

# RISE

## MATERIAL OCH PRODUKTION KOMPONENTGJUTNING



Framtidens hållbara gjuteri.  
En omvärldsbevakning

Åsa Lauenstein (red.)

RISE Rapport 2023:71



# Framtidens hållbara gjuteri. En omvärldsbevakning

Åsa Lauenstein (red.)

## Abstract

### **Sustainable foundries of the future. A survey**

This report is part of the GRETA project, Cast products with resource-efficient manufacturing processes and business models. The project aims to provide Sweden's foundry industry with the conditions for a sustainable transition while maintaining competitiveness, where higher resource efficiency can be obtained for energy use, material use and product design. Involved partners are a large number of foundry companies, Jönköping university, and RISE. It is ongoing 2020-2023 and is financed by the Swedish Foundry Association and the strategic innovation program Metallic materials, a joint effort by Vinnova, the Swedish Energy Agency and Formas.

A subjective selection is made from an almost incalculable amount of ongoing work and activities in the area. The goal has been to show a number of development areas for knowledge that can either be applied by the foundry industry immediately or are interesting enough to be the subject of new joint activities and development projects in the near future. The hope is that the report will provide inspiration for a continued sustainable transformation of the Swedish foundry industry and curiosity about the opportunities that exist.

Key words: Foundry, metal casting, sustainability, circularity

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:71

ISBN: 978-91-89821-33-0

2023

# Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>2</b>
<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Design av gjutna produkter</b> .....	<b>6</b>
2.1 Drivkrafter för hållbar omställning .....	8
2.2 Indikatorer och faktorer .....	19
2.3 Cirkulära modeller .....	23
<b>3 Gjuteriernas materialanvändning</b> .....	<b>28</b>
3.1 Resurseffektiv materialanvändning.....	28
3.1.1 Resurseffektiv gjutning av aluminium.....	29
3.1.2 Resurseffektiv gjutning av järn och stål .....	32
3.1.3 Resurseffektiv gjutning i engångsformar .....	38
3.1.4 Resurseffektiv användning av formmaterial.....	43
3.1.5 Resurseffektivitet genom digitalisering.....	46
3.2 Klimatneutral materialanvändning .....	49
3.2.1 Gjuteriernas koldioxidavtryck.....	49
3.2.2 Klimatneutral framställning av aluminium .....	53
3.2.3 Klimatneutral framställning av järn- och stålråvara.....	54
3.2.4 Klimatneutrala sandformar.....	55
3.3 Cirkulära materialflöden .....	59
3.3.1 Cirkulära flöden av aluminium, järn och stål.....	59
3.3.2 Cirkulära flöden av sand.....	60
3.3.3 Restprodukter.....	62
<b>4 Gjuteriernas energianvändning</b> .....	<b>69</b>
4.1 Yttre påverkan.....	70
4.2 Använd energi.....	71
4.3 Resurseffektiv energianvändning .....	74
4.4 Klimatneutral energitillförsel .....	75
4.5 Cirkulära energimodeller.....	76
4.6 Åtgärdsförslag energianvändning.....	77
<b>5 Bilagor</b> .....	<b>80</b>
<b>Bilaga 1. Ordlista</b> .....	<b>81</b>
<b>Bilaga 2. Rapporter</b> .....	<b>85</b>

# Förord

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

Rapporten är en omvärldsbevakning som har skrivits och kompletterats under projektets gång. Flera författare har bidragit med text och information däribland Anton Bjurenstedt (aluminium), Marie Bom (drivkrafter och nyckeltal), Henrik Borgström (järn, stål och digitalisering), Oskar Räftegård (energi), Mahsa Saeidpour (sand och formmaterial) och Per Sommarin (energi). Åsa Lauenstein har stått för sammanfattande texter och redigering.

I rapporten görs ett subjektivt urval från en närmast oöverskådlig mängd pågående arbeten och aktiviteter inom området. 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. Förhoppningen är att rapporten ska ge inspiration till en fortsatt hållbar transformation av svensk gjuteribransch och nyfikenhet på de möjligheter som finns.

# Sammanfattning

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

I rapporten görs ett subjektivt urval från en närmast oöverskådlig mängd pågående arbeten och aktiviteter inom området. 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. Förhoppningen är att rapporten ska ge inspiration till en fortsatt hållbar transformation av svensk gjuteribransch och nyfikenhet på de möjligheter som finns.

# 1 Inledning

Denna rapport ingår i projektet GRETA, Gjutna produkter med resurseffektiva tillverkningsprocesser och affärsmodeller. Projektet syftar till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft, där högre resurseffektivitet kan erhållas för energianvändning, materialanvändning och produktdesign. Bakom projektet står ett stort antal gjuteriföretag och det statliga forskningsinstitutet RISE. Det pågår 2020-2023 och finansieras av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.<sup>1</sup>

Ur Agendan för Metalliska material, 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.<sup>2</sup>

Medvetenheten är hög inom svensk gjuteriindustri om att en hållbar 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 varierar kunskapsläget hos olika företag och verksamheter kraftigt inom dessa områden. Målet för projektet är att ge svenska gjuterier verktyg för en hållbar omställning genom mer effektiv resursanvändning.

Projektarbetet organiseras i tre arbetspaket. Det första undersöker hur högre resurseffektivitet kan uppnås för energianvändningen för en given gjuten produkt och en given framställningsprocess. Det andra utgår från en given gjuten produkt och söker förutsättningar att möjliggöra högre resurseffektivitet i framställningsprocessen. I det tredje vidgas perspektivet genom att den gjutna produktens användningsfas och cirkulära affärsmodeller inkluderas i diskussionen.

För att kunna prioritera och formulera förbättringsförslag på kort och lång sikt sammanställs tillgängligt vetande i en nulägesanalys inklusive internationell state-of-the-art. Därefter måste kunskapen konsolideras och implementeras genom att förbättringar föreslås, testas och utvärderas. Detta sker genom fallstudier och pilotprojekt kopplade till specifika investeringar i utrustning och kompetens hos utvalda gjuteriföretag. Slutligen diskuteras och kommuniceras vilka åtgärder som bör prioriteras i varje enskilt sammanhang. Kunskapsluckor identifieras och kompletterande forsknings- och utvecklingsarbete initieras.

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. Exempel på väl utredda frågor under åren 2012–2019 är

---

<sup>1</sup> <https://www.gjuteriforeningen.se/haallbarhet/greta/>

<sup>2</sup> <https://www.metalliskamaterial.se/sv/natverk/det-strategiska-innovationsprogrammet-metalliska-material/>

energieffektiv smältning, värmebehandling av gjutgods, BAT, minskat metallspill och alternativa användningsområden för slagger och formsand. Andra områden utmärks av kunskapsluckor på grund av frågeställningarnas höga komplexitet, där kraven på prestanda hos avancerade gjutna produkter ständigt höjs. Några är dessutom kopplade till de senaste årens höjda krav på exempelvis fossilfria råvaror och energislag. Ytterligare ett område med stor utvecklingspotential för gjuteriindustrin är cirkulära resursflöden och cirkulär ekonomi.

Denna rapport är en omvärldsbevakning inom projektet GRETA. Kapitel 2, Design av gjutna produkter, presenterar viktiga drivkrafter bakom gjuteribranschens omställning mot ökad hållbarhet och olika sätt att kvantifiera inverkan av enskilda åtgärder. Kapitel 3, Gjuteriernas materialanvändning, behandlar hanteringen av formmaterial och metaller med ett särskilt fokus på cirkularitet och återvinning. Kapitel 4, Gjuteriernas energianvändning, diskuterar energifrågor i termer av resurseffektivitet och klimatavtryck. Flera författare har bidragit med text och information däribland Anton Bjurenstedt (aluminium), Marie Bom (drivkrafter och nyckeltal), Henrik Borgström (järn, stål och digitalisering), Oskar Räftegård (energi), Mahsa Saeidpour (sand och formmaterial) och Per Sommarin (energi). Åsa Lauenstein har stått för sammanfattande texter och redigering. Hållbar produktdesign och cirkulära affärsmodeller för gjutgods ingår i GRETA-projektets frågeställningar men behandlas inte i detalj denna rapport.

En ordlista för vanliga begrepp inom hållbarhetsområdet som används i denna rapport finns i Bilaga 1. En sammanställning av relevanta rapporter från 2006 och framåt utgivna av Svenska Gjuteriföreningen och Swerea SWECAST/RISE finns i Bilaga 2.

I rapporten gör vi ett subjektivt urval från en närmast oöverskådlig mängd pågående arbeten och aktiviteter inom området. Vårt mål 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. Vår förhoppning är att rapporten ska ge inspiration till en fortsatt hållbar transformation av svensk gjuteribransch och nyfikenhet på de möjligheter som finns.

## 2 Design av gjutna produkter

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.

*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.



Den största miljöpåverkan ifrån ett gjuteri är materialets klimatpåverkan och energianvändningen vid smältning/nedkylning. 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 återvinningsgrad av metaller samt energi med lågt klimatavtryck innebär detta att svenska gjuterier redan idag ett lågt klimatavtryck jämfört med internationell produktion<sup>3</sup>.

För att uppfylla EU:s och Sveriges klimatmål att minska koldioxidutsläppen med minst 80% till 2050 behöver resursutnyttjandet förbättras ännu mer. Den långa tekniska livslängden av metalliska komponenter och det ständigt ökande behovet av metaller innebär att efterfrågan på skrot av god kvalitet är högre än tillgången. Med hög kvalitet avses metall med känt innehåll, lågt innehåll av oönskade ämnen och legeringsämnen och hög teknisk standard. Även om mycket metaller har en hög återvinningsgrad (aluminium 78%, stål 83%<sup>4</sup>) är endast 30 % av stålproduktionen skrotbaserad<sup>5</sup>. Detta beror på att insamlat skrot (som har varit ute på marknaden) håller en för låg kvalitet (blandat eller låg teknisk kvalitet) jämfört med behovet och därmed går mycket på export<sup>6</sup>. Denna obalans märks genom att exporten av skrot under åren har ökat samtidigt som import av metaller har ökat<sup>7</sup>.

Metaller av hög kvalitet är ett sätt att minska materialåtgången och även minska klimatpåverkan. Exempelvis höghållfast stål kan minska vikten med ca 30% och därmed energiåtgången under användningsfasen med minst 5%<sup>8</sup>. Då metallernas renhet påverkar den tekniska prestandan visar trenderna att insamlingskrot, med dagens hantering, allt mindre kommer att uppfylla kraven på renhet.

Då jungfruligt material i princip alltid har ett högre klimatavtryck än förnyelsebart material är det fortsatt viktigt att arbeta med använda mer återvunnet material och minska spill för att nå klimat- och miljömålen. Även om metaller inom kort kan tas fram fossilfritt, kräver denna framställning ofta en högre energikonsumtion än att återvinna material. Klimatpåverkan ifrån energi beror på hur energin produceras och en ökning av energikonsumtionen innebär att import av fossilproducerad el ökar men också att spetskraft som drivs med fossilt bränsle ökar. Skall hållbarhet nås behöver därmed även energikonsumtionen minska, mer material återvinnas samt mer fossilfria produktionsmetoder implementeras.

<sup>3</sup> P. Nayström och S. Gjuteriföreningen, "Klimatpåverkan av gjutgods", Gjuteriföreningen, Jönköping, 2020-001\_, 2020. [Online]. Tillgänglig vid: [www.gjuteriforeningen.se](http://www.gjuteriforeningen.se)

<sup>4</sup> "Återvinning av förpackningar i Sverige", Statistiska Centralbyrån. <http://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/atervinning-av-forpackningar-i-sverige/> (åtkomstdatum 01 april 2022).

<sup>5</sup> Jernkontoret, "Stål en förutsättning för cirkulär ekonomi", Jernkontoret, 23 april 2020. <https://www.jernkontoret.se> (åtkomstdatum 14 april 2021).

<sup>6</sup> J. Tan, M. V. Wehde, F. Brønd, och P. Kalvig, "Traded metal scrap, traded alloying elements: A case study of Denmark and implications for circular economy", Resources, Conservation and Recycling, vol. 168, s. 105242, maj 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105242.

<sup>7</sup> EUTROFER, "European Steel in Figures 2020", EUTROFER THE EUROPEAN STEEL ASSOCIATION, Brussels, annual statistical publication 12th edition, juni 2020. Åtkomstdatum: 03 september 2021. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>

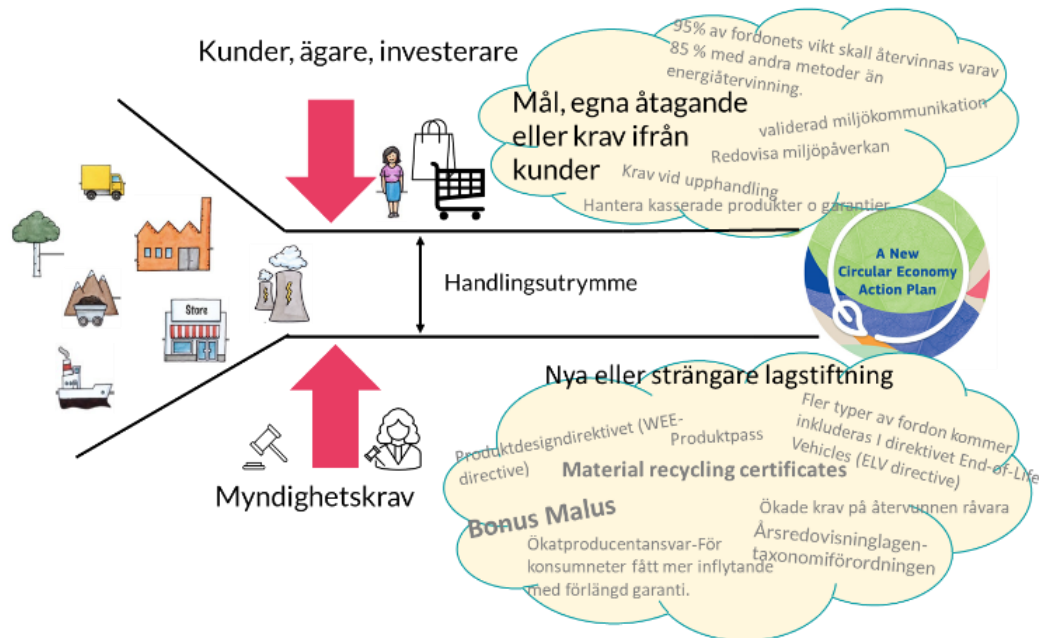
<sup>8</sup> Jernkontoret, "Stål skapar miljönytta", Jernkontoret, Stockholm, 2015. Åtkomstdatum: 30 april 2021. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.jernkontoret.se/>

En mer hållbar och resurseffektiv gjuteriproduktion kräver målinriktat arbete med

- Produktdesign och processutveckling för återanvändning
- Nya affärsmodeller
- Bättre sortering och spårbarhet
- Branschgemensamma riktlinjer som stödjer omställning till cirkulär klimatneutral industri

## 2.1 Drivkrafter för hållbar omställning

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 åtgärds paket, som benämns Green Deal, eller Den gröna given.



Figur 2.1. För att målen i Parisavtalet behöver verksamheter förutse och hantera kommande myndighetskrav och krav ifrån kunder ägare och investerare.

För att målen i Parisavtalet ska uppnås behöver verksamheter förutse och hantera kommande myndighetskrav och krav ifrån kunder, ägare och investerare (Figur 2.1). ”Den gröna given” lyfter fram områden som har behov av innovation och investeringar för att bli resurseffektiva<sup>9</sup> och åtgärderna kommer att beröra alla delar av samhället. De första åtgärderna/ klimatinitiativen inrymmer en ny klimatlag, strategier för att involvera allmänheten, en klimatmålsplan och en strategi för klimatanpassning.

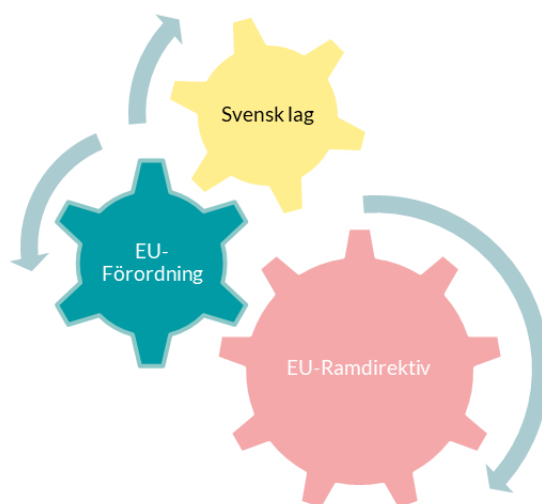
EU:s lagstiftning och regelverk är direkt tvingande för varje land, men varje land har viss valfrihet att tolka regelverket och välja olika styrmedel. Företag har varit vana vid att få

<sup>9</sup> J. Rådström, ”Resurseffektivitet Fakta och trender mot 2050”, Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), Stockholm, 2015. Åtkomstdatum: 13 april 2021. [Online]. Tillgänglig vid: [www.iva.se](http://www.iva.se)

lång tid på sig att anpassa sig till ny lagstiftning. Då utsläppen skall minska kraftigt till 2030 behöver åtgärder vidtas betydligt snabbare än tidigare. Detta märks redan nu då nationella regulatoriska krav införs innan de antas inom EU. Detta ställer krav på att verksamheter behöver kunna ta snabba beslut och det blir allt viktigare med samverkan, att analysera framtiden och ha olika strategier i beredskap inför kommande förändringar.

**Den gröna given och industrin.** Industrin står för 20% av hela EU:s ekonomi och sysselsätter 35 miljoner människor. Små och medelstora (SME:s) utgör 99% av EU:s industrier.<sup>10</sup>

SME:s är viktiga för ekonomin men behöver transformeras för att nå hållbarhetsmålen, vara fortsatt globalt konkurrenskraftiga och vara fortsatt i framkant. Regelverk och lagstiftning skall främja industriella allianser och standardisera branschpraxis. Industriella allianser och branschsamarbeten har redan bidragit till goda resultat angående batterier (The European Battery Alliance (EBA)) och plast (The Circular Plastics Alliance (CPA)). 2020 skapades allianser inom vätgas (European Clean Hydrogen Alliance) och råmaterial (European Raw Materials Alliance (ERMA)).<sup>11</sup>



Figur 2.2. Lagar kommer i allt högre utsträckning skärpas successivt vilket medför kortare tid att anpassa sig till nya krav.

Cirkulär ekonomi och allianserna skall således skapa samverkan och samsyn mellan EU-kommissionen, branschen och partners i hela värdekedjan. För dessa industriella allianser tar sedan kommissionen fram en strategisk plan med regulatoriska och frivilliga krav för att stödja alla delar i värdekedjan<sup>12</sup>. Genom att utgå ifrån branschen (best

<sup>10</sup> European Union, "A EUROPEAN INDUSTRIAL STRATEGY A new Industrial Strategy for a globally competitive, green", Brussels, factsheet, mar. 2020. Åtkomstdatum: 13 april 2022. [Online]. Tillgänglig vid: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs\\_20\\_425](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_425)

<sup>11</sup> European Union, "A EUROPEAN INDUSTRIAL STRATEGY A new Industrial Strategy for a globally competitive, green", Brussels, factsheet, mar. 2020. Åtkomstdatum: 13 april 2022. [Online]. Tillgänglig vid: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs\\_20\\_425](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_425)

<sup>12</sup> Europeiska kommissionen, "Industrial alliances", *Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*. [https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances\\_sv](https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances_sv) (åtkomstdatum 13 april 2022).

practice) skapas acceptans och tillsammans med regulatoriska krav sker förändringar snabbare.

**Nettonoll, Net Zero.** Nettonoll ("Net Zero") å andra sidan innebär att ett företag minskar sina absoluta utsläpp i hela leveranskedjan för att stödja målet att begränsa den globala temperaturökningen till 1,5 grader Celsius, som man enades om vid klimatoppmötet i Paris 2015. Enkelt uttryckt innebär nettonoll att minska utsläppen av växthusgaser till så nära noll som möjligt, och att eventuella återstående utsläpp återabsorberas från atmosfären, till exempel av hav och skogar. Parisavtalet kräver att utsläppen måste minska med 45 procent till 2030 och nå nettonoll till 2050.<sup>13</sup>

Nettonoll införlivas med en standard med verktyg och riktlinjer, utfäst i Science Based Targets initiative (SBTi), ett partnerskap mellan CDP, FN:s Global Compact, World Resources Institute och Världsnaturfonden. Den inbegriper mer än 3 000 företag och finansiella institutioner strävar efter att minska sina utsläpp i linje med klimatvetenskapen<sup>2</sup>. För att få mer genomslag hos företag, investerare och regioner i frågan, inrättade FN:s generalsekreterare António Guterres 2022 en högnivåexpertgrupp för icke-statliga enheters åtaganden om nettonollutsläpp<sup>13</sup>. Expertgruppen lade fram sina rekommendationer vid COP27 den 8 november 2022.

