton sand varje år. Idag kan många gjuterier **återvinna sanden inom gjuterisandsystem** med 70–80 %. Den del av sanden som inte kan återvinnas brukar hamna på deponi. De viktigaste hindren för att uppnå fullständig återvinning är höga kostnader relativt deponi samt hög energiförbrukning vid termisk återvinning. Dessutom kan bindemedelsrester i sanden orsaka utsläpp av förorenande och klimatpåverkande ämnen.⁶⁶ Här behövs såväl mer kunskap om nya och förbättrade metoder som utveckling av mer gynnsamma kostnadsmodeller.

Fallstudien på kärnbindemedel visade på svårigheten för ett sandgjuteri att korrekt bedöma **miljöpåverkan av klimatpåverkande gaser** från formnings-, avgjutnings- och urslagingsprocessen.⁶⁷ Eftersom relevanta data saknas för de många ofta komplexa bindemedelssystem som används behöver sådana tas fram. Här behövs i praktiken en metod för att beräkna miljöpåverkan utgående från leverantördata för ingående tillsatser och kemikalier och kemiska massbalanser för de ingående processerna, liksom en strategi för hur framräknade värden ska kunna användas i kommunikation med kunder och myndigheter.

5.3 Cirkulära affärsmodeller för gjutgods

Det har blivit tydligt i projektet att gjuteriföretagen behöver utveckla strategier för att **anpassa sina affärsmodeller till den cirkulära ekonomin**. Goda exempel finns på företag som tagit viktiga steg mot cirkularitet i sina verksamheter och visat att det finns en begynnande, om än otillräcklig, infrastruktur i Sverige som underlättar för cirkulära flöden. Satsningar utomlands möter större utmaningar eftersom kostnader för till exempel returlogistik är höga. Några viktiga framgångsfaktorer är ett fördjupat partnerskap med ett fåtal partnerföretag, projekt som tillåter att gjuteriföretag experimenterar med alternativa affärsmodeller, och insikten att det tar tid för det cirkulära tänket att sätta sig i hela organisationen.⁶⁸ Projektet visar inte minst på möjligheten för större företag att experimentera med olika cirkulära affärsmodeller, för att hitta modeller som fungerar för den egna strukturen och produkten. Men det är många experiment som

⁶⁴ Anton Bjurenstedt: GRETA – Fallstudie återvunnen aluminium, RISE rapport nr 2023:72, Jönköping 2023.

⁶⁵ Bogdanoff, Toni (2023) The Effect of Microstructural Features, Defects and Surface Quality on the Fatigue Performance in Al-Si-Mg Cast Alloys, Doctoral Thesis, School of Engineering, Jönköping University, Dissertation Series No. 084.

⁶⁶ Åsa Lauenstein (red.), Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

⁶⁷ Ulf Gotthardsson: Jämförelse mellan två kärnbindemedel, RISE rapport nr 2023:81, Jönköping 2023.

⁶⁸ Duncan Levinsohn: *Cirkularitet och affärsmodeller*, JIBS Research Reports Nr. 2023-1, Jönköping 2023.

inte fungerar och detta tyder på att mindre företag - som har mindre resurser - kan ha svårare att utföra liknande experiment, för att finna egna cirkulära affärsmodeller.

En fråga av särskilt intresse är vad nya cirkulära affärsmodeller för gjutna produkter skulle innebära för **relationerna mellan olika företag** i en och samma leverantörskedja. Digitala produktpass kommer exempelvis att förutsätta långtgående delning av komponent- och produktionsdata med krav på transparens och gemensamma standarder. Det är också troligt att konceptet med *just-in-time* kommer att utmanas ytterligare då olika aspekter av hållbarhet (ekonomisk, ekologisk, social) hamnar i konflikt.⁶⁹ Spänningen mellan olika delar av ”cirkularitetsmodellen” är något som sällan nämns i forskning och policy, men är ändå något som kommit fram i projektet och som kan behöva utforskas mer i framtiden. En slutsats är att den pågående omställningen i samhället kopplat till cirkulära affärsmodeller och ett större fokus på hållbarhet – parallellt med utveckling av nya teknologier såväl som en ökad grad av digitalisering – kan utmana mindre och medelstora företag på ett disruptivt sätt. Här krävs en utvecklad förmåga att hantera både planerade och oplanerade förändringar.⁷⁰