**Race to Zero Initiativet.** Icke-statliga aktörer – inklusive företag, städer, regioner, finansiella aktörer och mer än 1000 städer, över 1000 utbildningsinstitutioner och över 400 finansinstitut har gått med i Race to Zero och lovat att vidta rigorösa, omedelbara åtgärder för att halvera de globala utsläppen till 2030. Race to Zero-medlemarna har förbundit sig till samma övergripande mål: att minska utsläppen, i alla omfattningar, snabbt och rättvist i linje med Parisavtalet, med transparenta handlingsplaner och robusta mål på kort sikt. Medlemarna får hjälp a FN att etablera implementera och uppnå klimatmål samt dela kunskap om relevant verktyg och kommunikationsmaterial inför COP27.<sup>14</sup>

**The Climate Neutral Now Initiativet.** *Climate Neutral Now* Initiativet uppmuntrar och stöder organisationer och andra intressenter att uppnå en klimatneutral värld senast 2050 i enlighet med Parisavtalet. Initiativet kan *indirekt* hjälpa intressenter att uppnå certifieringar inom koldioxidneutralitet, samt nettonollutsläpp genom lämpliga standarder och processer. Sedan lanseringen 2015 har initiativet blivit ett verktyg för; att främja samt erkänna frivilliga åtgärder för klimatet medvetandehöjande åtgärder, kapacitetsuppbyggnad, partnerskapsutveckling, uppskattning och minskning av koldioxidavtryck samt en motor för frivillig klimatkompensation. En organisation kan bli en deltagare genom att underteckna Climate Neutral Now löftet, följa de tre stegen (Mät, Minska, Bidra) och rapportera om sina handlingar och prestationer årligen. Fördelarna med det avgiftssystemet för deltagande lyfts fram i figur 4.3.1. En annan positiv sak är att en organisation är fri att lämna initiativet när som helst.<sup>15</sup>

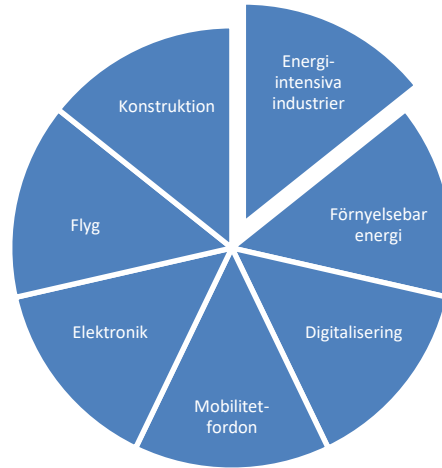
**European Raw Materials Alliance (ERMA).** Gjuterier kommer att beröras av vad som händer i inom denna allians då gjuterier är direkt beroende av metalliska material men också som en viktig aktör i det industriella ekosystemet både som en viktig bransch

<sup>13</sup> <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>

<sup>14</sup> <https://racetozero.unfccc.int/join-the-race/>

<sup>15</sup> <https://unfccc.int/climate-neutral-now>

(energiintensiv) men också en aktör i värdekedjan där komponenter ifrån gjuterier är grunden för andra branscher.<sup>16</sup>



Figur 2.3. Hållbar tillgång till råmaterial är förutsättningen för det industriella ekosystemet där avancerade material och avancerad teknik är förutsättningen för EU:s fortsatta konkurrenskraft och innovationsförmåga.

ERMA har tagit fram två områden att fokusera på just nu:

1. Samverkan inom värdekedjan
  - a. Identifiera utmaningar i råvaruförsörjningen
  - b. Ge förslag till lösningar för råvaruförsörjning
  - c. Minska regulatoriska hinder
  - d. Främja och stärka engagemang
2. Kanalisera investeringar för råmaterial
  - a. Prioritera förslag för att säkerställa primär och sekundär tillgång till råmaterial
  - b. Ta fram finansieringsstrategier
  - c. Bedöma investeringar både inom och utanför Europa

Plast-alliansen (CPA) har funnits längre än ERMA och där har alliansen redan skapat förändringar i lagstiftning (direktiv om engångsplast), högre mål angående plaståtervinning och har även annonserat att de skall arbeta för att EU skall besluta om att ta fram ett system för att mäta och kontrollera plast-flöden i Europa.

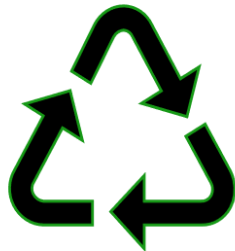
**Initiativ för hållbara produkter (SPI).** Syftet med SPI-initiativet (Sustainable Products Initiative) är att produkter skall bli mer hållbara och energieffektiva och därmed behöver ekosystemdirektivet ses över. I samband med översynen skall även förekomst av skadliga ämnen i elektronik, textilier, möbler, stål, cement och kemikalier undersökas. Detta arbete pågår just nu men i mars 2022 annonserade SPI ett förslag att kommissionen behöver ta fram digitala produktpass (Digital Product Passports (DPP)). DPP syftar till att lagra och dela relevant information i en produkts livslängd Figur 2.4.

<sup>16</sup> European Raw Materials Alliance (ERMA)”, European Raw Materials Alliance (ERMA). <https://erma.eu/> (åtkomstdatum 13 april 2022).

SPI anser att DPP bör bli obligatoriska och skall innehålla relevant information som stödjer ekosystemdirektivet dvs lång livslängd, återvinningsbarhet etc. DPP skall således kunna användas i produktionen och av konstruktörer för att driva på produktkrav för bättre hållbarhet och återvinningsbarhet.



Transparens



Hållbarhet



Spårbarhet och styrning

Figur 2.4. Syftet med produktpass är ge relevant information för ökad cirkuläritet till aktörer i en produkts värdekedja.

**Gröna påståenden (Green-claims).** Hållbarhet är allt viktigare att kommunicera och allt fler verksamheter ser att hållbarhetskommunikation behövs för att få nya affärer och för att behålla befintliga kunder. Detta har medfört att antalet miljö-märkningar har exploderat i antal och idag finns över 200 olika märkningar inom EU, mer än 450 miljö-märkningar i världen och över 80 olika sätt att miljö-rapportera. Eftersom det inte finns någon styrning över miljömärkningarna varierar tillförlitligheten och vilka områden som märkningarna tar upp. Detta innebär att det är svårt för konsumenter att jämföra olika produkter och leder till green-washing.



Figur 2.5. Green claims behöver valideras och vara trovärdiga. Uttalande: European Commission. (egen bild)

För att motverka Green claims, har EU deklarerat att företag bör använda sig av standardiserade metoder baserade på klimat-fotavtryck.<sup>17</sup> Den gröna given skall arbeta för att upprätta gemensamt ramverk för att stärka konsumenternas rättigheter, stödja

<sup>17</sup> [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/initiative\\_on\\_green\\_claims.htm](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/initiative_on_green_claims.htm)

initiativet för hållbara produkter (SPI) och stärka ett sunt livsmedelsystem (Farm to fork strategy).

**Hållbarhetsrapportering och taxonomiförordningen.** Företagens hållbarhetsrapportering regleras idag både av EU<sup>18</sup> och Årsredovisningslagen (SFS 1995:1554) där företag redan 2017 behövde tillhandahålla icke-finansiell information om hållbarhet.

2019 tog EU-kommissionen fram riktlinjer för hur hållbarhet skall rapporteras vilka bygger på standardiserade metoder för att beräkna klimat-fotavtryck.<sup>19</sup> Men då dessa krav var utan bindande riktlinjer har det funnits behov om skärpningar om informationskraven.

Åtgärdspaketet som rullats ut 2021 reglerar taxonomi (*Förordning EU 2020/852*) som innehåller kriterier för att identifiera olika verksamheter och hur de bidrar till klimatanpassning och begränsning av klimatförändringar. Skärpningarna innebär att verksamheten skall redovisa att affärsmodellen är förenlig med Parisavtalet och redovisa mål och åtgärder för och hur arbetet bedrivs för att förbättra miljöpåverkan i hela värdekedjan. Taxomin utgår i nuläget från en binär ansats, vilket innebär att en ekonomisk verksamhet antingen är miljömässigt hållbar eller inte.

Syftet med taxomin är också att vara grund för framtida standarder och märkningar av hållbara finansiella produkter. Även om det endast är större företag som omfattas (exempelvis över 500 anställda) så förväntas det ge ringar på vattnet längs med hela värdekedjan då de större företagens redovisningskrav kommer att spilla över på mindre företag.<sup>20</sup>

**Konstruktioner och byggnader.** Byggsektorn bidrar med 36 % av alla utsläpp, konsumerar 40 % av all energi och förbrukar 50 % av allt material. Genom att vara mer resurseffektiv skulle 80 % av alla utsläpp i byggsektorn kunna reduceras.

Kommissionen avser att lansera en strategi/initiativ för hållbara konstruktioner. Initiativet skall säkerställa samverkan och samsyn och täcka viktiga områden som bl.a. klimat, energi, resurseffektivitet, byggavfall och digitalisering. Initiativet skall harmonisera med EU sustainable framework och innehålla återvinningsmål och livscykel baserad metodik.

Byggbranschen har länge arbetet med att standardisera vad och hur klimat- och miljöpåverkan skall mätas och värderas för byggnader. De vanligaste certifieringarna för byggnader i Sverige är Miljöbyggnad, Green building och Bream. Europas regionala nätverk för World Green Building council (GBC) och större partners har enats om hur de vill att branschen, lagstiftare och andra aktörer skall samverka för att nå hållbarhet<sup>21</sup>.

<sup>18</sup> Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/95/EU av den 22 oktober 2014 om ändring av direktiv 2013/34/EU

<sup>19</sup> European Commission, "Guidelines on reporting climate-related information", European Commission, Bryssels, 2019. Åtkomstdatum: 13 april 2022. [Online]. Tillgänglig vid: [https://ec.europa.eu/info/publications/non-financial-reporting-guidelines\\_en#climate](https://ec.europa.eu/info/publications/non-financial-reporting-guidelines_en#climate)

<sup>20</sup> <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/finansmarknad/taxonomi-ska-gora-det-enklare-att-identifiera-och-jamfora-miljomassigt-hallbara-investeringar/>

<sup>21</sup> WorldGBC Europe Regional Network, "A sustainable built environment at the heart of Europe's future". WorldGBC Europe Regional Network, 2019. Åtkomstdatum: 13 april 2022.

Nyckeln för att bli hållbarhet är att införa likartade krav på alla aktörer att mäta och redovisa viktiga aspekter för hållbarhet. Validerat och trovärdigt resultat är grunden för detta och därmed skall klimat beräknas enligt standarder för livscykelanalys.

I Sverige gäller från den 1 januari 2022 krav på klimatdeklaration (SFS 2021:787) vid uppförande av nya byggnader. Det innebär att byggherrar ska redovisa vilken påverkan på klimatet en ny byggnad har där varje del i byggnadens livscykel skall bedömas med olika aspekter och indikatorer. Resultat skall registreras i en databas. Syftet är att förbättra tillsyn, bättre statistik och bättre styrning.

**Hållbar varukonsumtion.** Detta initiativ är under utarbetande men ska främja en mer hållbar användning av varor under hela deras livslängd. Det ska uppmuntra konsumenterna att göra mer långsiktiga val genom att ge incitament och verktyg för att använda varorna längre, bland annat genom att laga dem. Initiativet ska också uppmuntra tillverkarna att utforma produkter som håller längre och är lätta att reparera bidra till att minska ohållbar konsumtion och dess negativa effekter på miljön och klimatet bidra till att bygga upp en cirkulär ekonomi.

Frankrike har redan januari 2021 infört delar av initiativet genom krav om att redovisa reparationsindex för vissa elektronikprodukter (mobiler, bärbara datorer, tv, tvättmaskiner och gräsklippare). Producenterna genomför en självdeklarering i fem delar som hanterar hur enkelt det är att reparera produkten, priser på reservdelar etc.

I Sverige har konsumenternas rätt stärkts (1 maj 2022) genom en ny konsumentköplag (SFS 2022:260) genom att bl.a. säljare får större ansvar att bevisa att konsumenten hanterat varen fel i två år, från sex månader. Lagen innebär också större krav på digitala tjänster och innehåll som krav på uppdateringar.

**Producentansvar.** I Sverige omfattas redan en mängd produkter om producentansvar exempelvis bilar, däck, förpackningar och elektronik.

Producentansvaret för bilar utgår ifrån End-of-life-directive (ELV-direktivet Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles). Direktivet förbjuder också användning av vissa farliga ämnen vid tillverkning av nya fordon (exempelvis bly, kvicksilver, kadmium och sexvärt krom. ELV-specificerar mål för återanvändning, återvinning och återvinning och syftar till att:

- förhindra och begränsa avfall från uttjänta fordon och deras komponenter
- förbättra miljöprestandan för alla ekonomiska aktörer som är involverade i fordons livscykel

Uttjänta fordon regleras i svensk lagstiftning enligt producentansvaret (SFS 2020:700), bilskrivningsförordningen (SFS 2007:186), förordning om förbud mot vissa metaller i bilar (2003:208), Miljöbalken mfl.

Kommissionen håller för närvarande på att se över ELV-direktivet för att förbättra insamling, behandling och återvinning av uttjänta fordon. Det syftar också till att harmonisera med målen i Green Deal och uppmuntra bilindustrin att anta en hållbar

---

[Online]. Tillgänglig vid:

<https://www.worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC%20European%20Advocacy%20Manifesto%20June%202019.pdf>



modell för design och tillverkning av bilar. Kommissionen förväntar sig att lägga fram ett lagförslag för översyn av direktivet under fjärde kvartalet 2022.

Idag skall 95 % av bilens vikt återvinnas. Då målet baseras på vikt medför detta att återvinning inriktas på bulkmaterial som är enkla att plocka isär och separera. Dagens återvinningsmål kan även nås genom att material används som konstruktionsmaterial för deponier eller då det används för energiåtervinning. För att nå hållbarhet behöver därmed mer material återvinnas och återanvändas inom landets gränser och energiåtervinningen minska.

ELV-direktivet kommer troligen att omfatta fler typer av fordon som elbilar, lastbilar, motorcyklar och bussar. Kommissionen överväger också lagkrav för att stärka marknaden för sekundära råvaror med obligatoriskt återvunnet innehåll. Specifika och mätbara mål för materialåtervinning från bilar och krav på förlängd livslängd för bilar genom reparation, återtillverkning och återanvändning.

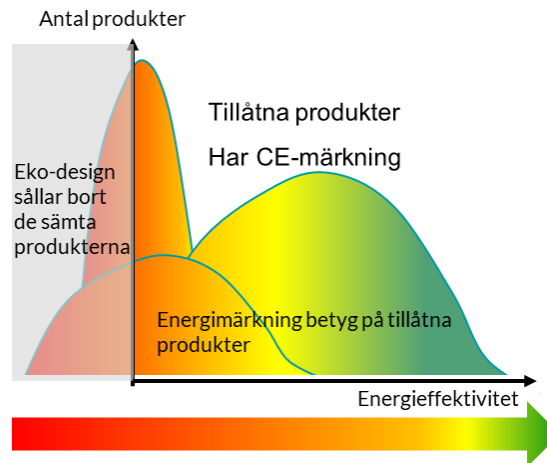


Figur 2.6: Exempel på återvinningsmål som är frivilliga men vägledande i olika sektorer

Det är därmed troligt att det kommer återvinningsmål som baseras på material-innehåll i stället för ursprungsvikt men också krav på spårbarhet och klimatinformation som kanske samlas i digitala produktpass för att underlätta tillsyn och insamling av data.

**Ekodesigndirektivet och produktpass.** Avfall ifrån elektronik (Waste from Electrical and Electronic Equipment) regleras i EU:s WEE-direktiv och i svenska förordningar (SFS 2014:1075, SFS 2008:834). För att underlätta återvinning behöver El-utrustning redan vid konstruktionen förberedas för hur komponenter separeras. Materialåtervinning från WEEE är svårt då material är blandade, svåra att separera, låga volymer och även på grund av förekomsten av farliga ämnen som flamskyddsmedel. För att nå hållbarhet behöver produkternas livslängd öka och därmed minska mängden avfall som produceras.

Ekodesigndirektivet (2000/55/EG) är ett ramdirektiv för hur produkter ska utformas för bättre energieffektivitet, hållbarhet, reparerbarhet, uppgraderingsbarhet, underhåll och återanvändning. Ekodesigndirektivet syftar till att förbättra produkternas miljöprestanda under hela livscykeln. Ekodesignkraven fungerar som ett golv för att förbjuda och ta bort de allra sämsta produkterna på marknaden, sett ur ett energiperspektiv.



Figur 2.7. Ekodesign sållar bort de sämsta produkterna och märkning får konsumenter information som förbättrar prestanda

Under våren 2022 pågår remiss för förändringar i ekodesign för mer hållbara produkter<sup>22</sup>. Syftet är att ha en bredare definition av ekodesign både avseende produkter som avses och krav som ingår. Detta inkluderar således att värdera alla aspekter som är viktiga för hållbarhet under hela produktens livslängd, och inte endast energi-aspekten.

Viktiga aspekter är således:

- Hållbarhet (durability);
- Tillförlitlighet (reliability);
- Återanvändning (reusability);
- Uppgradering (upgradability);
- Reparerbarhet (reparability);
- Underhåll och service (possibility of maintenance and refurbishment);
- Information om relevanta kemikalier och ämnen (presence of substances of concern);
- Energikonsumtion/Energieffektivitet (energy use or energy efficiency);
- Resursanvändning/resurseffektivitet (resource use or resource efficiency);
- Återvunnet innehåll (recycled content);
- Möjlighet till återtillverkning/återvinning (possibility of remanufacturing and recycling);
- Möjlighet att återvinna material (possibility of recovery of materials);
- Miljöpåverkan inklusive koldioxid- och miljöavtryck (environmental impacts, including carbon and environmental footprint);
- Avfall som produkten bidrar med (expected generation of waste materials).

Digitala produktpass är ett också ett nytt krav som introduceras och skall vara tillgänglig för konsumenten. Syftet med produktpass är således att säkerställa att alla aktörer,

<sup>22</sup> Europeiska kommissionen, REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC, vol. 2022/0095 (COD). prop, s. 123.

speciellt konsumenter och myndigheter, kan få tillförlitlig och relevant information och säkerställa spårbarhet i hela värdekedjan.

Kommissionen planerar även att minska användningen av vissa kemikalier genom att bättre förbereda materialet från WEEE för återvinning. Några planerade åtgärder angående WEEE, som beskrivs i handlingsplanen för cirkulär ekonomi är att implementera "rätten att reparera", förbättra insamlingen och behandlingen av avfall från elektrisk och elektronisk utrustning, begränsningar av farliga ämnen inom elektronikutrustning inklusive REACH och ekodesign. Med de föreslagna förändringarna i ekodesign, innebär detta krav på att registrera och därmed bättre spårbarhet som behövs för bättre återvinning.

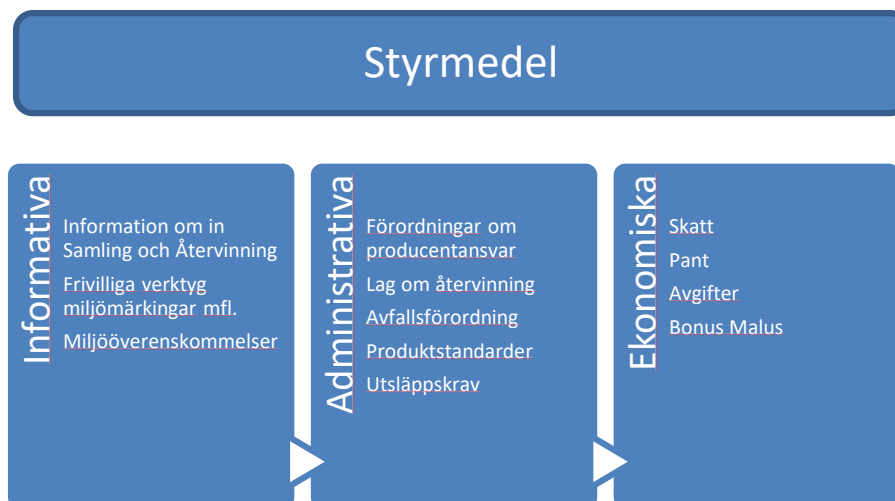
### 2.1.1 Styrmedel

För att främja återvinning finns många olika typer av styrmedel. Inom exempelvis producentansvaret ingår styrmedel för att finansiera insamling och återvinning. Även om metaller har ett högt andrahandsvärde försvinner mycket metaller ur det metalliska kretsloppet. Metaller, som är komplexa och uppblandade med orenheter (exempelvis slagg, mull, stoft) eller svåra att separera har många liknande utmaningar som med plaståtervinning. För att säkerställa att dessa material återförs till kretsloppet behövs bättre sortering/separering av material och andra återvinningsmetoder som exempelvis kemiska återvinning. Detta innebär högre kostnader både för insamling och återvinning och då detta material blir dyrare än konventionell återvunnen material och nyproducerat material, finns det idag en begränsad marknad.

Återvunnen plast är dyrare än nyproducerad plast eftersom det är även svårt att säkerställa en hög teknisk kvalitet och ställer höga krav på sortering och återvinningen. För att säkerställa att insamlad plast kommer att återvinnas har naturvårdsverket analyserat tre olika styrmedel för att främja materialåtervinning av plast.

- Krav om minsta innehåll av återvunnen plast i specifika produkter.
- Bonus malus. Är en straffavgift som utfärdas när avfall skapas samtidigt som bonus ges efter bevisad återvinning till material av hög kvalitet.
- Materialåtervinningscertifikat.

Certifikaten bygger på att det finns spårbarhet och registreringar, vilket kan bli möjligt när eventuella produktpass introduceras. Certifikat skulle kunna utfärdas till plastproducenter i förhållande till vikten av återvunnen plast som de producerar. Det finns likheter med det föreslagna certifikatet med handel fossilfri energi, utsläppsrätter och hantering med klimatkompensation, dvs återvunnen plast kommer att släppas ut på marknaden, men den faktiska produkten kan produceras med nyproducerat material.



Figur 2.8. Exempel på några av de styrmedel och verktyg som styr återvinning

Intäkterna skall kunna generera mer pengar till infrastrukturen för återvinning och sänka priset på återvunnen plast. Ett företag som tillverkar plastprodukter som inte når sin kvot får en straffavgift.