Två liknande frågor som berör cirkulära affärsmodeller handlar om **vilka modeller** som är mest lämpade för just gjuteriindustrin, och **vilka kriterier** som bör ställas av gjuterierna för att ta ställning till införandet av cirkularitet till den egna affärsmodellen. Gjuterier som har arbetat cirkulärt en längre tid fokuserar ofta på endast ett fåtal affärsmodeller som de har testat och anser hållbara, ur ett ekonomiskt och organisatoriskt perspektiv. Kriterierna som har applicerats för att komma fram till dessa beslut är dock än så länge svåra att tyda. Här kan det behövas ytterligare studier för att identifiera dessa kriterier, samt utforska hur de påverkas av gjuteriers storlek, produkt, förändringar i omvärlden mm. Eftersom företag många gånger väljer en **kombination av affärsmodeller** för att arbeta cirkulärt är det också viktigt att studera vilka kombinationer som används av gjuterier på ett framgångsrikt sätt.

Två områden som hör ihop med temat affärsmodeller är **omvärldsbevakning och policy**. Projektet har visat att policy och infrastruktur har stor påverkan på gjuteriernas förmåga att arbeta mer cirkulärt, eftersom möjligheten att införa flera cirkulära affärsmodeller påverkas av faktorer som företaget inte råder över självt. Förändringar i lagstiftning, infrastruktur och materialtillgång är därmed sådant som kan snabbt göra en tidigare avfärdad affärsmodell gångbar. Därför kan aktiviteter som omvärldsbevakning och politisk påverkan få ännu större strategisk betydelse för gjuterierna i framtiden.

5.4 Energieffektivitet i hela värdekedjan

Det är ingen överdrift att hävda att världshändelserna och samhällsutvecklingen 2020–2023 har gett en förnyad tyngd åt energifrågorna inom svensk industri. Den kontinuerliga kommunikationen med gjuteriföretagen i projektarbetet i form av föredrag, webinarier och workshops var därför mycket värdefull. Under gjuteribranschens strategidagar i oktober 2023 diskuterades energifrågan livligt. Där sammanfattades projektresultaten

⁶⁹ Paul Abaci och Elin Karlsson, Identifying Challenges Regarding Sustainability and Circularity in Foundries: A multiple-case study of OEMs and SMEs in the Swedish foundry industry, Bachelor’s thesis in Industrial Engineering and Management, Jönköping School of Engineering, Jönköping 2023.

⁷⁰ Kerstin Johansen, A disruptive industrial environment – Aspects to reflect on as a manufacturing SME, The Journal of Applied Economics and Business Research (JAEBR), 13(2), pp. 57-66, 2023.

och olika aspekter av energi-effektivisering på gjuterier presenterades. Diskussionen utmynnade i två praktiska förslag till hur gemensamma aktiviteter skulle kunna organiseras.

1. Kunskap om energiåtgärder kan stärkas med ett **energiforum**, där folk i gjuteribranschen berättar för varandra. -Hur tänkte vi? -Hur gick det? -Hur skulle jag gjort om jag vetat det jag vet nu?
2. Kunskap om energiledning kan stärkas med ett coachande **nätverk "GNETA"** för dem som gnetar, det vill säga arbetar operativt med energispar. Nätverket träffas för att utbyta praktiska erfarenheter och entusiasmera varandra.

Här finns flera olika perspektiv att arbeta med: åtgärder, ledning och omställning.

Åtgärdspektivet – att göra saker rätt – handlar om att genomföra energiåtgärder. Deltagarna på strategidagarna (som inte nödvändigtvis själva arbetade med energifrågan) hade fokus på att få kunskap om energiåtgärder, gärna tekniska. Mycket få deltagare kände till någon av de branschspecifika guider som redan finns^{71, 72}. 2021 togs en webkurs för energismarta gjuterier fram⁷³ av Svenska Gjuteriföreningen tillsammans med Energimyndigheten. Det finns också gott om aktuella youtube-klipp från svenska gjuterier som genomför energiåtgärder.^{74, 75} Sammantaget ger detta en bred kunskapsbas som är både uppdaterad för gjuteribranschen och lättåtkomlig. I ett energiforum skulle dessa kunskaper kunna spridas till många på ett effektivt sätt.