Naturvårdsverkets slutsats är att "minimikvoten av återvunnen plast i produkter" har bäst potential att uppfylla målet om mer återvunnen råvara. Plastråvaruproducenterna föreslog hösten 2021 om ett obligatoriskt mål på 30 % återvunnen plast i plastförpackningar till 2030 inom EU, vilket även numera (februari 2022) är en av 55 åtgärder som finns beskriva i "Sveriges handlingsplan för plast".<sup>23</sup>

För metaller finns förslag att fastställa återvinningsmål utifrån innehåll och inte enbart totalvikt. I och med införandet av produktpass och miljömärkingar kommer miljöpåverkan ifrån avfall visualiseras och ge incitament för att minska avfallsmängderna.

Höjda kvalitets- och hållbarhetskrav kommer att påverka alla. Det kommer innebära större administrativ börda och därmed finns det ett stort behov att branschen tar fram gemensamma normer för större samsyn och minska onödig administration. Frivilliga krav kommer att bli tvingande och därmed är det viktigt att analysera andra branscher. Hållbarhet kan inte lösas av en aktör utan det krävs samsyn och samverkan mellan aktörer som tidigare inte behövs samverkan.

- Högre krav på data och validitet
- Krav på standardiserad metodik för redovisning och tredjepartsgranskning
- Redovisa utsläpp/klimatpåverkan i hela värdekedjan
- Krav på verifierat av materialets klimategenskaper (Grönt stål/återvunnet)
- Behov att följa upp och analysera olika branscher
- Informationen skall kunna användas för att bedriva effektivare tillsyn

<sup>23</sup> R. och Regeringskansliet, "Sveriges handlingsplan för plast - en del av den cirkulära ekonomin", Regeringskansliet, 21 februari 2022. <https://www.regeringen.se/rapporter/2022/02/sveriges-handlingsplan-for-plast/> (åtkomstdatum 14 april 2022).

## 2.2 Indikatorer och faktorer

Ett uppdrag i denna omvärldsbevakning är att identifiera faktorer som är relevanta, tillförlitliga, enkla och känsliga för att redovisa resurseffektiv produktdesign. Genom intervjuer, litteraturstudier och workshops hitta best practice för vad som är relevant att redovisa för att påvisa resurseffektivt gjuteri. Faktorer och indikatorer skall kunna användas både för att visa företagets ambition för att nå hållbarhet såväl för att kunden skall kunna jämföra producenter.

I omvärldsbevakningen har inte specifika referensdata tagits fram. Detta beror på att det fortfarande finns ett stort behov att standardisera hur data skall tas fram men också att vi ännu inte vet vilken typ av data som kommer att vara relevant. Andra frågeställningar som behöver lösas är vilket syfte data skall tas fram och vem som skall förvalta och validera informationen.

En vägledning för CO<sub>2</sub>-mätning har tagits fram för den tyska gjuteriindustrin<sup>24</sup>. Utöver det finns olika beräkningsmjukvaror t.ex. Good guys index<sup>25</sup> och Normative<sup>26</sup> samt en branschsammanställning<sup>27</sup> för att skatta olika industriernas CO<sub>2</sub>-utsläpp.

Gjuteriföreningen redovisar klimatpåverkan ifrån svenska gjuterier via en klimatindikator<sup>28</sup>, som bygger på data från IVL<sup>29</sup>. 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. Klimatnyckeln baseras även på grova data och därmed inte uppfyller de krav som finns för validitet som ställs för att använda informationen i marknadsföring.

I närtid har mjukvaror att prediktera CO<sub>2</sub>-avtryck att lanseras för olika gjutprocesser. Ett exempel är Good Guys Index 2.0<sup>30</sup>, som tidigare var modulintegrerad i gjutsimuleringsmjukvaran Novacast flow and solid. Inom LCA mjukvaror som SIMAPRO<sup>31</sup> finns CO<sub>2</sub>-databaser från Ecoinvent och GaBi. Historiskt har en betydande nackdel för gjuterier och gjutgodsköpare varit att identifiera och att använda branschspecifik mjukvara för att ange företagets klimatavtryck för CO<sub>2</sub> och emissioner. Internationellt har omfattande riktlinjer tagits fram för olika kontinenter för att beräkna och ange gjutprocessernas klimatavtryck. Nackdelen är brist på linjering och standardisering på internationell nivå.

Det kommer att komma allt högre krav på att redovisa relevant klimatinformation, och dessa krav kommer att utgå från branschgemensamma normer. Därmed finns ett stort

<sup>24</sup> [1] <https://www.guss.de/prozess/informationen-fuer-giesser/leitfaeden/co2-leitfaden>

<sup>25</sup> [Good Guys' Index - Calculate your products' environmental impact. \(novacast.se\)](https://www.novacast.se/good-guys-index)

<sup>26</sup> <https://normative.io/>

<sup>27</sup> <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01178-9>

<sup>28</sup> [Klimatindikatorn - Svenska Gjuteriföreningen \(gjuteriforeningen.se\)](https://www.gjuteriforeningen.se/klimatindikatorn)

<sup>29</sup> Peter Nayström: Klimatpåverkan av gjutgoods, Rapport 2020-001, Svenska Gjuteriföreningen 2020.

<sup>30</sup> <https://www.novacast.se/news/good-guys-index-2-0/>

<sup>31</sup> <https://simapro.com/>

behov att se hur andra branscher arbetar och därmed besluta hur gjuteribranschen skall agera.

Tabell 2.1. Krav på indikatorer för produktdesign

Krav på indikatorer	Beskrivning
Relevant	Relevanta för att mäta resurseffektivitet och hållbarhet för gjuteriet
Tillförlitliga	Finns möjlighet att ta fram jämförbara data, objektiv.
Enkla	Enkel att använda och förstå
Känsliga	Skall kunna redovisa förändringar och förbättringar.

## 2.2.1 Redovisning av produkters miljöpåverkan

Det finns en mängd olika sätt att deklarerat produkternas miljöpåverkan. ISO är ett internationellt standardiseringsorgan och därmed är det en bra grund då standarden harmoniserar med andra standarder inom deras regi. En standard som finns inom ISO har ofta ett bättre anseende. Det finns även sektorsvisa märkningar som inte är under ISO.

Inom ISO 14020-serien finns beskrivet tre olika typer av miljödeklarationer, typ I, typ II och typ III, se bild 2.13.<sup>32</sup>

Typ I	Typ II	Typ III
Kravdokument med skall-krav.	Icke-granskad egen-deklaration	Granskas av en tredjepart.
Uppfylla eller inte		

Figur 2.13. ISO 14020-standaren beskriver tre olika typer av miljödeklarationer.

**TYP I.** Denna typ av miljödeklarationer innehåller krav-dokument som måste uppfyllas. Svanen, Ecolabel, Blå ängeln, TCO-certifiering är några exempel på miljömärkning enligt ISO 14024. Kraven är produktspecifika och omfattar relevanta krav på produkten. Kraven ställer tuffare krav än lagen och successivt ställs allt strängare krav. Att produkten uppfyller kraven kontrolleras av en oberoende tredjepart (Fig. 2.14).

<sup>32</sup> S. Ricotta, "Environmental labelling of products to promote the circular economy", presenterad vid How to stimulate secondary raw material markets, Toscana, 20 mars 2018. Åtkomstdatum: 16 april 2022. [Online].



Figur 2.14. ISO 14024 miljödeklaration Typ I.

**Typ II- Egna miljöuttalanden.** Denna standard ställer krav på att miljöuttalande skall vara lätta att förstå och inte missledande. Uttalandet får inte heller vara vaga. Dessa miljömärkningar behöver inte verifieras av en tredjeparts. Exempel på märkningar är symboler som används för återvinning, andelen återvunnet innehåll, nedbrytbarhet, minska energianvändning och avfallsreducering är några exempel. För dessa märkningar finns indikatorer för hur märkningen får användas och hur kraven skall utvärderas (Fig. 2.15).



Figur 2.15. ISO 14024 miljödeklaration Typ II.

**TYP III Klimatdeklarationer.** Klimatdeklarationer enligt typ tre brukar också i allmänt kallas för EPD som kommer från den engelska benämningen "Environmental Product Declaration". Miljöinformationen baseras på livscykelanalys av miljöpåverkan. Vilken information som skall tas med och hur dessa beräknas finns beskrivna ett regelverk.

Miljöinformationen får endast användas för att beskriva den egna produkten och inte jämföras med exempelvis en konkurrents produkt. Denna typ av deklARATION kan användas för alla typer av produkter och i hela värdekedjan. Resultatet granskas och registreras i en databas. Exempel på EPD-program är International EPD System och Ecoleaf (Japan)<sup>33</sup>.

## 2.2.2 Sektorsvisa märkningar

Vissa märkningar har hög trovärdighet men inryms inte i ISO 14020-serien. Exempel på dessa är FSC, PEFC, REVAQ och biogödsel. REVAQ är en svensk standard som har en egen regelägare under Avfall Sverige och granskas av en tredjeparts som skall vara auktoriserad certifieringsorgan enligt ISO. ReMade in Italy vill redovisa och verifiera återvunnet innehåll i produkten (Figur 2.16). Detta genomförs genom regler på hur data och information skall beräknas. Det finns även krav på spårhet i värdekedjan och krav på att resultatet granskas av en tredjepart.

<b>NOME PRODOTTO</b> Certificazione del contenuto di riciclato													
 													
<b>NOME AZIENDA</b> RIL-MAC005-20													
<table border="1"> <tr> <td>&gt; 90%</td> <td>A+</td> <td>-- 1 %</td> </tr> <tr> <td>60% - 90%</td> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>30% - 60%</td> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>&lt; 30%</td> <td>C</td> <td></td> </tr> </table>	> 90%	A+	-- 1 %	60% - 90%	A		30% - 60%	B		< 30%	C		<b>A+</b>
> 90%	A+	-- 1 %											
60% - 90%	A												
30% - 60%	B												
< 30%	C												
tipologia materiale riciclato	Materiale 1 ---% Materiale 2 ---% Materiale 3 ---%												
													
Elaborazioni a cura di ReMade in Italy <small>(dati non oggetto di certificazione)</small>													
riduzione dei consumi energetici dal riciclo (kwh/kg)	-- 1 --												
riduzione delle emissioni climalteranti dal riciclo (gr co <sub>2</sub> eq/kg)	-- 1 --												
altre certificazioni ambientali													
<a href="http://www.remadeinitaly.it">www.remadeinitaly.it</a>													

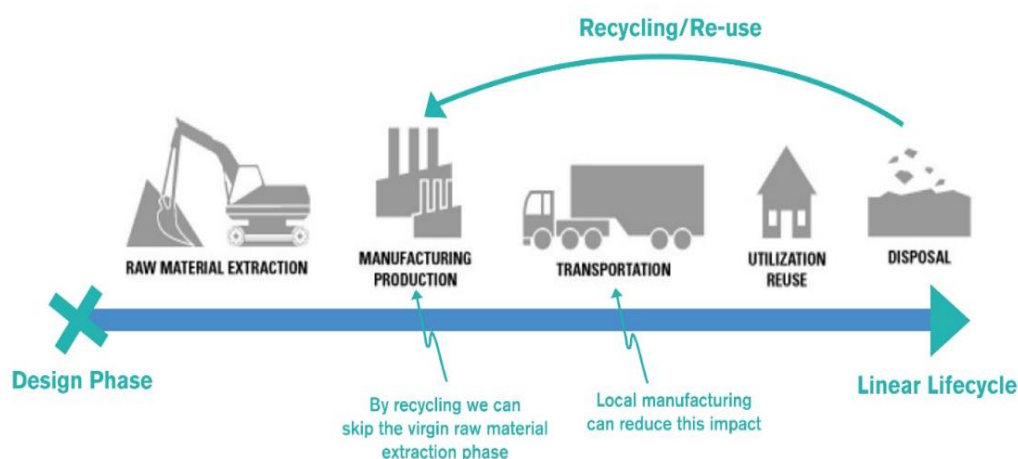
Figur 2.16. Remade in Italy, exempel på en sektorsvis märkning.

<sup>33</sup> E. Karakaya, C. Nuur, och L. Assbring, "Potential transitions in the iron and steel industry in Sweden: Towards a hydrogen-based future?", Journal of Cleaner Production, vol. 195, s. 651–663, sep. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.142.



## 2.3 Cirkulära modeller

Metaller är nästan oändligt återvinningsbara, men även väl lämpade för återanvändning och återtillverkning. Därigenom har gjuterier en viktig roll i den cirkulära ekonomin eftersom skrotet från återsamlade produkter omsmälts till nya komponenter. Emedan krävs en komplett livscykelstrategi för hållbarhet, för att belysa alla aspekter av gjut- och gjuteritillverkningsprocessen. Utöver det behövs energihantering, ansvarsfulla inköp och leverantörer med etiska och hållbarhets principer. Sist krävs en färdplan för att maximera energieffektiviteten och möjliggöra övergången till hållbar och netto-noll metallgjutning med bibehållen konkurrenskraft<sup>34</sup>. Begreppet cirkulär ekonomi kan kanske enklast förstås i kontrast till den linjära ekonomi som präglade samhället sedan industrialiseringen tog fart (Figur 2.17). Förenklat handlar den linjära ekonomin om att utvinna naturresurser, producera, konsumera och sedan så småningom bli kvitt avfallet. Konsekvensen av det är att utvinning av naturresurser väntas eskalera från 26 Giga ton 1972 till runt 184 giga ton år 2050 (Figur 2.18).<sup>35</sup>



Figur 2.17 Den linjära ekonomi som präglade samhället sedan industrialiseringen<sup>36</sup>

Motsatsen är en cirkulär ekonomi, där produkter återanvänds och återvinns i ett kretslopp. För att skapa ett samhälle med en cirkulär ekonomi, som innebär hållbar tillverkning och användning av produkter och tjänster, behöver vi kunna värdera allt komplexare och mer sammanvävda fenomen. Exempel på detta är att vi måste förstå resurseffektivitet, återvinningspotential och sociala effekter av nya produkter och tjänster, samtidigt som vi behöver utveckla exceptionella lösningar ur ett användarperspektiv. Nästa generations produkter och tjänster kommer, förutom att de värderas utifrån en rad funktionella aspekter, även att bedömas ur ett kretsloppsperspektiv<sup>37</sup>. Alltså behövs ett ekonomiskt system med systematiskt tillvägagångssätt för att upprätthålla ett cirkulärt flöde av resurser, genom att

<sup>34</sup> <https://www.castmetalsfederation.com/sustainability-policy>

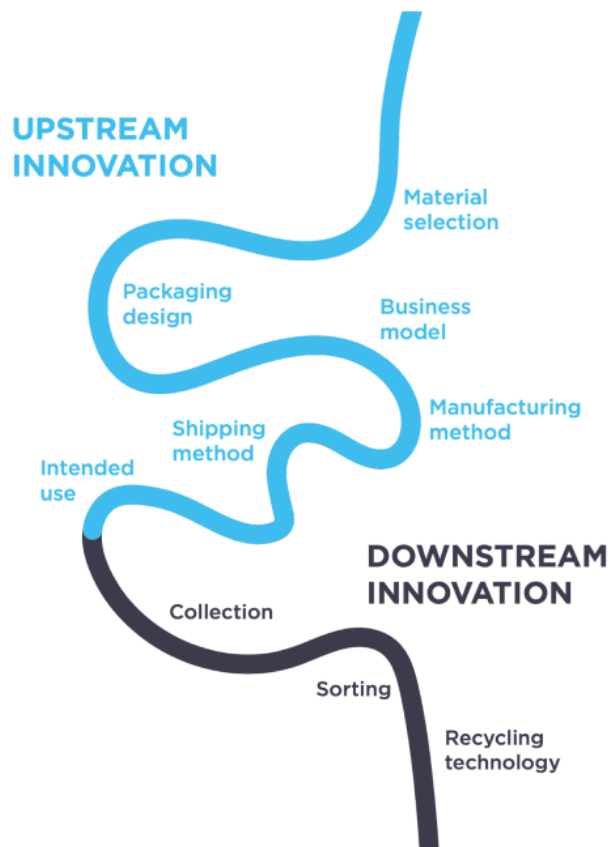
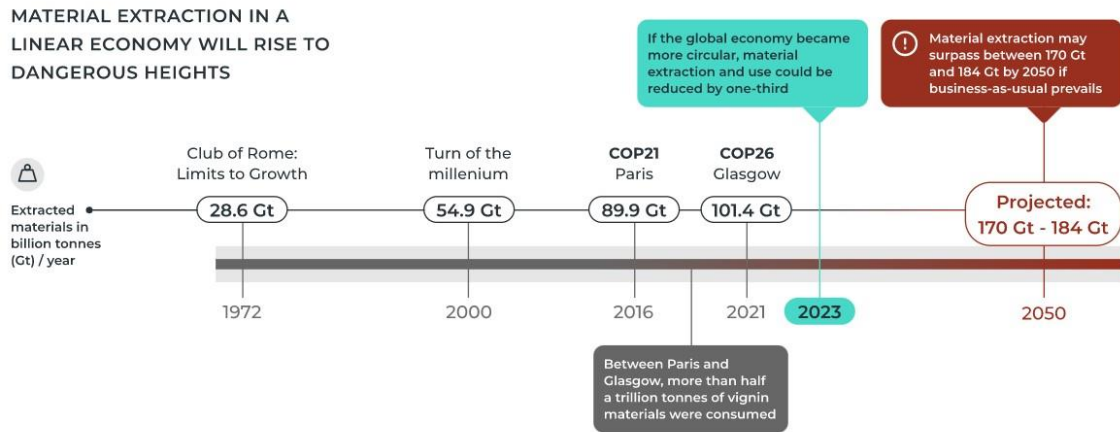
<sup>35</sup> <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-menas-med-cirkular-ekonomi/>

<sup>36</sup> <https://www.thersa.org/blog/2015/05/redesigning-the-razor>

<sup>37</sup> Virtual nation Strategisk forsknings- och innovationsagenda inom simulering för perioden 2014-2030 <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1577323/FULLTEXT01.pdf>

regenerera, behålla eller öka deras värde och samtidigt bidra till hållbar utveckling<sup>38</sup>. Den initiala ansatsen är ökad insikt kring uppströms och nedströms innovation enligt Figur 2.19<sup>39</sup>. Detta för att identifiera produkt kärnprocesser.

Figur 2.18 Utvinning av naturresurser i en linjär ekonomi

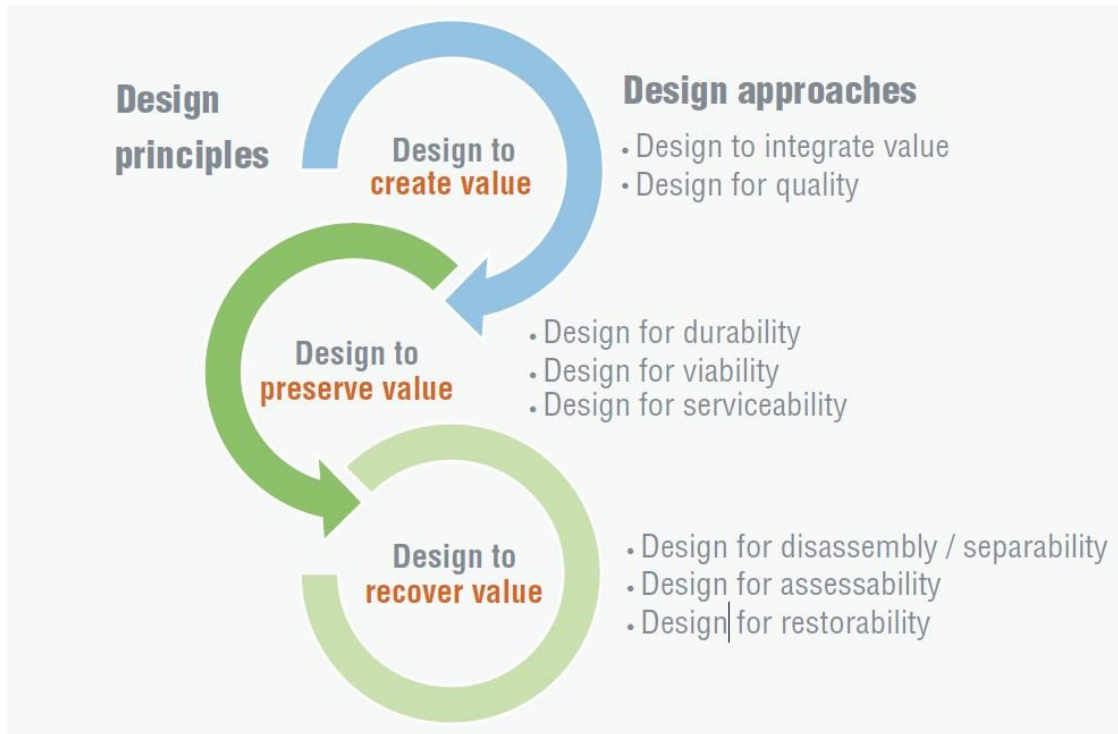


Figur 2.19 Uppströms och nedströms innovation inom produktkedjan med kärnprocesser<sup>40</sup>

<sup>38</sup> Draft Definition ISO 59004 -WD2 (jan 2002)

<sup>39</sup> <https://ellenmacarthurfoundation.org/upstream-innovation/overview>

<sup>40</sup> <https://ellenmacarthurfoundation.org/upstream-innovation/overview>



Figur 2.20. Värdebevarande konstruktionsmål vid produktutveckling<sup>41</sup>

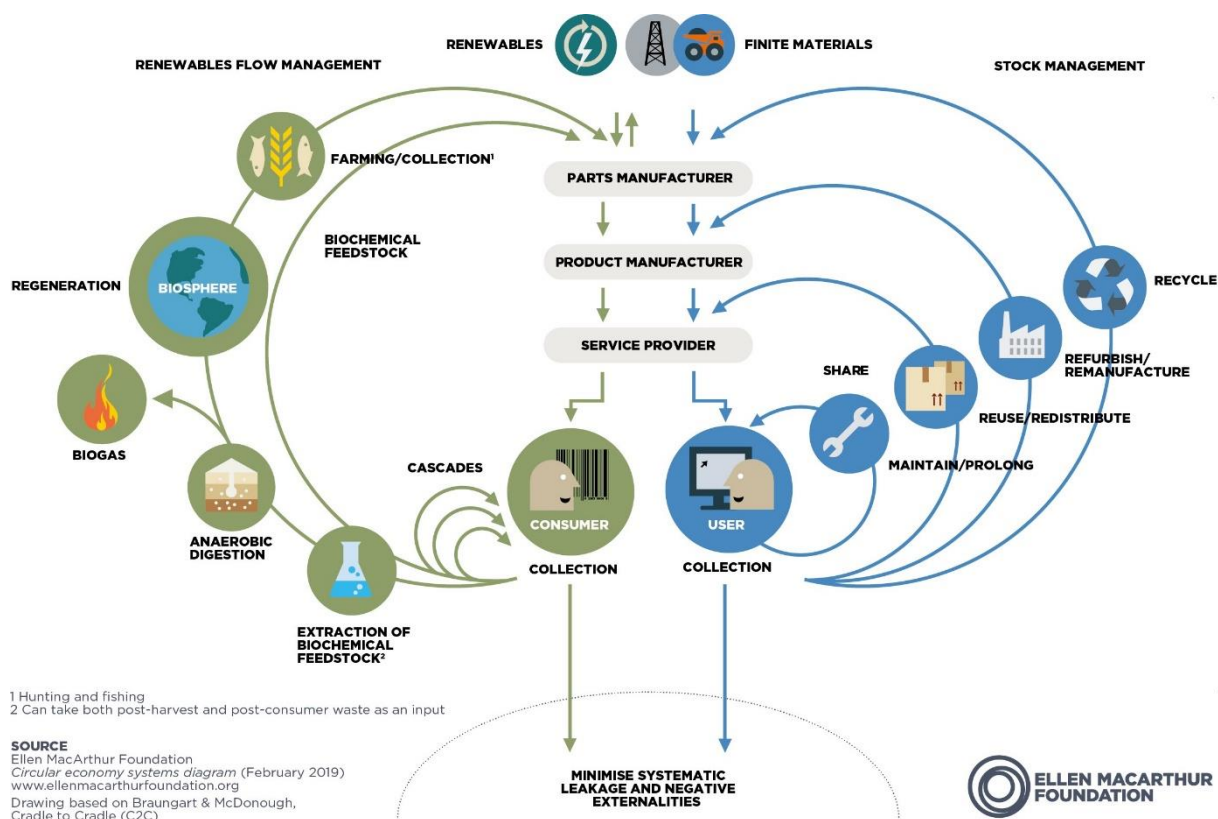
Nästa steg är att tillämpa vissa värdebevarande konstruktionsmål vid produktutveckling, enligt Figur 2.20. Därefter sammankopplas kärnprocesserna med konstruktionsmål. Dessvärre försvårar detta upplägg hanteringen av de nödvändiga kärnprocesserna för att skapa cirkularitet. För att bättre hantera konstruktionsmålen kan konstruktionsprinciper tillämpas enligt

- Design för livslängd: Vålgjorda, pålitliga, servicebara och uppgraderbara produkter med lång livslängd.
- Design för service: Leasade produkter med högre specifikationer för ökad hållbarhet.
- Design för återanvändning vid tillverkning: Produktregenerering genom komponentbyte.
- Design för materialåtervinning: Upparbetning av produkter till nya material.

Systemdiagrammet illustrerar det kontinuerliga biologiska- och tekniska flödet av material i en cirkulär ekonomi (Figur 2.21)<sup>42</sup>. Det tekniska flödet av produkter och material underhålls avtagande genom: delning, reparation, återanvändning, återtillverkning och återvinning.

<sup>41</sup> <https://www.resourcepanel.org/reports/re-defining-value-manufacturing-revolution>

<sup>42</sup> [The Butterfly Diagram: Visualising the Circular Economy \(ellenmacarthurfoundation.org\)](https://ellenmacarthurfoundation.org/the-butterfly-diagram-visualising-the-circular-economy)



Figur 2.21. Det kontinuerliga flödet av material i en cirkulär ekonomi

Inverkan av de olika looparna och samspillet med olika aktörsled är enligt följande <sup>43</sup>:

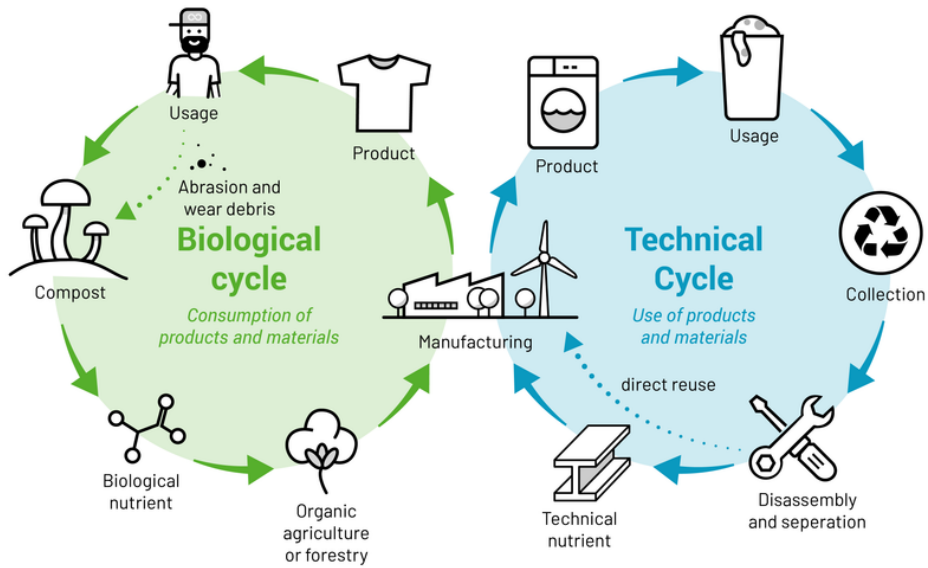
- Delning har kraften att dramatiskt öka användningen av många produkter i konsumentledet.
- Reparation förlänger produktens användbara livslängd och värde i serviceledet.
- Återanvändning förlänger t.ex. emballageanvändningen i konsument-och serviceledet.
- Återtillverkning innebär att produkter återställs till nyskicksprestanda i tillverkningsledet.
- Återvinning omvandlar produkter till dess basbeståndsdelar för upparbetning till nya material.

*Cradle to Cradle*<sup>44</sup> är referensverket inom beskrivning och certifiering av cirkulära flöden. Utifrån det har *Cradle to Cradle Products Innovation Institute*, blivit en aktör inom cirkuläritetscertifiering. Certifieringen omfattar fem områden enligt följande (Figur 2.22):

- Materialhälsa identifierar den kemiska sammansättningen av produktmaterial.
- Produktcirkularitet är återvinning och materialåtervinning i slutet av produktens livslängd.
- Ren luft och klimatskydd bedömer den energi som krävs för produktionen.
- Vatten- och markförvaltning bedömer användnings- och utsläppskvalitet
- Social rättvisa bedömer rättvis arbetspraxis.

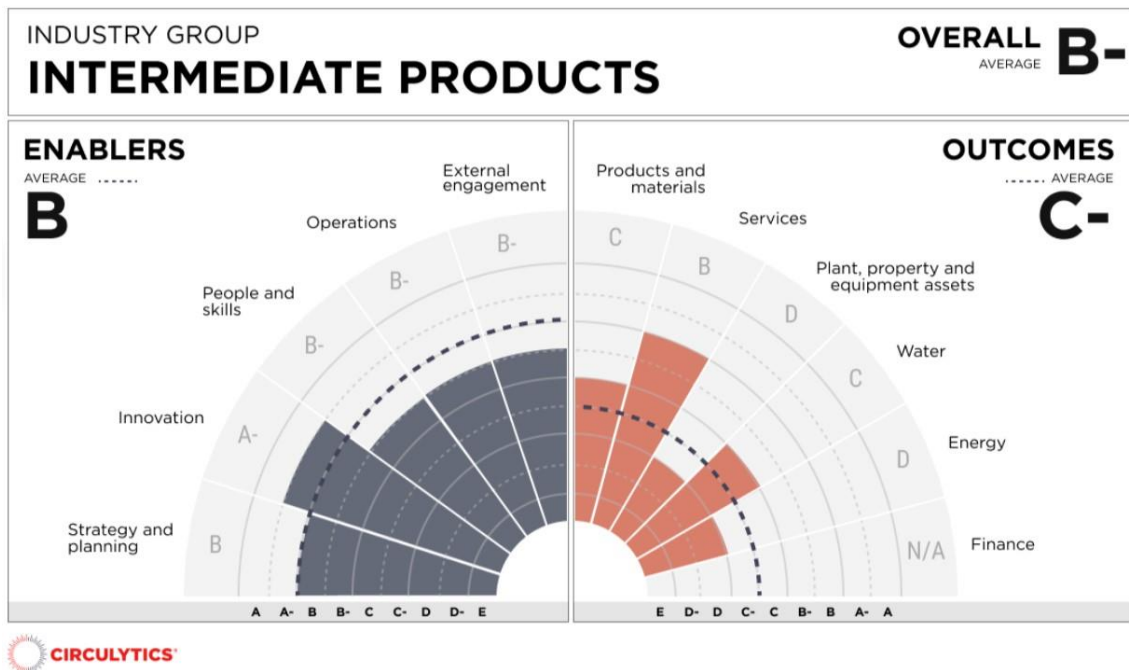
<sup>43</sup> [The technical cycle of the butterfly diagram \(ellenmacarthurfoundation.org\)](http://ellenmacarthurfoundation.org)

<sup>44</sup> McDonough, William. (2002). *Cradle to cradle: remaking the way we make things*. New York :North Point Press



Figur 2.22. Cradle to Cradle cirkuläritetscertifiering

En annan möjlighet är att skatta cirkuläritetsgrad<sup>45</sup> utifrån kriterierna i Figur 2.23. Skattningen ger företag inblick i hur väl de cirkuläritetspresterar inom sina verksamhetsområden. Möjliggörare består av kvalitativa indikatorer som bedömer ett företags potential att anpassa sig till en cirkulär verksamhet i framtiden. Utfall mäter cirkulär ekonomi på företagsnivå och om verksamheten utgörs av cirkulära materialflöden.



Figur 2.23 Circulytics skattning av cirkuläritet

<sup>45</sup> <https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/insights>

## 3 Gjuteriernas materialanvändning

För en given gjuten produkt finns goda förutsättningar att möjliggöra 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 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.<sup>46</sup>

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.

En ständigt föränderlig värld kräver att företag och värdekedjor är mindre mottagliga för fluktuerande priser på energi och material. För att uppnå en mer förutsägbar och stabil miljö behöver framtidens gjuteriindustri övergå till effektivare och smartare användning av resurser med varierande tillgänglighet. Bristen på råvaror och höga energipriser och mer fokus på hållbarhet från kunder och myndigheter kräver ett behov av att ställa om från den vanliga produktionsfilosofin. I denna omvärldsbevakning avhandlas resurseffektivisering vid gjutning av aluminium, stål och järn. Då frågeställningar och utmaningar för resurseffektivisering vid gjutning i sand överbryggas de olika metallerna har gjutsandsanvändning tilldelats en egen rubrik. Belysning av tre hållbarhetsteman syftar till att omsätta resurseffektivisering vid gjutning. De utgörs av resurseffektiv-och klimatneutral materialanvändning samt av cirkulära materialflöden.

### 3.1 Resurseffektiv materialanvändning

Den ohållbara användningen av resurser har utlöst kritiska brister och orsakat klimatförändringar och utbredd miljöförstöring – som alla har negativa effekter på planetens och dess folks välbefinnande<sup>47</sup>. Resurseffektivitet handlar om att skapa högre välbefinnande och producera fler varor och tjänster, samtidigt som man använder färre resurser och begränsar skadliga utsläpp och slöseri<sup>48</sup>. FN:s Hållbarhetsmål kopplade till resurseffektivitet visas i Figur 3.1. Resurseffektivitet innebär att använda jordens

<sup>46</sup> <https://www.metalliskamaterial.se/sv/natverk/det-strategiska-innovationsprogrammet-metalliska-material/>

<sup>47</sup> <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/about-resource-efficiency>

<sup>48</sup> <https://sdghelpdesk.unescap.org/knowledge-hub/thematic-area/resource-efficiency>



begränsade resurser på ett hållbart sätt samtidigt som påverkan på miljön minimeras. Det gör att vi kan skapa mer med mindre och leverera större värde med mindre input<sup>49</sup>.



Figur 3.1. FN:s Hållbarhetsmål kopplade till resurseffektivitet<sup>50</sup>

Det är oftast lätt att kringgå resurseffektivitet inom process och produktionsutvecklingen vid miljö -och hållbarhetsarbetet, då klimat Klimatneutral materialanvändning samt cirkulära flöden är oftast mer prioriterade. Likväl finns flera tekniker och metoder inom gjutprocessen tillgängliga för implementering inom en kort tidshorisont. Lejonparten är direkt lämpliga för olika sandgjutningsprocesser oberoende av material, andra för pressgjutning av lättmetall. Därtill tillkommer skalgjutning, gipsgjutning och vaxgjutning samt fullformsgjutning för precisionsgoods, vilka dock inte behandlas i denna text.

### 3.1.1 Resurseffektiv gjutning av aluminium

Innan vi går in på resurseffektiv gjutning måste det i sammanhanget nämnas att det vid tillverkningen av aluminiumet åtgår en stor mängd energi och ger en rad olika utsläpp. Vid återvinning av aluminium reduceras energianvändningen och utsläppen betydligt jämfört med produktionen av primär aluminium. Beroende på om man i sin gjutprocess använder sig av primär eller återvunnen aluminium och hur tillverkningsprocessen av aluminiumet sett ut kan resursanvändandet hos gjuteriet endast ge upphov till en mindre andel av den slutliga produktens totala resursförbrukning.

Det som konsumerar mest energi i ett aluminiumgjuteri är smältning och varmhållning av smältan. Därför är tillvägagångssättet av yttersta vikt då man önskar resurseffektivisera ett gjuteri. Smälta och varmhålla aluminium kan göras med två olika grundprinciper, förbränningsteknik eller elektriskt alstrad värme. Förbränningsteknik inkluderar förbränning av till exempel gasol som till stor del har sitt ursprung i fossila källor, vilket leder till koldioxidutsläpp vid förbränningen. Det bildas också vatten vid förbränningen vilket kan leda till ökad oxidering av smältan och inlösning av vätgas i smältan. Detta orsakar mer slagg, dvs sämre materialutbyte respektive ökad risk för porer i gjutgodset till följd av ökad vätgashalt. Ugnar med elektriskt alstrad värme kan vara resistansugnar där eluppvärmda slingor skapar värmen eller induktionsugnar. De eluppvärmda ugnarna ger möjligheten till att ha låga utsläpp om elen produceras på ett resurseffektivt sätt och jämfört med förbränningsugnarna kan materialutbytet bli högre genom mindre oxideringen och risken för inlösning av vätgas är lägre. Mer om energieffektiv smältning finns i rapporten *2012-010 Energieffektiv smältning* (se Bilaga 2) som lyfter upp äldre forskningsresultat som fortfarande är högst aktuella och som ger tips på hur smältningssprocessen kan bli mer energieffektiv. Ett sätt att effektivisera sin smältning kan vara förvärmning av tackor med hjälp av induktion, mer om detta finns i

<sup>49</sup> [https://ec.europa.eu/environment/resource\\_efficiency/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/index_en.htm)

<sup>50</sup> <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/about-resource-efficiency>

rapporten 2006-0607 *Effektivare smältning genom induktionsförvärmning av tackor* (se Bilaga 2).

Följande avsnitt om formläppmedel är hämtat från Gjuterihandboken som finns tillgänglig på Metallkompetens.se under rubriken Gjuteriteknik<sup>51</sup>.

Vid pressgjutning läggs formläppmedlet på mellan varje skott. Det har många viktiga funktioner, bland annat att underlätta formfyllningen, skydda oxidskiktet på verktygsytan och att förhindra vidhäftning mellan metallen och formytan. Formsläppmedel är oftast vattenbaserade men finns även i högkoncentrerad form och som pulver. Vattenbaserade formläppmedel används också för att kyla formverktyget.

Det finns uppenbara nackdelar med dagens konventionella formsmörjning, ex vis hög förbrukning av rent vatten och tryckluft, hög ljudnivå samt ett överskott av formläppmedel som måste omhändertas. Dessa nackdelar har, inte minst av inre och yttre miljöskäl, drivit på utvecklingen av alternativa metoder för formsmörjning, vilka har det gemensamt att de ställer högre krav på den interna kylningen av verktygen då de är optimerade utgående från sin smörjande och skyddande förmåga och inte i lika hög grad bidrar till att kyla verktyget. De är därför också ofta anpassade för att kunna appliceras vid högre ytemperatur på verktyget, upp till ca 400 °C.

Ett exempel på en alternativ formsmörjteknik är elektrostatisk beläggning av släppmedel. I princip fungerar denna som pulverlackering, dvs man utnyttjar en elektrostatisk laddning av pulvret för att få detta att fästa på verktygsytan. Bland fördelarna kan nämnas att man kan belägga kärnor och insatser som annars är svåra att nå med konventionell sprayteknik, mängden släppmedel som går till spillo är relativt liten och kan enkelt tas om hand, samt att metoden är snabb och tyst. Bland nackdelarna kan nämnas att det krävs en helt ny utrustning för att använda denna teknik, att den kan ha svårt att nå ner i djupa formrum, ge extra tjock beläggning på skarpa hörn samt att den inte bidrar till verktygskylningen vilket är en nackdel för verktyg som inte har tillräckligt med interna kylkanaler för att uppnå en acceptabel stelningstid hos metallen.

Ett annat alternativ som under senare tid rönt allt större intresse är sk Micro-spray, vilket innebär att man applicerar små mängder av ett högkoncentrerat släppmedel på verktygsytan. Även denna teknik förutsätter att den interna kylkapaciteten i formverktyget är så hög att verktyget inte behöver kylas externt med hjälp av formsmörjaggregatet. Tekniken kan användas för såväl olje- som vattenbaserade koncentrat upp till ca 400 °C ytemperatur hos verktyget. Bland fördelarna kan nämnas;

- Kortare cykeltid – ingen tryckluftsblåsning för att eliminera vatten i formrummet
- Minskad risk för crackelering av verktygsytan = ökad verktygslivslängd
- Minskad risk för gasporositeter från släppmedel och/eller vatten, i komponenten
- Minskad vattenförbrukning och minskat spill i form av överblivet formläppmedel
- Minskad tryckluftsförbrukning och sänkt ljudnivå
- Minskad risk för korrosion då mängden vatten reduceras helt eller delvis

Tekniska och ekonomiska analyser av ex vis Micro-spray indikerar att tekniken under vissa förutsättningar kan bidra dels till minskad resursanvändning och minskat spill,

<sup>51</sup> Metallkompetens (2023-06-01) Gjuterihandboken, som återfinns i sin digitala version på <https://www.metallkompetens.se/metallkunskap/gjuteriteknik/>



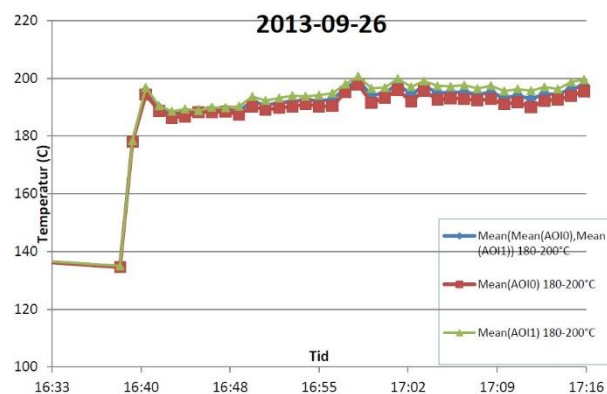
dels till sänkta kostnader och ökad lönsamhet främst tack vare en ökad verktygslivslängd. I takt med att kraven på vikt effektiva komponenter ökar, utmanas förmågan att pressgjuta komponenter med godstjocklekar ner mot 1 – 2 mm. Dessa krav medför att man ofta måste använda en betydligt högre verktygstemperatur för att undvika kallflytning. I dessa fall kan högkoncentrerade släppmedel erbjuda vissa fördelar.

Den enskilt största kvalitetsvinsten inom aluminiumgjutning är implementeringen av datortomografi i kvalitetsavsyningen. I dag kan en lättmetallkolv skannas 100% på mindre än 30 sekunder. Detta ger betydande vinster i extern kassation samt kraftigt minimerade kostnader genom att defektgodsbearbetning elimineras<sup>52</sup>.