Ledningsperspektivet – att göra rätt saker – handlar om att arbeta med det systematiska dagliga gnetandet och ständig förbättring. Energiledning är ett operativt arbete, vilket även kan vara dokumenterat i ett ledningssystem som ISO14001. Här är branschen som sådan omogen med svag energiledning.⁷⁶ Behovet är stort, intresset på strategidagarna var svalt. "GNETA"-nätverket skulle kunna ändra på detta. Ett möjligt arbetssätt är MOVE-metoden som ursprungligen utvecklades för effektivisering av motordrifter.⁷⁷ Metoden bygger på workshops på företagen i närheten av eller i direkt anslutning till processen med berörd personal och beslutsfattare. Metoden är personalresurskrävande, men har fördelen att den skapar acceptans och helhetssyn och därmed undviker suboptimeringar och att allt för snävt ställda ramar begränsar identifiering av effektiviseringsåtgärder och genomförande. Den vidareutvecklas och anpassas under våren 2024 för svenska gjuterier inom ramen för ett pågående forskningsprojekt.⁷⁸

Omställningsperspektivet handlar om att strategiskt skapa förutsättningar för ett bibehållet manöverutrymme i ett affärslandskap under snabb förändring med hållbar omställning, digitalisering och cirkulära affärsmodeller. Mest renodlat ur energiperspektivet handlar det om att ersätta fossil gasol och anpassa sig till en mer flexibel

⁷¹ Energieffektivisering i gjuterier - En vägledning för bästa teknik, Statens Energimyndighet, 2017

⁷² Energieffektiv smältning, Swerea Swecast, rapport 2012:010

⁷³ <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/ny-webbkurs-for-energismarta-gjuterier/>

⁷⁴ [Energieffektivisering på Global Castings i Guldsmidshyttan, Energimyndighetens youtubekanal, 2017.](#)

⁷⁵ [Reftele Gjuteri, ett gott exempel, Energikontor Norra Smålands youtubekanal, 2022.](#)

⁷⁶ Assessing Swedish Foundries Energy Management Program, Energies 2018, 11, 2780; doi:10.3390/en11102780

⁷⁷ Anders Svensson m fl, Slutrapport för projektet MOVE, Energimyndighetens diarienummer 2013-005615, Swerea Swecast rapport nr 2015-006, Jönköping 2015.

⁷⁸ [Resurseffektiv värmebehandling av stålgiutgods med digitala verktyg | Vinnova](#)

elproduktion, medan de större möjligheterna återfinns i en helhet där gjuteribranschen inte ensam har rådighet. Här finns goda möjligheter till kreativa partnerskap i industriell och urban symbios med såväl samarbetspartners inom den egna värdekedjan som andra företag och aktörer i närområdet.

De första två perspektiven handlar om att implementera kunskap och tekniklösningar som redan finns. Många nya tekniska lösningar som batterier, vätgasugnar, direkt-el för hög tempertur, el-flexibilitet och så viddare behöver utvecklas och anpassas för gjuteribranschen. Det finns också ett stort utvecklingsbehov kopplat till digitalisering och ”twin transition”, exempelvis för energiledning, vilket matchas väl av kommande satsningar på industriell digitalisering.⁷⁹

Omställningsperspektivet å andra sidan är i hög grad beroende av ny forskning. Hur förändras gjuteriernas roll och manöverutrymme i en framtid med industriell och urban symbios, hur ökas resurseffektiviteten och hur kan cirkulära affärsmodeller utformas? Här finns en betydande energipotential, men den hänger tätt samman med en större helhet. Vilken roll spelar energifrågan i ett industriellt ekosystem? Hur kan symbioser bildas i gjuteriets närområde, och hur kan energiförbrukningen optimeras genom värdekedjan? Förutom självklara exempel som restvärmesamarbeten är pågjutning på en slityta, i stället för omgjutning av hela produkten, ett exempel på hur en cirkulär affärsmodell sparar energi⁸⁰.