**Avancerade verktygsbeläggningar.** En mycket stor minskning av smörjmedel samt verktygslivslängdsökning kan uppnås av avancerade verktygsbeläggningar. För olika typer av PACVD-beläggningar (plasma assisted chemical vapour deposition) ökade verktygslivslängden samtidigt som smörjmedelandelens minskade till 1% (det vill säga 97% vatten)<sup>53</sup>

- TiN-beläggning: upp till 130 gånger
- TiC-beläggning: upp till 160 gånger
- Ti(B,N)-beläggning: upp till 300 gånger

För att optimera fördelningen och mängden av verktygssmörjmedel gav en värmekamera betydande vinster<sup>54</sup>. I synnerhet medförde styrningen av släppmedelstillsättning att variationen på verktygets yttemperatur minskade betydligt. Vidare skapades förutsättningar till att korta ner uppstarttiden för att få fram korrekta detaljer (Figur 3.2).



Figur 3.2 optimerad styrning av släppmedelstillsättning<sup>55</sup>

<sup>52</sup> <https://www.ndt.net/article/wcndt2016/papers/fr2d2.pdf>

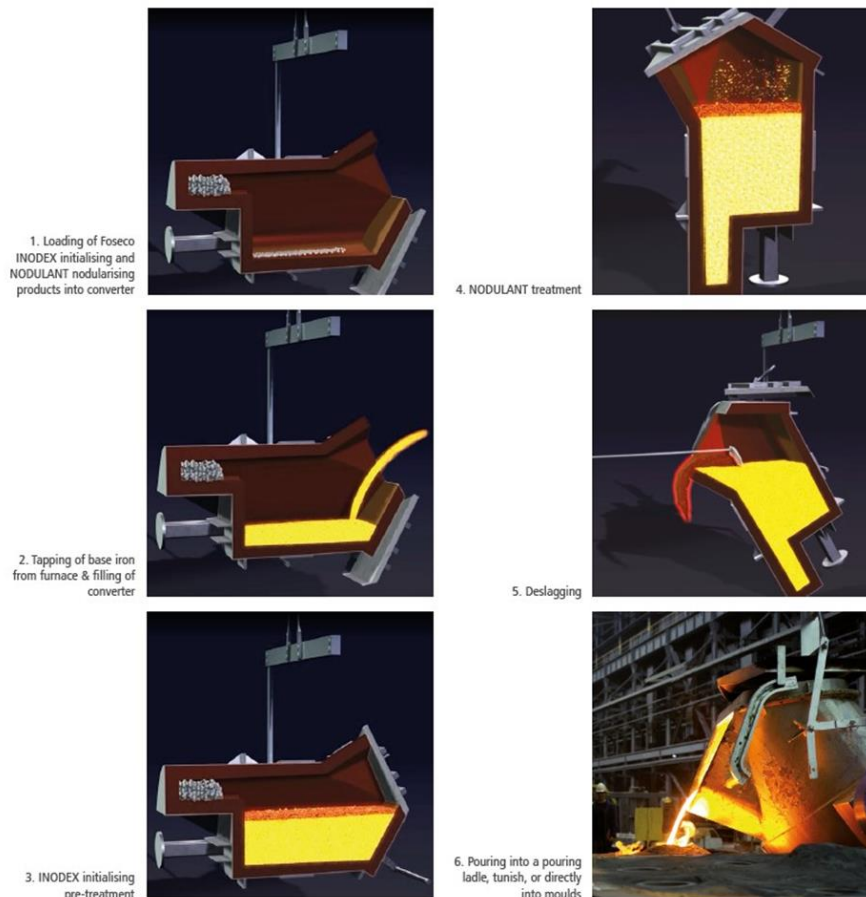
<sup>53</sup> C. Pfohl et al. Application of wear resistant PACVD coatings in aluminium diecasting: economical and ecological aspects Surface and Coatings Technology 112 (1999) 347–350

<sup>54</sup> Håkan Fernström Formsmörjning med hjälp av värmekamera Gjuteriföreningsprojekt G879P (tidigare G840P) Rapport nr. 2013-021

<sup>55</sup> C. Pfohl et al. Application of wear resistant PACVD coatings in aluminium diecasting: economical and ecological aspects Surface and Coatings Technology 112 (1999) 347–350

### 3.1.2 Resurseffektiv gjutning av järn och stål

**Förbättrade metoder för segjärn.** Inom resurseffektivitet vid tillverkning av segjärn har branschen sett betydande insatser vid utformningen av Mg-behandlingsprocessen. Sluten Mg-behandling med fördeoxidering (Inetek), denna Georg Fischer-inspirerade behandlingsmetod, har möjliggjort Mg-behandling av smältor med förhöjda Mn-nivåer utan att ge sämre mekaniska egenskaper. Den lägre viskositeten på smältan fås genom ympning innan Mg-behandling för att ge sugningsfritt gods (Figur 3.3).



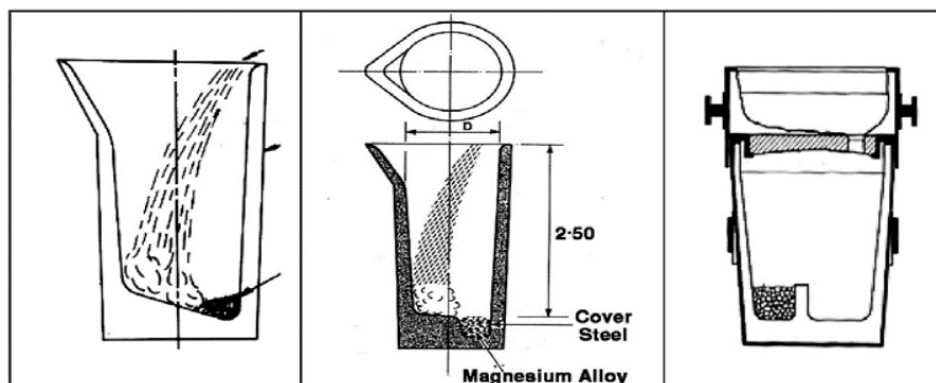
Figur 3.3. Inetek-processen för segjärn där järnet ympas innan behandling<sup>56</sup>

Vid behandlingsprocessen med Mg-tillsats vid segjärnsframställningen har metoder skapats för att använda lägre andel Mg i MgFeSi-legeringen. Djupare och smalare behandlingsfickor möjliggör Mg-behandlingen med lägre andel Mg i MgFeSi-legeringen<sup>57</sup>. Separata behandlings- och avgjutningskänkar har därmed konsoliderats till endast en avgjutningskänk (Figur 3.4). Fördelen är en förenklad process och högre Mg-utbyte samt lägre processtemperatur. Magnesiumutbytet ökar till 60% för tundish cover med lock från 42% utan lock<sup>58</sup>.

<sup>56</sup> <https://www.vesuvius.com/content/dam/vesuvius/corporate/Our-solutions/our-solutions-master-english/foundry/iron-foundry/metallurgical-pouring-control-system/brochures/initek-e.pdf.downloadasset.pdf>

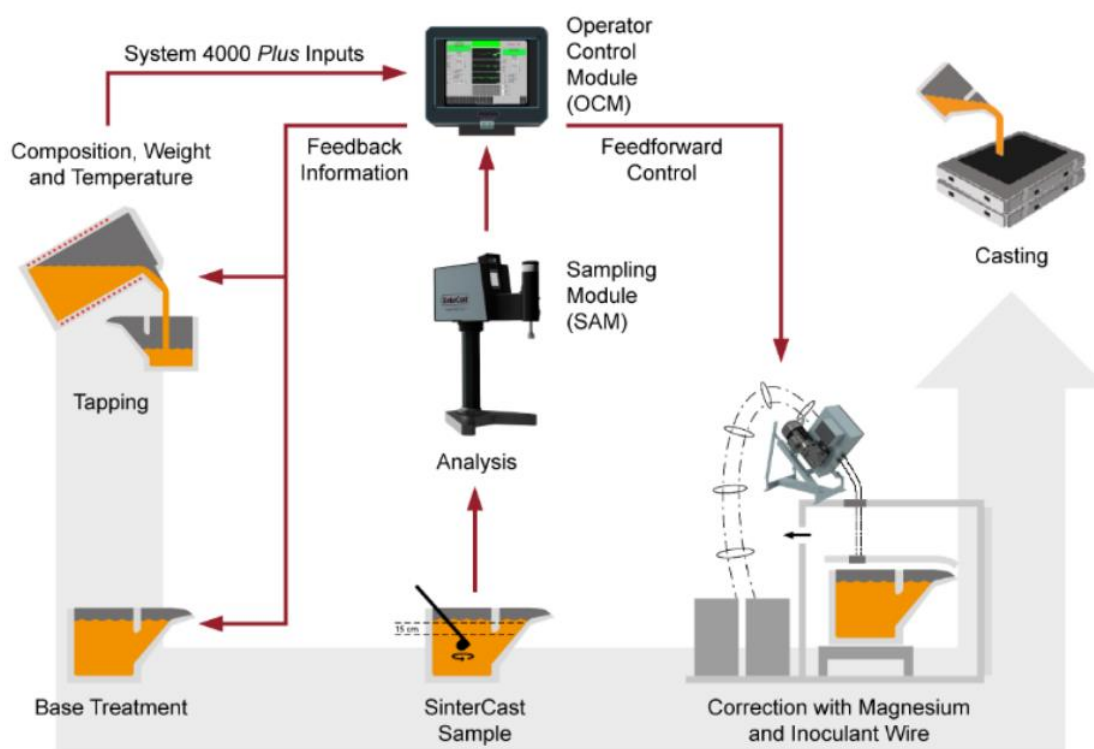
<sup>57</sup> Hartung, C., White, D., Copi, K. et al. The Continuing Evolution of MgFeSi Treatments for Ductile and CG Irons. *Inter Metalcast* 8, 7–15 (2014)

<sup>58</sup> Forrest, R.D., Wolfensberger, H., "Improved Ladle Treatment of Ductile Iron by Means of the Tundish Cover," *AFS Transactions*, vol. 88, pp. 421–426 (1980).



Figur 3.4. Olika Mg-behandlingsmetoder Pour-over, Sandwich och tundish cover<sup>57</sup>

1992 kunde Sintercasts intåg i termisk analys vid CGI-framställningen eliminera användningen av Ti, samt öka processtyrningen av behandlingsmetoden för att infria materialets snäva processfönster, genom rätt ympnings- och behandlingstillstånd. Processen illustreras i Figur 3.5. I dag tillverkas 4 miljoner motorekivalenter med Sintercastmetoden, som har inneburit att motorernas vikt är samma som aluminiummotorerna. Efter sju återvinnings cykler har 80% lägre energi använts än vid motsvarande aluminiumprocess<sup>59</sup>.



Figur 3.5. Sintercast-processen för kompaktgrafitjärn<sup>60,61</sup>.

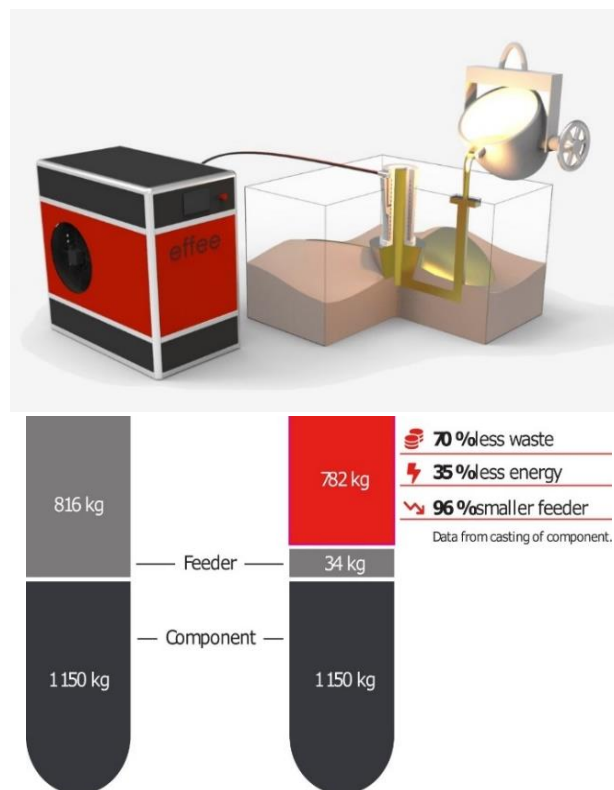
<sup>59</sup> Lampic, M.; Koch, F.; Walz, M. A novel scientific approach to vermicular (compacted graphite) cast iron as per DIN EN 16079 Part 1: Definition, history, production, CGI as a “green” material International Foundry Research 66 2014 No 4 pp2-9

<sup>60</sup> [sintercast-process-control-for-the-reliable-high-volume-production-of-compacted-graphite-iron.pdf](#)

<sup>61</sup> [SinterCast AB | CGI Ladle Production](#)

**Gjutning av stål.** Stålets höga gjuttemperatur medför att drivkraften till resurseffektivitet är extra hög, då lägre smältenergi direkt ger stora minskningar i elanvändning<sup>62</sup>. Inom stålgiutning används främst elektriska ljusbågsugnar med basisk och ibland sur infodring och induktionsugnar med infodring av aluminiumoxid. Resurseffektiviteten påverkas främst av infodring, planering samt utbyte. Energieffektiva åtgärder är förvärmning av chargematerial, Oxy-fuel brännare under smältning, efterbränning av CO till CO<sub>2</sub> samt skapande av exoterma oxidationsreaktioner i smältan. Oxy-fuel under smältningen gav 10,7% lägre energiåtgång. Luftinjektion i smältan gav 10% lägre energiåtgång samt 13% kortare smälttid. Utbytesoxidation med SiC tillsats gav 7,1% lägre energiåtgång samt 4,8% kortare smälttid. Utöver det var skänkstorleken viktig även om den är beroende på dess förvärmning. Generellt kunde temperaturförlusten per minut halveras om skänkstorleken översteg 12 ton.<sup>63</sup>

**Induktionsassisterad matning.** Traditionellt är utbytet mycket lågt vid gjutning av stål eftersom matarna utgör upp till hälften av gjutvikten. Genom induktionsassisterad matning<sup>64</sup> <sup>65</sup> kan matarstorleken reduceras med upp till 96%, vilket ger en 30%-ig minskning av energiåtgång vid smältning samt 70% förbättring i materialutbyte (Figur 3.6). Produktionstekniska vinster är; kortare tid till urslagning, mindre rensning samt full kontroll över matartemperaturen.



Figur 3.6 Optimerad styrning av stålgiutning med induktionsassisterad matning.

<sup>62</sup> S. Biswas, K.D. Peaslee, S. Lekakh Increasing melting energy efficiency in steel foundries Trans. Am. Fish. Soc., 120 (12–040) (2012), pp. 449–456

<sup>63</sup> C. Pfohl et al. Application of wear resistant PACVD coatings in aluminium diecasting: economical and ecological aspects Surface and Coatings Technology 112 (1999) 347–350.

<sup>64</sup> <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/ny-matarteknologi-for-stalgiutning>

<sup>65</sup> <https://www.effee-induction.com/products/ifeed>

**Visualiseringsteknologi för slag.** Nyligen har stålindustrin konstaterat att det är avgörande för processstabiliteten att smältan helt täcks av slaggen under pågående avsvavling<sup>66 67 68 69 70</sup>. Detta för att undvika reoxidation vid badytan under pågående deoxidation. Följaktligen är det kritiskt att styra avsvavlingsprocessen med bildanalys av slaggytan för att motverka så kallad ”open eye” under pågående gasomrörning. När IR och CCD kameror tillämpades i avsvavlingsprocessen, uppnåddes en reduktion av nödvändig omrörningshastighet, minskad skänkerosion, lägre förbrukning av avsvavlingsämnen, mindre slaggrester, färre inneslutningar samt betydande ledtidsreduktioner. Efterföljande forskning visade att kombinationen av CCD-teknik med IR-filter samt binariseringsalgoritmer var det som skapar de bästa förutsättningarna för att avbilda badytans slag. Den automatiserade avbildningen av avslagningsprocessen har även inneburit minimerad mängd överförd slag till skänk. Troligen har den begränsade implementeringen av kontrolloptik hos vissa aktörer i stålindustrin orsakats av att öppna badytor sammanföll med ofördelaktiga inneslutningsprofiler/fördelningar i tidigare EU-arbeten. Stålindustrin har valt att inte patentera metoden, vilket öppnar upp en möjlighet för stålgiuterier att implementera tekniken.

**Inspiration från stålverken.** Under 80-talet uppgav både SSAB och Nippon Steel att produktionen bestod av 80% stränggjutning och 20% götgjutning<sup>71</sup>. Den mest signifikanta utvecklingen i stålframställningen i Japan sedan dess har varit en 50% produktivitetökning per anställd till följd av ökad automatisering samt investering i konverterrening<sup>72</sup>. I dag har båda företagen övergått helt till 100% stränggjutning. Anledningen är helt enkelt att stränggjutningen helt utesluter öppen avgjutning, vilket radikalt minskar reoxidation. Detta är naturligtvis omöjligt att uppnå i stålgiutning av styckgoods, men den angränsande teknikutvecklingen har stor potential att implementeras inom stålgiuterier. Idén är att bearbeta fram gods ur en gjuten sträng för att uppnå lägre defekter.

Minskade halter av svavel och fosfor samt aktiva slagger är förknippade med stålverken men på giuterisidan är användningen betydligt mer begränsad, med anledning av offensiv patentering.

**Alternativ till sällsynta legeringsämnen.** Svensk stålindustris konkurrenskraft är beroende av att kunna tillverka och utveckla avancerande stålprodukter och därmed är

---

<sup>66</sup> Swerea SWECAST AB Rapport nr 2016-002

<sup>67</sup>D 836. Jonas Alexis, Margareta Andersson, Johan Björkvall, Du Sichen, Alf Sandberg Optimization of secondary metallurgy with respect to non-metallic inclusions for improved steel properties and production efficiency – focus on special and high alloyed steel production. JK 23045. 2011-05-18. (ISSN 0280-249X)

<sup>68</sup> EUR 25875 – Active tundish metallurgy (AcTuM) Luxembourg: Publications Office of the European Union 2013, ISBN 978-92-79-29039-8

<sup>69</sup> KI-NA-25091-EN-N Online control of desulphurisation and degassing through ladle bubbling under vacuum (ONDECO) Luxembourg: Publications Office of the European Union 2012 ISBN: 978-92-79-22240-5

<sup>70</sup> KI-NA-27438-EN-N -Increased yield and enhanced steel quality by improved deslagging and slag conditioning (OPTDESLAG) Luxembourg: Publications Office of the European Union 2015, ISBN: 978-92-79-51402-9

<sup>71</sup> Swerea SWECAST AB Rapport nr 2016-002

<sup>72</sup> M. Iwasaki och M. Matsuo, NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 101, November 2012

stålindustrin extra sårbar av tillgången på legeringsämnen<sup>73</sup>. Legeringsämnen används för att producera starkare och beständigare specialstål, men mängden tillsatser bromsas samtidigt av att de kan påverka andra åtråvärda egenskaper negativt med krav på accelererad kylning, härdning och hårdvalsning.

Utöver speciella egenskaper har EU klassificerat kritiska ämnen (CRM) avseende försörjningsrisken och den ekonomiska betydelsen för industrin. I försörjningsrisken ingår miljöfaktorer t.ex. utbytbarhet och återvinningsgrad samt politiska faktorer t.ex. antal produktionsländer och politisk styrning<sup>73</sup>. Sällsynta jordartsmetaller (REE) har unika egenskaper och de har en stor och ökande betydelse både för militära och civila högteknologiska tillämpningar<sup>74</sup>. 95 % av REE-produktionen kommer från gruvor i Kina. Ur ett försvarsperspektiv ser många stater det som en oönskad osäkerhet att Kina har en så stark kontroll över denna viktiga tillgång.

För att hantera dessa saknade resurser och i slutändan beroendet av REE föreslår FOI<sup>75</sup>:

- i. Minska beroendet av REE genom forskning inom alternativ till REE samt minskat spill i tillverkningen.
- ii. Utveckla kommersiell brytning av REE i Europa genom geologisk inventering av REE fyndigheter. Världsmarknadspriset för REE fluktuerar kraftigt och influeras starkt av den
- iii. Utveckla forskning och kommersialisering av återvinning Detta för att möjliggöra det kommersiellt lönsamt att samla in och ta hand om REE från återvunnet material som elektronikskrot och gruvavfall. Den föreslagna forskningen involverar allt från kemisk separationsteknik till logistik.
- iv. Utredning och utveckling av den europeiska processindustrin för upparbetning av REE. Bearbetning av REE är för närvarande koncentrerad till Kina och det är oklart om det finns tillräcklig kompetens och kapacitet i Europa som kan ta hand om råmaterial från eventuella europeiska källor.
- v. Utveckling av komponenttillverkning kring REE – Frågan om hur tillgången på komponenter, som innehåller REE, kan garanteras kan adresseras på många nivåer. Här ingår program för att stärka en europeisk tillverkningsindustri och forskning kring hur försvarsindustrin kan försäkra sig om tillgång till säkra komponenter i ett långt tidsperspektiv.

**Materialförsörjning för stål gjuterier.** Det finns ett stort behov av att ta fram en strategi för materialförsörjning för gjutstål. Trenderna visar att insamlingskrot allt mindre kommer att uppfylla kraven på renhet. 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. Stålskrot har tre flöden; internskrot/återgång, verkstadsskrot och insamlingskrot. Internskrot och verkstadsskrot har ofta känt innehåll, låg kontaminering och kvalitet. Därigenom finns ett högt värde i att återbruka internskrot lokalt och minska uppkomsten av verkstadsskrot. Detta innebär att skrotmarknaden baseras på insamlingskrot och i viss mån en ständigt minskande del verkstadsskrot. När det gäller att sortera stålskrot används sällning, magnetisk separering, elektrisk ledningsförmåga och gravimetriska densitetsskillnader.<sup>76</sup>

<sup>73</sup> <https://www.gjuteriforeningen.se/media/298628/2021-2047-materialfoersorjning-gjutstaal.pdf>

<sup>74</sup> <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-ar-sallsynta-jordartsmetaller-och-kritiska-mineraler/>

<sup>75</sup> Sällsynta jordartsmetaller – betydelse för det försvars- och säkerhetspolitiska området (foi.se)

<sup>76</sup> Marie Bom, Materialförsörjning Stål, Rapport 2021-06, Svenska Gjuteriföreningen 2021.

För stålgyuterier finns drivkrafter för bättre skrothantering:<sup>77</sup>

- Rätten att kunna reparera produkter har indexerats i Frankrike.
- Miljöinformation ska utformas i linje med EU Green Claims ramverk.
- Leverantörskedjan behöver framgå inför framtida Digitala Produkt Pass
- Produktdesignen behöver hanteras inom värdekedjan.
- Cirkularitet avseende lång livslängd, reparation, återanvändning, återtillverkning samt återvinning i förhållande till leverans av specialprodukter samt nya affärsmodeller.

Det finns många aspekter på tillgängligheten av skrot:<sup>77</sup>

- Hos stålgyjutarna har tillgänglighets risker hanterats på följande sätt:
- Strategiska inköp i större volymer
- Köp av skrot i en regional marknad
- Handel av skrot från andra branscher i närområdet
- Tillgång till fossilfri energi.
- Tidig och transparent kommunikation av ordergång i värdekedjan
- Kompetent personal
- Bättre sammankoppling av stålskrotsprodcenter och stålgyuterier med direkt leverans.
- Strategier för redovisning av klimatpåverkan
- Ökad andel återvunna material i stålgytugods. Här har EU ett mål på 85%.
- Hjälpa gyttugodsköpare att sälja tjänster istället för produkter genom t.ex. återtillverkning.
- Följa utvecklingen av nomenklaturen för olika stålklasser hos Jernkontoret
- Använda Skrotboken för att nå den svenska stål- och skrotbranschens produktspecifikationer för olegerat- och rostfritt stålskrot Login till Skrotboken 2020 desktop och/eller app kräver 3 år prenumeration.
- <https://jbfab.com/produktspecifikationer-o-leveransvillkor/skrotboken>
- Produktdesign och processutveckling för återanvändning
- Nya affärsmodeller
- Branschgemensamma riktlinjer som stödjer omställning till cirkulär klimatneutral industri

Inom ett projekt som initierades av Gjuteriföreningens Forskningsgrupp Stål föreslogs följande framtidsrekommendationer<sup>77</sup>:

- i. Förbättra utsortering av olika typer av material. Material bör inte exporteras innan viktiga materialslag har sorterats ut. Branschen behöver komma överens om vilka ytterligare kvalitetsklasser som behövs utöver skrotbokens indelning. Detta kan även innebära att vissa stålkvaliteter skall klassas som en kritisk råvara, likt det som gäller för legeringsämnen.
- ii. Incitament för att säkerställa att material inte förorenas i värdekedja. Detta innebär att ta fram kriterier för vilka material som inte får förorenas och säkerställa att dessa material verkligen kan separeras.

---

<sup>77</sup> Marie Bom, Materialförsörjning Stål, Rapport 2021-06, Svenska Gjuteriföreningen 2021.



- iii. Förenkla myndighetskommunikation. Handläggningstider är en begränsning för att förändra produktionen och återanvända mer material.
- iv. Att arbeta vidare med att identifiera ytterligare faktorer som inverkar på brister i materialflöden till och från gjuteriindustrin och därmed hindrar en cirkulär tillverkning. Detta innebär att 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.

En fyllig genomgång av villkoren för skrothantering och svenska skrotflöden finns i Skrotboken<sup>78</sup>.

### 3.1.3 Resurseffektiv gjutning i engångsformar

Effektivare gjutsystem har inneburit högre utbyte och färre gjutdefekter. Processteknologin inom sandgjutning styrs av avgjutningstemperaturen för olika material och legeringar, men har i övrigt mycket gemensamt. När det gäller sandformen framställs främst den genom med en modell som antingen handformas eller maskinformas. Generellt styrs resurseffektiv materialanvändning vid gjutning av dess utfall samt dess utbyte. Det kan påpekas att materialanvändningen minimeras väsentligt om lättvikts gods med hög specifik hållfasthet kan användas.<sup>79</sup>

**Kampen om det defektfria godset.** Att framställa defektfritt gods är en drivkraft för resurseffektivitet hos gjuterier och ett absolutkrav från gjutgodsköpare, för att funktionsdugliga komponenter når slutanvändarnas applikation. För att styra det anges lämplig standard och specifika gods krav på ritningen, tillsammans med inköpsavtal samt leveransbestämmelser mellan gjuteri och gjutgodsköpare. Standard åberopar vanligen materialklass, hårdhetsintervall, draghållfasthet och eventuellt provläge. Beroende på material och standard lämnas rekommendationer för kemisk sammansättning. För gods med avancerad geometri, tolerans, täthet etc. väljer ibland gjutgodsköpare att materialcertifikat 3.1 ska utfärdas av gjuteriet<sup>80</sup>. Denna sammanfattar tillverkningsdatum, kemisk sammansättning, draghållfasthet och hårdhet för en specifik delserie. Utöver det kan andra provningsstandarder tillämpas och utfärdas i form av olika provningsprotokoll. En stor utmaning är att olika industrier befattar sig med olika materialstandarder upptagna hos ISO<sup>81</sup> och ASTM<sup>82</sup> med olika avsyningskrav hos slutkunden. Gjuterierna har dock stor frihet att välja materialsammansättningar för att kostnadseffektivt infria standard. Utöver det finns flera förhandlingsmöjligheter mellan gjuteri och gjutgodsköpare för att reglera kvalitén och utfallet ytterligare inför bearbetning, ytbehandling samt driftmiljö.

Vid ökade krav på resurseffektiv materialanvändning blir det allt viktigare att minimera kassationer. I första hand behöver godset konstrueras för gjutning. Här är det väsentligt att gjutsimulering tidigt i konstruktionsfasen blir standard. Kan flaskhalsar konstrueras

<sup>78</sup> Skrotboken 2000:1, bestämmelser för leverans och klassificering av stålskrot och gjutjärnsskrot, Stockholm 2005.

<sup>79</sup> <https://metallkompetens.se/handbok/gjuterihandboken/>

<sup>80</sup> <https://www.sis.se/produkter/terminologi-och-dokumentation/dokumentation-av-tekniska-produkter/ssen102042005/>

<sup>81</sup> <https://www.sis.se/standarder/>

<sup>82</sup> <https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications.html>



bort tidigt förbättras komponentens hållbarhet genom en enklare övergång till serieproduktion. Att tidigt upptäcka kassationsgrundande defektgods skapar resurseffektivt gods genom att eliminera icke värdeskapande arbete i komponentframställningsprocessen. Dessvärre har det tagit lång tid att utveckla oförstörande metoder för tidiga processteg. Med datortomografi och 2D-röntgen kan gods i princip kasseras i anslutning till avgjutning för lättmetall, vilket ger enorma kostnadsbesparingar. En annan positiv utveckling har varit en ökad grad av funktionsprovning innan leverans till gjutgodsköpare. Emedan sker det sent i den värdeskapande framställningskedjan, där oförstörande provning sker.

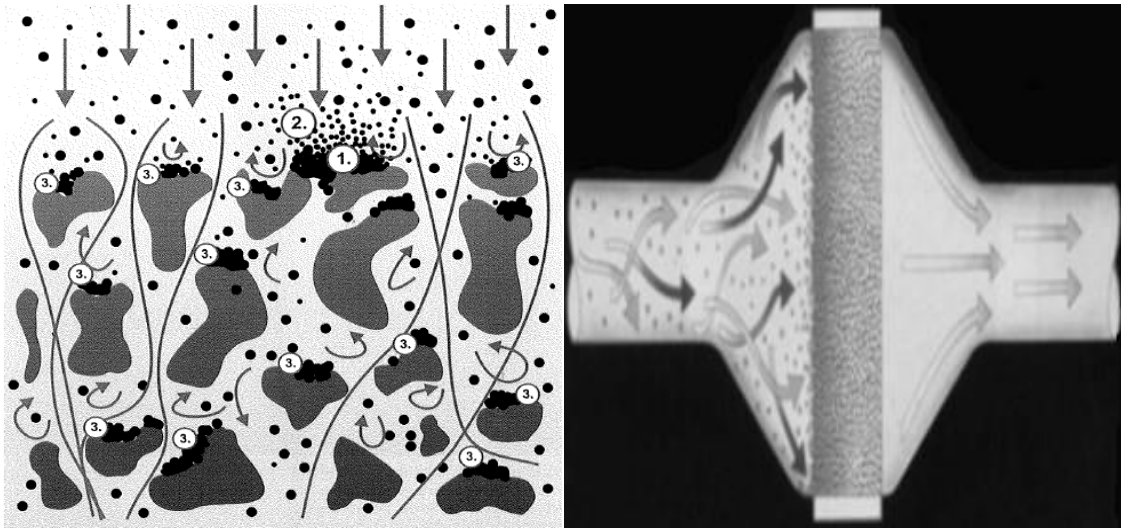
**Någon har glömt att anlita tillskärarakademin.** Inom textil- och plåtformningsindustrin används mycket avancerade datorprogram för att maximera utbytet av textil och plåt. När gjuterier själva utformar gjutsystem och bereder gods kan utbytet bli lidande. Emedan finns stor potential att nå högre resurseffektivitet om mer avancerade metoder används vid utformningen av gjutsystemet. Den självklara metoden är gjutsimulering, men den begränsas av tillgången på rätt materialdata, beredningskunskap och utbildningsnivå. Beredningsprinciper för sandformar i syfte att maximera utbytet vid avgjutning är relativt svårtillgängliga. Det är i allra högsta grad variationen på gjutsystemet som är konstformen inom gjutning. Konstformen är helt enkelt svårigheten att kunna balansera gjutsystemet för det tilltänkta godset. I huvudsak är matningen av godset det primära för att undvika sugningar. Att balansera flera matare och inlopp med ett bra nedlopp samt lyckosam filterplacering med slaggfälla är svårt. Relativt ofta fås turbulens, sanderosion, värmecentra etc. Detta gör att gjuterier ofta har en nisch mot vissa gods yper och ligger kvar med obalanserade och utbytesbegränsande gjutsystem.

Dessvärre innebär godsets utformning och storlek att olika gjutsystem behövs. Likväl finns några principer, som kan övervägas för att maximera utbytet:

- Stiggjutning om flaskan och godset medger det, har ofta lägre turbulens, bättre ventilering av kärn- och formgaser samt inneslutningar. Stiggjutning var en tidig historisk förutsättning för att gjuta gråjärnskanoner eftersom slaggerna kunde avlägsnas i toppen. Gjutning genom matare/kärnor kan oftast kombineras med stiggjutning. DISA-gjutning använder ofta stiggjutning med ingjutsystem med mjuka övergångar och välgenomtänkta filterplaceringar.
- Ofta kopplat till stiggjutning är placering av gjutsystemet i underdelen, vilket ökar motståndet för sanderosion genom kortare bänktid.
- Avancerade gjutsystem t.ex Cambell principer ger inlopp med extra tryck, färre krökar samt lägre turbulens. Emedan har dessa system varit svarare att införliva i horisontellt delade formar.
- Vattenmodellering i transparent plast med höghastighetskamera har använts inom stränggjutning av stål och för vissa gjutformar. Fördelen är att turbulens kan minimeras med filterplacering och inloppsdimensionering kan verifieras och valideras tillsammans med gjutsimulering utan att gjuta.
- Optimerade ingjutsystem kan ibland vara mer effektivt än att ändra materialsammansättningen.
- Induktionsvärmning av matare och nedlopp har introducerats på marknaden för att öka utbytet på med 15-40%.

- Exoterma matare inom järngjutning har ökat utbytet genom sänkt matarstorlek och har minskat sugningsbenägenheten.

Användning av keramiska svampfilter istället för pressade filter, ger möjlighet till ökad slagfiltrering. Detta genom sållning (1), filtrering (2) och djupfiltrering (3). Dessa filtermekanismer visas i Figur 3.7<sup>83</sup>.



Figur 3.7. Filtreringmekanismer och turbulensminskning i smältan<sup>8</sup>



Figur 3.8. Flödesskillnader med pressade, extraherade och svampkeramiska filter<sup>84</sup>

Fördelen är ökad skärbarhet och höjd utmattningsprestanda hos gjutna komponenter<sup>85</sup>. Filter filtrerar smältan från inneslutningar och andra oönskade partiklar samt bromsar smältan för att undvika höga hastigheter och därmed turbulens i smältan. Den senare minskar andelen upplösta gaser i den flytande metallen. Genom vattenflödes-simuleringstester visas att en slagflotationskammare placerad ovanför filterytan kan avskilja grov slag innan filtret i Figur 3.8.

<sup>83</sup> Anders Carlsson och Vasilios Fourlakidis. Optimering av filter. Gjuteriföreningsprojekt G811J, Rapport 2010-006

<sup>84</sup> Anders Carlsson och Vasilios Fourlakidis. Optimering av filter. Gjuteriföreningsprojekt G811J, Rapport 2010-006

<sup>85</sup> Anders Carlsson och Vasilios Fourlakidis. Optimering av filter. Gjuteriföreningsprojekt G811J, Rapport 2010-006.

**Planen för dagen.** En nästan häpnadsväckande 15% resurseffektivitetsökning kan införlivas med god planering samt genomförande vid gjutning<sup>86</sup>. Olika uppfattningar bland personalen samt oförutsedda processbeting kan leda till att det blir bara sex smältor per skift istället för möjliga åtta. Det finns flera planeringsutmaningar t.ex. skänkförmärmning, igångsättning av ugnar, förvägning och charging av ingångsmaterial, problematisk insmältning till följd av effektvakter, kryssade formar, kompetensbrist inom och mellan skiften, etc. Om LEAN används för att takta och planera gjutförloppet i samklang med operatörer och tjänstemän kan en varaktig samsyn kring gjutproduktionen uppnås.

**Resurseffektiv förvärmning av skänkar.** Användning av Oxy-fuel-brännare är mycket mer effektivt för att förvärma skänkar än enbart gasol<sup>87</sup>. Tiden att förvärma med mer än halveras<sup>10</sup>. Vidare går värmen djupare in i skänkinfordringen än enbart Gasol, vilket ger lägre temperatur förluster. Detta ger möjlighet till att minska tapptemperaturer med 20-30 °C. Den enda nackdelen med den mer effektiva förvärmningen är att skänkinfordringen kan slitas mer om skänken är initialt kall<sup>10</sup>. Anledningen till det är att SiO<sub>2</sub> fasen i många eldfasta material (Chamotte med flera) genomgår en fastransformation med 1,3% volymändring vid 573 °C. Detta kan dock motverkas genom att använda eluppvärmning upptill 600 °C.

**Optimering av godsets utbyte.** Största delen av energianvändningen hos gjuterier ligger på smältningen. Utbytet är hur mycket smält metall som behövs för att producera den gjutna komponenten. Det innefattar volymen på komponenten och ingjut- och matarsystemet. Utbytesförbättringar kan införlivas genom slimmade ingjutsystem, lämplig matardimensionering etc. Det reducerar luftinblandningen i smältan, vilket minskar defekt förekomst och kassationer samt sänker behovet av lagningsarbete. Vid en ingjutsystemsoptimering utbytet öka från ca 50% till 85% med samtidig kavitetsreducering i godset till ppm-nivå. Den totala vikten för fyra aluminium gods med ingjutsystem gick från ca 10,5 kg till 6 kg, vilket gav smältenergivinster.<sup>87</sup>

Gjuteriernas utbytesförluster kan vara planerade eller oplanerade<sup>88</sup>:

Planerade utbytesförluster är exempelvis

- Ingjutsystem vid gjutningsprocessen.
- Gods gjuts längre än vad som behövs. Ändarna tenderar att vara spruckna, ojämna och kan ha en avvikande kemisksammansättning eller metallurgiska egenskaper.  
Extra metall skärs av "för säkerhets skull".
- Gjutgoods görs större "för säkerhets skull" för att hantera värmebehandlingsförvrängningar eller processvariationer som kyltemperaturer.
- Metall bearbetas till en slutlig produkt. Spån eller bitar smälts om, oftast med betydande oxidbildning vid omsmältning.

<sup>86</sup> Ingela Gustafsson, Patrik Johansson, Jon Nilsson & Patrik Sundberg. ENERGIEFFEKTIV SMÄLTNING OCH SKÄNKFÖRVÄRMNING Energitekniskt forskningsprogram för gjuteri- och verkstadsindustrin. Projektet finansieras av STEM, Rapport 2008-114

<sup>87</sup> Marin Risberg & Håkan Svensson. Ökat utbyte vid gjutning av stål och aluminium. Minskad materialanvändning vid tillverkning av gjutna komponenter” delfinansieras av energimyndigheten. Rapport Nr 2013-007

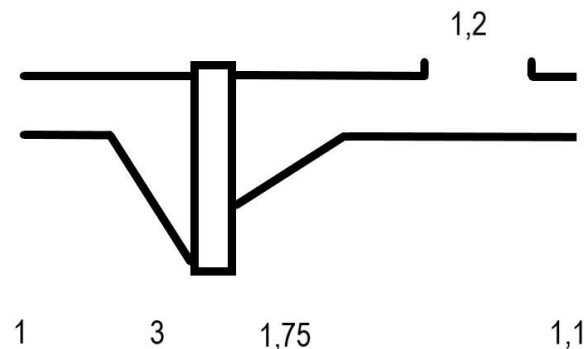
<sup>88</sup> CINDY BELT et. al. Better Energy Efficiency Through Better Recovery. January 2019 MODERN CASTING

Oplanerade utbytesförluster kan vara

- Spill och stänk orsakar förluster där metallen måste smältas om
- Felaktiga legeringar kan innebära att metall hålls av för att återanvändas.
- Mer metall smälts än förväntat på grund av kommunikationsfel.

**Valet av ingjutsystem.** Praktisk har de naturligt trycksatta ingjutsystemen (NPG) inneburit stora vinster inom aluminium- och segjärnsgjutningar. Klassiska ingjutsystem har varit trycksatta och icke trycksatta. Vid trycksatt system så fylls ingjutsystemet snabbt genom att man stryper flödet vid inloppet, vilket kan skapa en turbulent stråle av smälta in i gjutgodset. Vid ett icke trycksatt system fås ett lugnt inflöde i gjutgodset, men ingjutsystemet fylls upp långsamt och luft kan blandas i smältan i ingjutsystemet. De naturligt trycksatta ingjutsystemen kontrollerar smältans hastigheter genom keramiskt filter vid inloppet eller genom flödesoptimering av hela ingjutsystemet.

**Empiriskt dimensionerade ingjutsystemen med filter.** I konventionella system kan empiriskt dimensionerade ingjutsystem med filter innebära kraftigt reducerad turbulens utan strypning under avgjutning. Huvudprincipen är att designa ingjutsystemet för samma gjuttid oberoende av filteranvändning enligt Figur 3.9. Trots att det empiriskt utformade filterförfarandet inte är optimalt kan hela 90% av drosslutsningar elimineras vid segjärnsgjutning.



Figur 3.9. Empiriskt dimensionerade ingjutsystemen vid filterplaceringen.

**Naturligt trycksatta ingjutsystem.** De naturligt trycksatta ingjutsystemen bygger på att reducera variationerna av hastigheterna i gjutsystemet. Här styrs flödet och hastigheten i nedloppet av smältans tryckhöjd i gjutkoppen. Ytterligare flödeseffektivitet uppnås med en nedre ingjutskanal med filter samt en bypass för att avskilja det initiala defektrika järnet för att ge en initial hastighetsreducering samt ett lugnare flöde, enligt Figur 3.10. Vidare finns relativt stora skillnader i oxid typer i ytan av stelningsfronten. Aluminium och lättmetall samt segjärn har "torra" oxidfilmer, medan gråjärn har flytande oxid. Detta påverkar slaggavskiljning vid filtrering samt vid eventuella virvelströmsgeometrier. Ytterligare en aspekt är att operatören slappar av smältan ordentligt, fyller gjutboxen snabbt samt underhåller den med smälta under hela gjutförloppet<sup>89</sup>. Kopplat till detta kan ytterligare gas- och inneslutningsavskiljning

<sup>89</sup> K. Metzlof, K. Mageza and D. Sekotlong. VELOCITY MEASUREMENT AND VERIFICATION WITH MODELING OF NATURALLY PRESSURIZED GATING SYSTEMS. International Journal of Metalcasting/Volume 14, Issue 3, 2020

uppnås för aluminium genom att använda patenterade Trident- eller Vortex-filtreringar vid ingjuten<sup>90</sup>.



Figur 3.10. Naturligt trycksatt flödesoptimerat ingjutsystem för segjärn.

**Matning av godset.** Matning är kritiskt för att undvika sugningar i godset. För flera system kan stiggjutning tillämpas utan matare, men det medges vid lämplig godsgeometri och -storlek. I annat fall behövs en eller flera matare, vars storlek är beroende på godsets geometri och storlek. För att uppnå resurseffektivitet avseende maximerat utbyte behöver matarnas totala volym minimeras. Här ger olika typer av matare olika utnyttjandegrad, vilket kan maximera utbyttet<sup>91</sup>.