5.5 Vad händer efter GRETA?

Ett av projektets uttalade mål var att ge inspel till den svenska gjuteribranschens strategiska arbete. Så har skett, och hållbarhetsfrågorna är numera en självklar del i de uppdaterade strategierna så som de kom till uttryck senast under branschens strategidagar i oktober 2023. De sex nystartade gemensamma forskningsprojekten samlar fler än 30 olika företag och organisationer, och branschgemensamma kompetenssatsningar planeras inom bland annat klimatredovisning och energieffektivisering. Svenska Gjuteriföreningens forskningsgrupper har här tillsammans med kompetensrådet en viktig roll i det fortsatta samarbetet liksom forskningsaktörerna RISE och Jönköping University.

GRETA-projektet finansierades av det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material. Under 2024 kommer nästa generations forsknings- och innovationsprogram att startas inom den nya satsningen Impact Innovation. Det är ett initiativ av Energimyndigheten, Formas och Vinnova, som bygger vidare på tidigare samarbete kring strategiska innovationsprogram. Satsningens uttalade mål är att lösa globala samhällsutmaningar och öka takten på omställningen till ett hållbart samhälle.⁸¹ De första finansieringslösningarna presenteras i maj 2024. Här bör finnas goda möjligheter för den svenska gjuteribranschen att vidareutveckla många av de idéer och strävanden som formulerats under projektiden.

⁷⁹ [230 miljoner till framtidens digitala lösningar för industrin | Vinnova](#)

⁸⁰ [Återtillverkning av gjutna komponenter genom pågjutning Vinnova](#)

⁸¹ [Impact Innovation – Sveriges innovationssatsning för 2030-talet](#)

Bilaga 1. Rapporter inom projektet

De flesta rapporterna kan laddas ner via projektets hemsida:

[Rapporter - Svenska Gjuteriföreningen \(gjuteriforeningen.se\)](https://www.gjuteriforeningen.se)

Hållbar gjuteriproduktion

Per Sommarin, Oskar Räftegård, and Henrik Borgström, *Transition to Resource-Efficient Robust Production for Increased Competitiveness*, AFS Transactions 23-004, sid 241-245, 2023.

Åsa Lauenstein (red.), *Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning*, RISE rapport 2023:71, Jönköping 2023.

Åsa Lauenstein, *Hållbara gjutna produkter. Slutrapport från projektet GRETA*, RISE rapport 2023:126, Jönköping 2023.

Resurseffektiv design av gjutgoods

Paul Abaci och Elin Karlsson, *Identifying Challenges Regarding Sustainability and Circularity in Foundries: A multiple-case study of OEMs and SMEs in the Swedish foundry industry*, Bachelor's thesis in Industrial Engineering and Management, Jönköping School of Engineering, Jönköping 2023. <https://hj.diva-portal.org/smash/get/diva2:1780482/FULLTEXT01.pdf>

Kerstin Johansen, *A disruptive industrial environment – Aspects to reflect on as a manufacturing SME*, The Journal of Applied Economics and Business Research (JAEBR), 13(2), pp. 57-66, 2023, http://www.aebrjournal.org/uploads/6/6/2/2/6622240/joaebrdecember2023_57_66.pdf

Duncan Levinsohn (2023) *Cirkularitet och affärsmodeller*. JIBS Research Reports Nr. 2023-1, Jönköping; ISSN 1403-0462/ ISBN 978-91-7914-033-5 (online version.) <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hj:diva-62887>

Martin Risberg, *design och hållbarhet för gjutna komponenter*, RISE-intern rapport, Jönköping 2023.

Resurseffektiva materialflöden

Cecilia Westerlid, *Testrapport Laholm Stål: Torkade stålspånor i olika proportioner i gjutning*, RISE-intern rapport, 2022-05-24.

Anton Bjurenstedt: *GRETA – Fallstudie återvunnen aluminium*, RISE rapport nr 2023:72, Jönköping 2023.

Marie Bom: *Bedömning av restprodukter från gjutning 2023 – Scania CV AB*, RISE rapport nr 2023:69, Jönköping 2023.

Ulf Gotthardsson: *Jämförelse mellan två kärnbindemedel*, RISE rapport nr 2023:81, Jönköping 2023.