- Sandmatare ca 15 %
- Isolerande matare ca 25 %
- Exoterma matare ca 33 %
- Högexoterma matare ca 50 %

### 3.1.4 Resurseffektiv användning av formmaterial

En översikt över material och kemikalier som används i gjuterier för att tillverka sandformar och kärnor behövs. Typ av sand, kemikalier, bindemedel och tillsatser är individuella för varje gjuteri. Detta beror på olika gjutprocesser och produkternas typ och storlek. Detta gör gjuteriindustrin unik, vilket innebär att en förändring i material som kan förbättra miljön och produktkvaliteten för ett gjuteri inte går att tillämpa på ett annat gjuteri. Dessutom måste alla förändringar i material eller process anpassas till befintlig utrustning och miljö. Nedan (del 1) presenterar vi först en översikt över vilken typ av sandsystem som används i Sverige och vilken typ av kemikalier som används i varje sandsystem. Under del 2 nämner vi olika typer av sand som används i svenska gjuterier. Återvinning av sand i gjuterier är mycket viktigt för att kunna minska mängden av använd sand, och under del 3 diskuterar vi olika metoder för att återvinna sanden.

Gjuterier använder olika kemikalier vid tillverkning av former och kärnor. Dessa kemikalier kan vara bindemedel, härdare, katalysatorer och tillsatser för att ge sanden speciella egenskaper. Under bindningsprocess i sand reagerar bindemedlet med hjälp av

<sup>90</sup> A.R. Pradhan et al. / Materials Today: Proceedings 18 (2019) 2887–2892

<sup>91</sup> Marin Risberg & Håkan Svensson. Ökat utbyte vid gjutning av stål och aluminium. Minskad materialanvändning vid tillverkning av gjutna komponenter” delfinansieras av energimyndigheten. Rapport Nr 2013-007

katalysator som kan vara olika gaser eller värme och producera andra kemikalier. Under gjutningen bryts dessa kemikalier ner och kan producera oorganiska och organiska (t.ex. aminer, VOC) föreningar.

**Miljöpåverkan av gjuterisand och bindemedel.** Olika typer av sand kan användas vid sandformning. Den vanligaste är kiseldioxidsand men vissa gjuterier baserat på vilken typ av metall de gjuter kan använda annan typ av sand.

- Kiseldioxidsand är den mest använda, mest på grund av dess breda tillgänglighet och relativt låga kostnad.
- Kromitsand är mer eldfast än kiseldioxid. Den är mer termiskt stabil och har en större kyleffekt. Den används därför för tillverkning av stora gjutgods. Kromitsanden importeras från Sydafrika.
- De allmänna egenskaperna hos zirkonsand liknar den hos kromit, men zirkonsand ger en bättre finish eftersom en finare kvalitet används. Dessa fysiska och termiska egenskaper förklarar dess användning för gjutning eller kärntillverkning i svåra fall, trots dess mycket höga pris.
- Olivinsand används vanligtvis för manganstålgjutning.

I tabell 3.1 har miljöeffekten av utvinning och transport till svenska gjuterier av olika typer av sand jämförts.

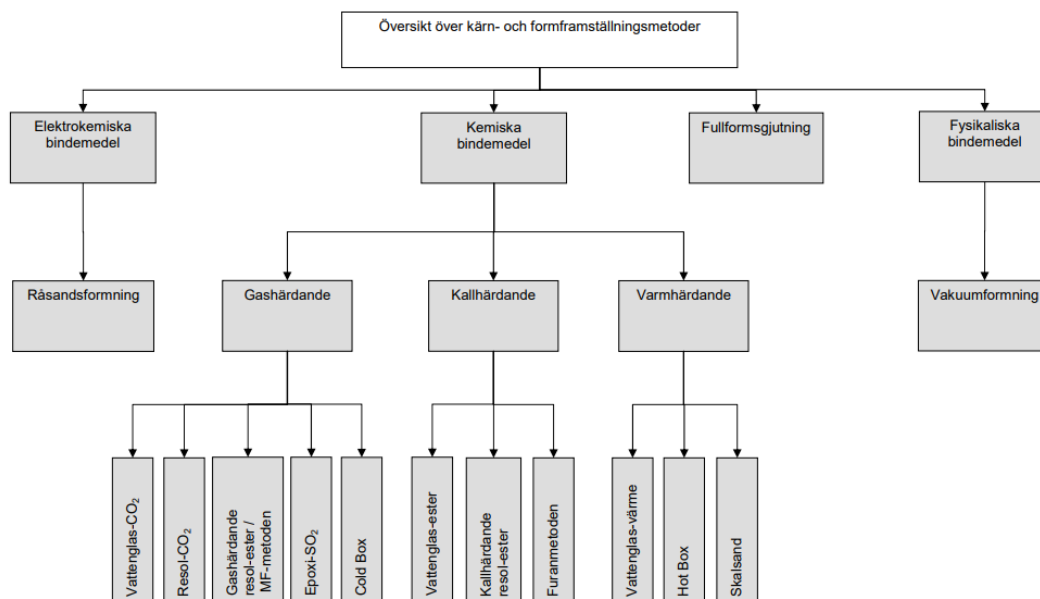
Tabell 3.1. Miljöpåverkan av några vanliga gjuterisandstyper

Sand	Ursprung	Utvinningsmetod	Miljöpåverkan utvinning	Miljöeffekt transport
Kiselsand	Sverige	Sortering av sjösand	Låg	Låg
Kromitsand	Sydafrika	Gruvor	Hög	Hög
Zirkon	Australia	Gruvor	Hög	Hög
Olivin	Norge	Krossar naturlig sand	Måttlig	Måttlig

Bild 3.11 presenterar de vanligaste bindemedelssystemen i Sverige: Elektrokemiska bindemedel (råsand), kemiska bindemedel med olika härdningssystem, fullformsgjutning och fysikaliska bindemedel (vakuumformning).

I gashärdningsprocesser sker härdning genom insprutning av en katalysator eller en härdare i gasform. Härdningshastigheten kan vara mycket hög, vilket gör att höga produktionshastigheter kan uppnås. De är lämpliga för formar och kärnor av begränsad storlek, i medium batch- eller massproduktion. På grund av katalysatorernas gasform är det ibland nödvändigt att samla upp och behandla deras utsläpp under tillverkning av former och kärnor.





Figur 3.11. Översikt av de vanligaste kärn- och formframställningsmetoderna i Sverige

I varmhärdningsprocesser sker härdning genom att värma upp sand-hartsblandningen eller, oftare, genom att låta den komma i kontakt med den uppvärmda kärnlådan. De ger alla en hög dimensionell noggrannhet, som endast kan uppnås genom att använda en högkvalitativ (metall)låda, vilket kan vara mycket dyrt. Av denna anledning används varmhärdningsprocesser för tillverkning av kärnor av begränsad storlek. Varmhärdningsprocesser kännetecknas av stora emissionsproblem. Vid upphettning avger hartserna och katalysatorerna skadliga kemikalier inklusive ammoniak och formaldehyd som kan vara källan till luktstörningar.

**Vakuumformning.** Denna metod är fri från bindemedel. Vakuumformningsmetoden utvecklades i Japan under 1970-talet och har använts i Sverige sedan 1979. Metoden är en fysikalisk bindemedelsmetod där formmaterialet utgörs av sand utan bindemedel. Sammanhållningen av formen åstadkoms genom att formdelarnas yttertytor är täckta av en tunn plastfolie och att varje formdel utsätts för undertryck. Jämfört med konventionell gjutning i sandform så ger vakuumformningen ett gjutgods som kräver mindre rensningsarbete. Gjutgodset har dessutom mycket god måttgrannhet och ytjämnhet. Metoden fungerar så att modellen är monterad på en brättplåt som sätts under vakuum. Modellen är försedd med avsugningsnipplar så att luft kan sugas ner genom modellen till vakuumlådan. En formflaska som består av dubbla väggar, där den inre är perforerad, läggs över modellen. Genom röranslutning kan formflaskan sättas under vakuum varpå den fylls med torr finkornig sand. Formflaskan vibreras för god tätpackning. Formens överyta täck med en plastfilm och formflaskan sätts sedan under vakuum. Efter att vakuumet i vakuumlådan släppts lyfts formen av modellen. Formdelen sätts samman med en annan formdel som tillverkats på samma sätt och en fullständig form erhålls. Även avgjutningen sker med pålagt vakuum. Först när gjutstycket stelnat släpps vakuumet och formsanden lämnar flaskan.

**Minskad kemikalieanvändning genom blackfri gjutprocess.** Möjligheten att gjuta järngjutgods med en blackfri gjutprocess har undersökts utifrån både ett

ekonomiskt och ett tekniskt perspektiv<sup>92</sup>. Vid gjutförsöken har resultaten från de olika sand/bindmedelskombinationerna jämförts med blackade referensprov. Fyra olika bindmedelssystem har jämförts, nämligen Coldbox, Epoxy, Resol och Vattenglas. De producerade gjutgodsen har analyserats med avseende på sprickgrader, penetrationer samt ytkvalitet. Resultaten visar att sandens medelkornstorlek är av avgörande betydelse för möjligheten att gjuta utan blackade kärnor. Ju finare sand desto färre penetrationer. Även sprickgraderna minskar med finare sand, även om denna trend inte är lika tydlig.

**AO-teknik för råsand.** Effekterna efter införandet av avancerade oxidanter, ”AO-teknik”, som i nordamerikanska råsandgjuterier rapporteras ha kunnat sänka emissionerna av VOC och luktande ämnen studerades<sup>93</sup>. Det (normalt obehandlade) vatten som sätts till råsandsystemet ersattes därvid med vatten som aktiverats i en Sonoperoxone-anläggning. Målsättningen var att ta fram ett kunskapsunderlag kring möjligheten att reducera VOC-emissioner och lukter från speciella processer inom gjuteriindustrin. Försöken utfördes vid full produktion på en line för gjutning av bromsskivor i gråjärn. Införandet av AO-teknik ledde dock inte till några synliga förändringar, vare sig på miljöparametrar, formsandkvalitet eller det producerade godset. Dessa resultat sig markant från vad som rapporterats från amerikanska gjuterier. Den emitterade luftens innehåll av total VOC, BTEX eller luktande ämnen påverkades inte. Den VOC-förening som haltmässigt klart dominerade sammansättningen var metan. Formsandens innehåll av PAH påverkades inte. Någon säker bedömning rörande påverkan på sandens innehåll av VOC-komponenter kunde inte göras. Den luftmätning som utfördes i anslutning till Sonoperoxoneanläggningen påvisade inte någon ozon i arbetsmiljön. Det är oklart om arbetsmiljön påverkades av AO-aktiveringen. Formsandens tekniska egenskaper påverkades inte av AO-tekniken. Kvaliteten på godset, utvärderad av kvalitetsavdelning och kund, påverkades inte heller.

### 3.1.5 Resurseffektivitet genom digitalisering

Kopplat till ökat utbyte och minskad kassation har framsteg inom digitalisering medfört betydande metodik kring att visualisera samt optimera arbetssättet inom metallgjutning. Svensk järngjuteriindustris digitalisering syftar till behovet att skapa helhetssyn i gjuteriprocessen<sup>94</sup>. Målsättningen är förbättrad kontroll av processer, bättre kvalitetsstyrning och ökad produktivitet. Utmaningar och prioriteringar samt förväntad affärsnytta inom digitaliserat gjuteri innefattar sensorer, databaser, statistik, beslutsfattande, datakommunikation etc. De fyra industriella revolutionerna<sup>95</sup> avbildas i Figur 3.12; där den 1:a började med mekanisering, vattenkraft och ångkraft. Den 2:a innefattade massproduktion, löpande band och elektrifiering. Den 3:e inleder digitaliseringen; användandet av datorer och automationslösningar. Den 4:e industriella revolutionen sker genom att produktionsapparater, produkter, hela leverantörs- och värdekedjor kopplas upp och kommunicerar med varandra.

<sup>92</sup> Gotthardsson, U., Järngjutgoods utan blackade kärnor. 2008, Swerea SWECAST.

<sup>93</sup> Gotthardsson, U., Utvärdering av AO-teknik i ett svensk råsandgjuteri 2007, Swerea SWECAST.

<sup>94</sup> R Karlsson, Digitalisera Gjuteriet, Gjuteriföreningsrapport 2019-2030.

<sup>95</sup> R Karlsson, Digitalisera Gjuteriet 2, Gjuteriföreningsrapport 2020–2037.



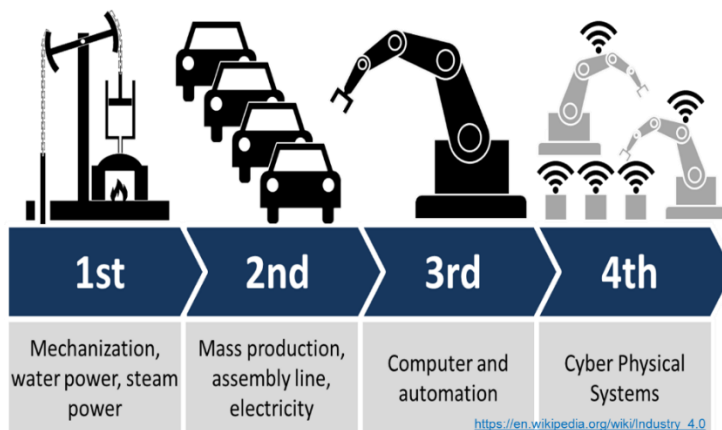


Bild 3.12. De fyra industriella revolutionerna <sup>96</sup>

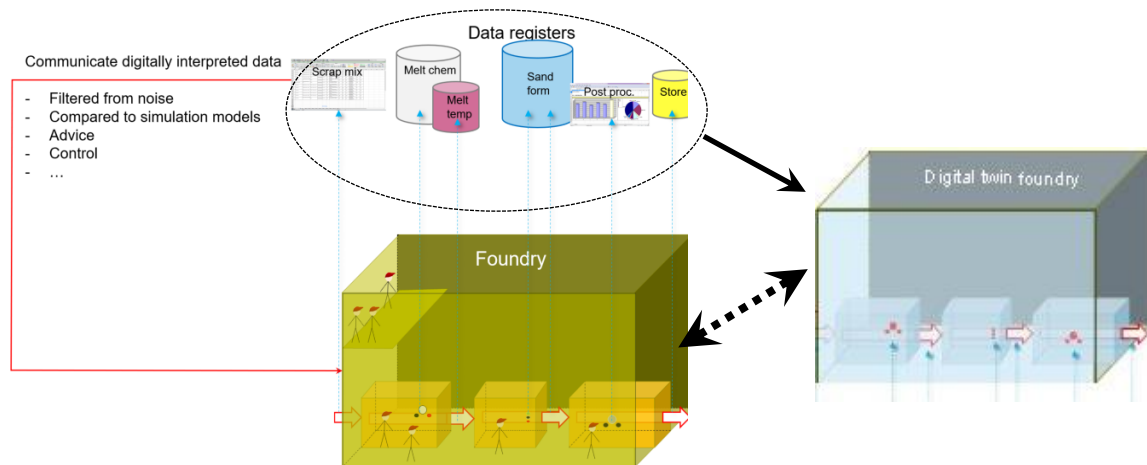
Generationsskiftet inom gjutindustrin driver på att förädla konstformen till en framställningsmetod. Gjutindustrin befinner sig i den tredje (3) industriella revolutionen, men håller på att ta klivet till den fjärde (4). Utmaningen med att transformera data till digitaliserad produktion är förflytta sig från lokal till holistisk processtyrning. Paradigmskiftet mellan den tredje (3) och den fjärde (4) industriella revolutionen inom dataanvändning inom gjuteriindustrin kan summeras enligt följande.

(3): Digitalisering har möjliggjort ett stort kunskapsuppbyggande, och har gjort det möjligt att styra processer med i realtid analyserade data. Mätningar görs av utvalda storheter i gjuterier med hjälp av tillgänglig mätutrustning. Data lagras och analyseras för att jämföra med normkurvor och för att följa förlopp. Med hjälp av datorer fås snabba svar och kan styra processer, manuellt eller automatiskt.

(4): För att meningsfullt kunna statistiskt analysera data från olika mätpunkter före, under och efter produktionen måste data vara försedd med synkroniserad plats- och tidsinformation. Sådan data finns typiskt inte i system som byggts för lokala enskilda analyser. I grunden är kopplingen till tid och plats en förutsättning för att bygga digitaliserade system för statistiska analyser (Big data) och för att bygga upp digitala tvillingar. Hur olika IT-system och data transformeras till en spegling av verkligheten via en digital tvilling visas i Figur 3.13, en typisk översikt över ett gjuteri idag. Olika delar av produktion, ekonom, kvalitet, miljö finns, och ligger i system som kan analyseras och fås att samarbeta för att återföra till utvärdering, beslut och åtgärder. I den Digitala tvillingen av gjuteriet (grå låda) har de olika informationssystemen ersatts med en grå låda som representerar den.<sup>97</sup> Här krävs extra arbetsinsatser och/eller mjukvara för att koppla samman olika data med varandra. Fördelen är möjligheten till att analysera avlägsna samband mellan historiska processdata och kvalitetshändelser senare i gjutgodsets livscykel.

<sup>96</sup> [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry\\_4.0.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0.png)

<sup>97</sup> <https://www.disagroup.com/en-us/foundry-products/digital-solutions/disa-tag> (access 2023-03-09)



Figur 3.13. En typisk översikt över ett gjuteri idag.

**Digitalisering inom metallgjutning.** Det finns tre områden inom metallgjutningens digitalisering för att öka visibiliteten<sup>98</sup>:

1. Företagets affärsmått (KPI:er), t.ex. antal tillverkade detaljer, maskinparkens tillgänglighet, nyttjandegrad, tillgänglighet automatiseras och visualiseras: Maximering av antalet producerade produkter, genom identifiering av produktionsluckor
2. Processdata för att säkra produktkvalitet, sker genom övervakning av processbeting: Maximering av antal kvalitetssäkrade produkter
3. Maskin övervakning, t.ex. förebyggande underhåll samt övervakning av formsmörjning sker för att förutse och avvärja maskinfel: Undvika kostsamma produktionsstopp

För att inleda digitaliseringsresan är det pragmatiskt att börja med en eller ett fåtal maskiner, för att få fram en överförbar modell till resten av maskinparken utan dataredundans. Ett viktigt steg i det är insikten kring att ytterligare mjuk och hårdvara behövs för att möjliggöra datakommunikation mellan olika system och olika delar av produktionen.

**Den mänskliga digitaliseringsfaktorn.** Den största digitalisering utmaningen är hur människan samspelar med den digitalavbildningen av produktionen. Här är det kritiskt att olika kompetenser kommunicerar med varandra. Det databasbyggande IT-folket behöver förstå de PLC-programmerande processingenjörerna och tvärtom. Detta är motorn kring vilken sensorbestyckning i PLC behövs och ofta datainformation behöver inhämtas av databasen för att få nytta inom organisationen. För att möjliggöra förståelsen och användandet av data behöver en datakultur skapas i företaget. Detta genom att portionera rätt mängd data till en utbildad personal.<sup>99</sup>

**Spårbarhet.** Inom vertikal formning återfinns DISA TAG (Trace and Guidance), som skapar en länk mellan processdata och kvalitetsresultat hos gjuteriets sandformar <sup>100</sup>. Spårbarhet bidrar till att lösa komplexa kvalitetsproblem, genom att data på komponentnivå driver AI-driven processkvalitetsoptimering att ge nya insikter.

<sup>98</sup> Kim Phelan. Into the woods One Companies Journey Toward Total Connectivity Modern Casting Feb. 2023 pp 18-23

<sup>99</sup> Kim Phelan. Into the woods One Companies Journey Toward Total Connectivity Modern Casting Feb. 2023 pp 18-23

<sup>100</sup> <https://www.disagroup.com/en-us/foundry-products/digital-solutions/disa-tag> (access 2023-03-09)

Spårbarheten vägleder även gjuterier till rätt åtgärder som förbättrar kvaliteten, minskar omarbetning och skrot, vilket sänker kostnaderna och ökar hållbarheten. Metoden har tre steg (Figur 3.14):

1. Märkningsenheter i mönsterplattorna ger varje sandform och därmed komponenten ett unikt ID.
2. Efter avgjutning läser en handskanner av koderna för skrotade komponenter och länkar dem till specifika defekttyper, som sparas automatiskt i TAG-databasen.
3. Varje komponents unika kod och specifika kvalitetsdata kopplas till föreliggande processdata.



Figur 3.14. DISA TAG systemet skapar en länk mellan processdata och kvalitetsresultat hos gjuteriets sandformar i tre steg<sup>101</sup>

## 3.2 Klimatneutral materialanvändning

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. Den traditionella framställningen av aluminium, järn och stål förutsätter en metallurgisk process som ger betydande fossilavtryck jämfört med användning av skrotbaserad råvara. Gjutprocessens många olika steg förutsätter dessutom användning av kemiska produkter och tillsatser. 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.