Resurseffektiv energianvändning

Hatem Ahmed, Zineb Lanouar: *Barriers and Motivations to Energy Efficiency Technology Implementation: A Case Study in a Swedish Foundry Industry*, Master's thesis in General Management, Jönköping International Business School 05/2021, Jönköping 2021. Konfidentiell.

Hatem Ahmed, Zineb Lanouar: *Barriers and Motivations to Energy Efficiency Technology Implementation: A Case Study in a Swedish Foundry Industry*, open summary, Jönköping 2021.

Oskar Räftegård: *GRETA – Värdeskapande värmeåtervinning – huvudrapport*, RISE rapport nr 2023:95, Karlstad 2023.

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

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

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

Oskar Räftegård: *GRETA – Energieffektiv processventilation*, RISE rapport nr 2023:99, Karlstad 2023.

Per Sommarin och Anders Svensson, *Validering av energiprestanda i gjuteriprocessen*, RISE rapport nr 2023:115, Jönköping 2023.

Per Sommarin och Marcus Vendt, *Batterilager för att kapa effekttoppar i gjuteriprocessen*, RISE rapport nr 2023:114, Jönköping 2023.

Övriga publikationer med koppling till projektet

Bogdanoff, Toni (2023) *The Effect of Microstructural Features, Defects and Surface Quality on the Fatigue Performance in Al-Si-Mg Cast Alloys*, Doctoral Thesis, School of Engineering, Jönköping University, Dissertation Series No. 084, <https://hj.diva-portal.org/smash/get/diva2:1813756/FULLTEXT01.pdf>

Bilaga 2. Extern media under projekttiden

Forskningsprojekt för fossilfri gjuteribransch, [Bergsmannen](#) 2021-02-12.

Greta ska göra svenska gjuterier fossilfria, [Metal Supply](#) 2021-02-12.

Stor bransch satsar grönt, [P4 Jönköping](#) 2021-02-18.

Nu ska branschen ta tag i miljöfrågan – målet är att bli helt fossilfria, [Jönköpings-Posten](#) 2021-02-23.

Svenska gjuterierna ska bli fossilfria – men hur?, [Ny Teknik](#) nätupplagan 2021-03-05.

GRETA - en gemensam insats för hållbar gjuteriindustri, [Gjuteriet nr 2 2021, sid 14-15](#).

GRETA - en gemensam insats för resurseffektiv produktion av gjutgods, [Gjuteriet nr 4 2021, sid 30-31](#).

Nu ska det 350 år gamla gjuteriet bli fossilfritt, [Ny Teknik](#) nr 18 2021, sid 28-30.

GRETA söker företag till fallstudier, [Tidningen Gjuteriet nr 1 2022, sid 10-11](#).

Pilotgjuteriet i Jönköping stärker branschen, [Tidningen Gjuteriet nr 4 2022, sid 17-18](#).

Forskning med sikte på hållbar gjuteriindustri, [Nordiska projekt nr 4 2022, sid 42-44](#).

Gjuterikongressen 2022, [Tidningen Gjuteriet nr 5 2022, sid 19-20](#).

Strategidagarna 2022, [Tidningen Gjuteriet nr 5 2022, sid 28](#).

Att höja anseendet för sekundäraluminium, [Tidningen Gjuteriet nr 6 2022, sid 22-23](#).

HANS ska omvandla restprodukter till externa materialresurser, [Tidningen Gjuteriet nr 1 2023, sid 18-19](#).

Gjuteribranschen kraftsamlar för hållbarhet, [Vattenfall Plaza](#) 2023-04-26.

Svenska gjuteriers resa mot en cirkulär ekonomi, [Tidningen Gjuteriet nr 3 2023, sid 12-13](#).

Vad händer i omvärlden – ny rapport om framtidens hållbara gjuteri, [Tidningen Gjuteriet nr 4 2023, sid 23](#).

GRETA knyter ihop säcken med matnyttig kunskap inför framtiden, [Tidningen Gjuteriet nr 5 2023, sid 28-29](#).

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 framtids säkra 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

Komponentgjutning
RISE Rapport 2023:126
ISBN: 978-91-89896-13-0