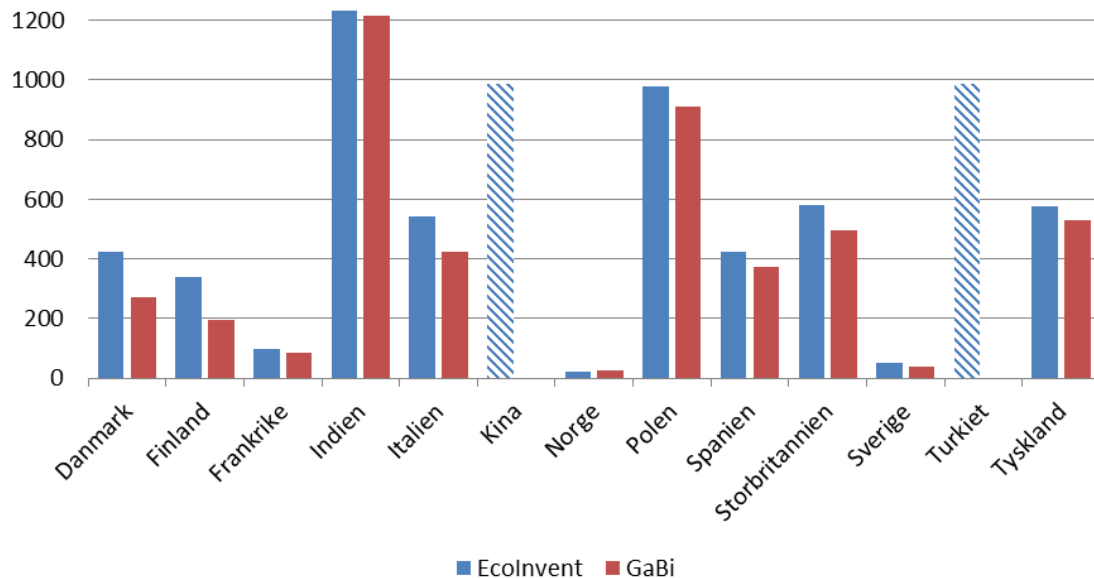
### 3.2.1 Gjuteriernas koldioxidavtryck

Elmixen har i sektion 2.2 redan redovisats som en mycket betydelsefull källa till gjuteriers CO<sub>2</sub>-utsläpp. Under 2016 generades data på koldioxidutsläpp från elproduktion och godstransport från tretton länder som har eller kan komma att ha betydande roll i den svenska gjutgodsförsörjningen<sup>102</sup>. Detta genom att skatta emissionen av CO<sub>2</sub> i el-mixen hos tretton (13) länder (inklusive Sverige) för ett (1) ton

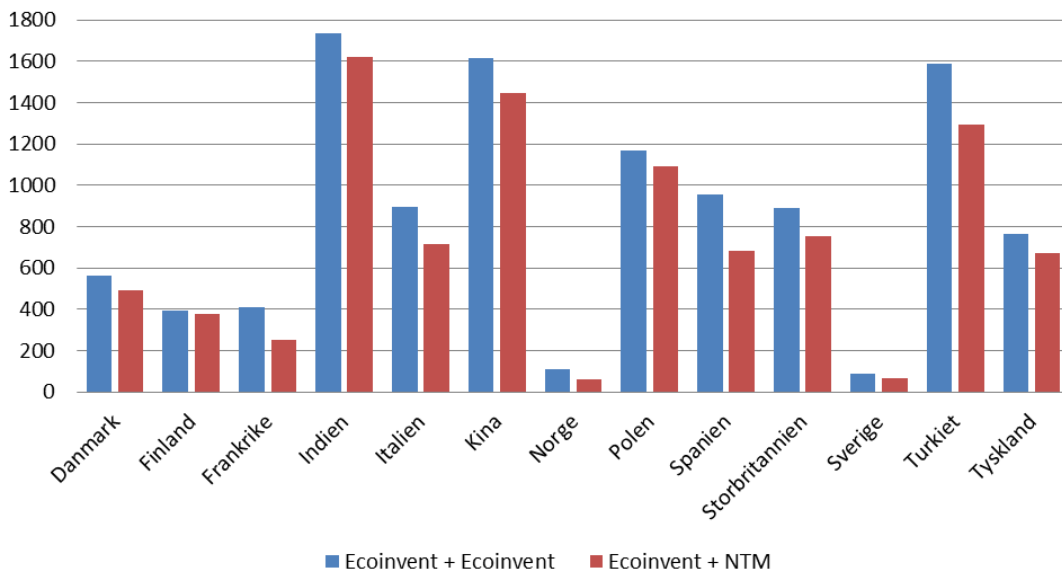
<sup>101</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=PLRCMNBccOA> (access 2023-03-09)

<sup>102</sup> Martin Wänerholm. Klimatpåverkan av gjutgods. Gjuteriföreningsprojekt 20880, Rapport 2016-003

smälta (Figur 3.15) samt med godstransport till en presumtiv köpare i Sverige (Figur 3.16). Koldioxidutsläpp data sammanställdes för Danmark, Finland, Frankrike, Italien, Indien, Kina, Norge, Polen, Spanien, Storbritannien, Sverige, Turkiet och Tyskland. Figurer 2.9 och 2.10 visar på hur databaserna kan ge olika värden. Under 2020 uppdaterades värdena<sup>103</sup>. Elmixen är en mycket betydelsefull källa till gjuteriers CO2 utsläpp, då smältprocessen ofta är eldriven. Internationellt står sig därför Sverige väl (Figur 3.17).



Figur 3.15. Ecolnvent & GaBi Koldioxidutsläpp genererade från användning av el för smältning av järnmetall som ger ett ton färdig produkt. (Turkiet & Kina saknar GaBi värde)<sup>104</sup>.



Figur 3.16. Ecolnvent samt Ecolnvent och NTM (transport) koldioxidutsläpp genererade från användning av el för smältning och transport av järnmetall som ger ett ton färdig produkt.

<sup>103</sup> [2020\\_001-uppdatering2020\\_klimatsmartgjutgods-inkl-bilaga.pdf \(gjuteriforeningen.se\)](#)

<sup>104</sup> Martin Wänerholm. Klimatpåverkan av gjutgods. Gjuteriföreningsprojekt 20880, Rapport 2016-003

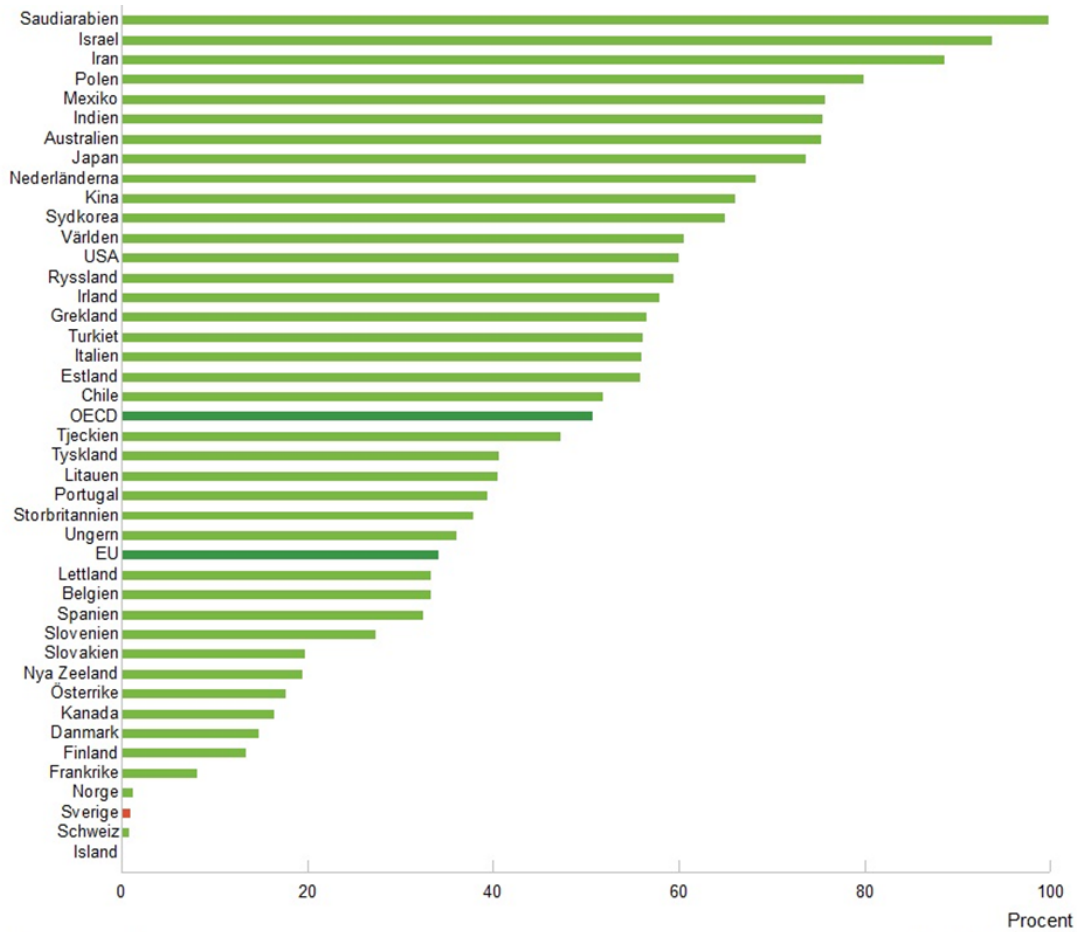
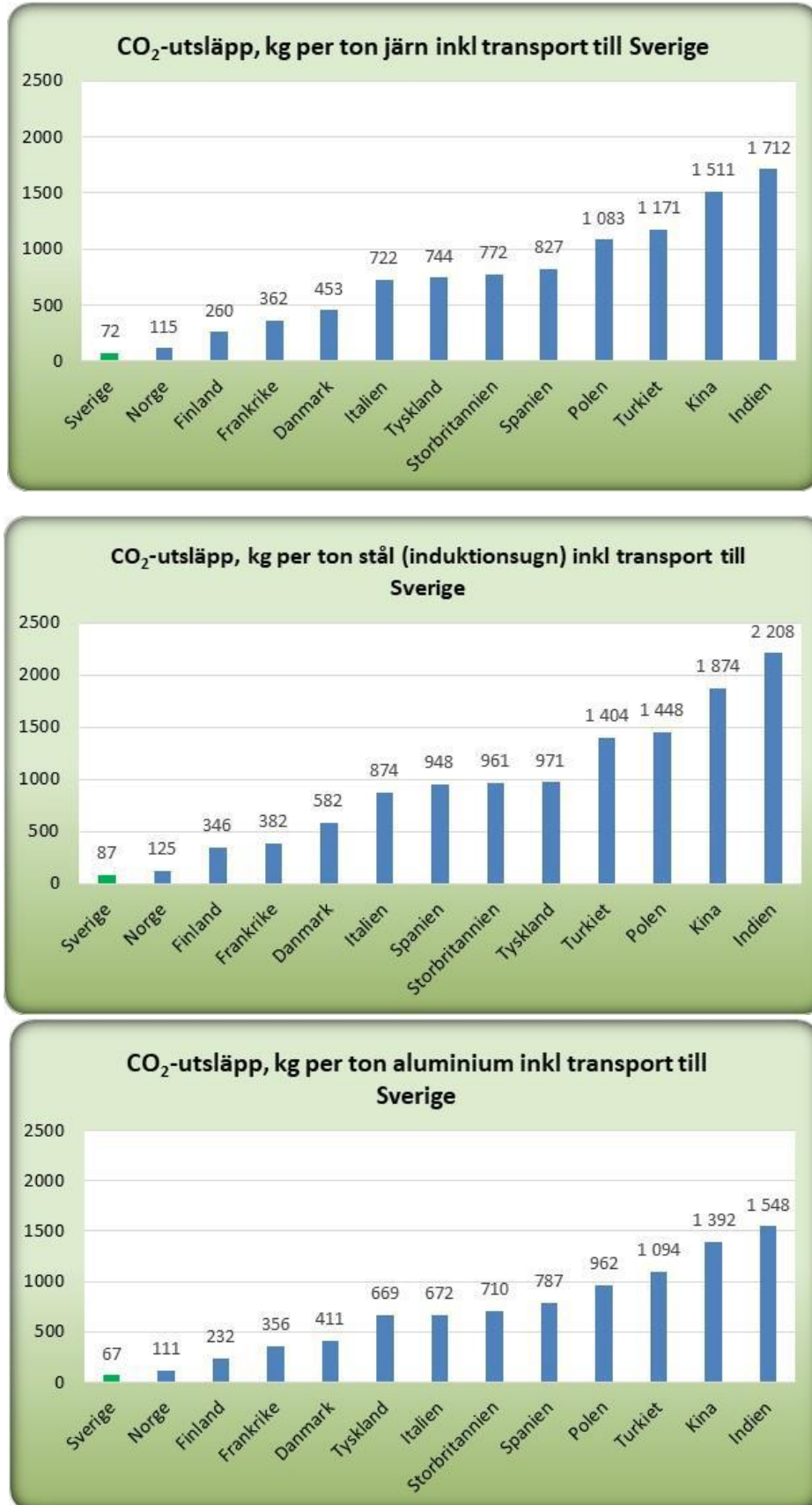


Fig 3.17 Elproduktion med fossila bränslen i procent av totala elproduktionen i olika länder.<sup>105</sup>

Koldioxidutsläpp vid smältning och transport till kund i Sverige av metall för ett ton gods för olika material finns sammanställda i Figur 3.18. För mer material hänvisas läsaren till bakgrundsrapporten.<sup>106</sup>

<sup>105</sup> [Elproduktion med fossila bränslen - internationellt - Ekonomifakta](#)

<sup>106</sup> [2020\\_001-uppdatering2020\\_klimatsmartgjutgods-inkl-bilaga.pdf \(gjuteriforeningen.se\)](#)



Figur 3.18. Koldioxidutsläpp vid smältning + transport till kund i Sverige av metall för ett ton gods producerat i olika länder.

### 3.2.2 Klimatneutral framställning av aluminium

I tabell 3.2 visas hur mycket koldioxid som produceras vid produktion av primäraluminium respektive återvunnen aluminium samt vid komponentgjutning<sup>107</sup>. Primäraluminium kommer fortsatt att vara viktigt, även om det är en stor källa till CO<sub>2</sub>-utsläpp, då efterfrågan på aluminium är större än tillgången på återvunnen aluminium. Den ökade efterfrågan på aluminium gör det än viktigare att ta vara på det aluminiumskrot som uppkommer. *European Aluminium* skriver i sin "Circular aluminium action plan"<sup>108</sup> att endast hälften av aluminiumskrotet producerat i Europa 2019 återvanns inom Europa och att drygt 30 % av skrotet varken återvanns eller exporterades (lagligt) utan kanske "fastnade" i skrotade bilar eller exporterades olagligt, se Figur 3.19. 2,6 miljoner ton återvinns, 1 miljon ton exporteras (främst till Asien) och 1,6 miljoner ton blir inte återvunnen, det kan till exempel exporteras olagligt eller bara "fastna" i skrotade bilar.

Tabell 3.2. Koldioxidutsläpp vid produktion av aluminium

		Ton CO <sub>2</sub> /ton Al
Produktion av primäraluminium	Bauxit utgrävning	0,02
	Produktion av aluminiumoxid	1
	Anod produktion	0,1
	Elektrolys processen	5,4
	Gjutning av tacka	0,2
Produktion av återvunnen aluminium	Skrot hantering	0,3
	Omsmältning av skrot	0,3
	Skrotraffinering	0,6
	Gjutning av tacka	0,2
Komponentgjutning		0,5

Vid produktionen av återvunnen aluminium sker det alltid ett tillskott av legeringselement, främst kisel. Denna råvara är primär och bidrar till en ansevärd mängd CO<sub>2</sub> utsläpp. För Stena Aluminium utgör CO<sub>2</sub>-utsläpp relaterat till kisel i genomsnitt 40% av CO<sub>2</sub>-utsläppen som för Stenas produktion ligger på i snitt 0,7 kg CO<sub>2</sub> / kg Al.

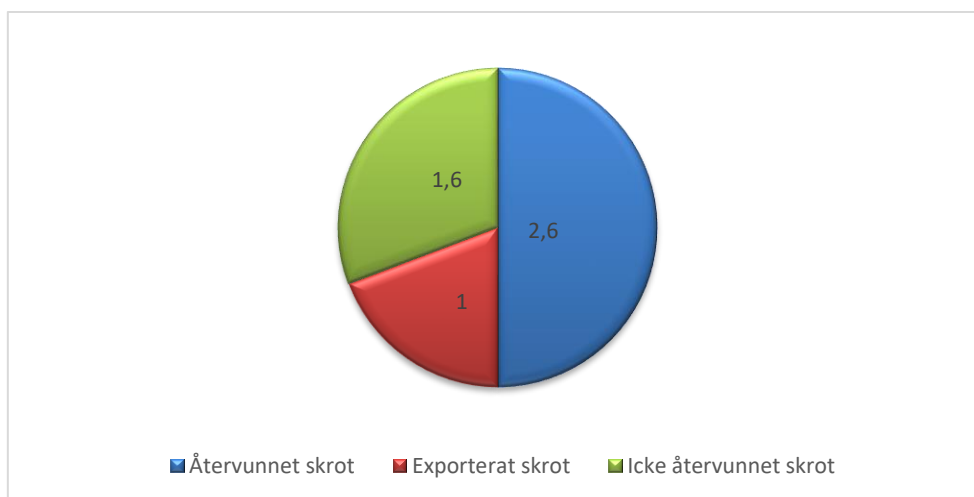
I tabell 3.2 kan man se att den enskilt största posten CO<sub>2</sub>-utsläpp kommer från *elektrolyprocessen*. En del av utsläppen kommer från förbrukning av kolanoder som används i processen. I syfte att sänka CO<sub>2</sub>-utsläppen från kolanoderna utvecklas inerta anoder som inte är gjorda av kol. Tyvärr är det så att det åtgår mer energi för att driva reaktionen då man använder inerta anoder jämfört med kolanoder. Beräkningar av Solheim, visar att det krävs minst 6,2 kWh/kg Al vid användande av kolanoder och minst

<sup>107</sup> Ref: Allwood JM, Cullen JM, Carruth MA, Cooper DR, McBrien M, Milford RL, Moynihan MC, Patel ACH, Bauer S. Sustainable materials: With both eyes open. vol. 15. Cambridge, England: UIT Cambridge Ltd; 2012.].

<sup>108</sup> European Aluminium, "Circular aluminium action plan - a strategy for achieving aluminium's full potential for circular economy by 2030," 2020.



9,2 kWh/kg Al med inerta anoder<sup>109</sup>. Detta gör att det ställs ännu högre krav på energikällan. Används inte fossilfri energi riskerar CO<sub>2</sub>-utsläppen att öka med användandet av inerta anoder. Och trenden är tyvärr sådan att under år 2000 producerades 50 % av det primära aluminiumet i världen med energi med låga eller inga CO<sub>2</sub>-utsläpp medan den samma siffra endast var 29 % 2018<sup>110</sup>.



Figur 3. 19. Antal miljoner ton gammalt aluminiumskrot som skapats 2019 i Europa och information om var det tar vägen.

### 3.2.3 Klimatneutral framställning av järn- och stålråvara

Den framtida tillgången av fossilfritt stålskrot och tackjärn kommer vara beroende av spårbarhetsmärkning av stålskrot och av hur produktionsöverskotten hanteras vid framställningen av fossilfritt stål. Inom fossilfritt stål kommer SSAB erbjuda den skrotbaserade Zero samt det järnmalmsbaserade Fossil-free™ steel, som produceras med HYBRIT®-teknologin<sup>111</sup>. Den första leveransen av fossilfritt stål till Volvo tillkännagavs under augusti 2021<sup>112</sup>. Denna var från Hybrit-projektet med Vattenfall, LKAB och SSAB, den mest framskjutna satsningen i att drastiskt minska järn- och stålindustrins utsläpp av koldioxid<sup>113</sup>. Traditionellt tillverkas stål från malm genom reduktion av malmen i en masugn, där järnet skiljs från syret med hjälp av kol. I vätgasbaserad järnproduktion används direktreduktion med vätgas för att skilja järnet från syret, där slutprodukten blir järn och vatten<sup>111</sup>. Fossilfri el används för att extrahera vätgas från vatten via elektrolys. Biprodukten från processen är vatten, inte CO<sub>2</sub>. Den resulterande produkten från HYBRIT-processen är fast järn (järnsvamp) som sedan smälts i en elektrisk ljusbågsugn. Under hela processen används endast el och bränslen som producerats fossilfritt – och resultatet är fossilfritt stål. Sveriges förutsättningar för fossilfri ståltillverkning är goda inte bara vad gäller tillgången till fossilfri energi utan

<sup>109</sup> Solheim A. Inert Anodes—the Blind Alley to Environmental Friendliness? Miner. Met. Mater. Ser., vol. Part F4, 2018, p. 1253–60. Doi: 10.1007/978-3-319-72284-9\_164.

<sup>110</sup> Saevarsdottir G, Kvande H, Welch BJ. Aluminum production in the times of climate change: the global challenge to reduce the carbon footprint and prevent carbon leakage. JOM 2020;72:296–308. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03918-6>

<sup>111</sup> Vanliga frågor: Stora frågor om fossilfritt stål - SSAB

<sup>112</sup> <https://www.nyteknik.se/energi/stalpremier-det-forsta-fossilfria-stalet-ar-har/422332>

<sup>113</sup> <https://www.jernkontoret.se/sv/vision-2050/koldioxidfri-stalproduktion/>



även tack vare den väldigt rena järnmalm som finns i Sverige och som krävs för att kunna använda den nya direktreduktionstekniken<sup>114</sup>.

För att verifiera alternativ till fossilt kol har RISE sjösatt projektet Substituering av fossilt kol med biokol i järngjutning<sup>115</sup>. I satsningen ska fossilt kol substitueras med biokol i smältprocessen och i bentonitbunden formsand i järngjuterier. Lämplig teknik för att tillsätta biokol till järnsmälta behöver utvecklas. För att fastställa rätt sammansättning och kvalitet samt andel av biokol, utförs pilot och gjuteriförsök i järnsmältor och i bentonitbunden formsand. Detta genom mikrostruktursundersökning och provning av mekaniska egenskaper hos gjutna komponenter. Vidare kommer miljöeffekten av att ersätta fossilbaserat kol med biokol vid järngjutning utredas.

Satsningen förväntas ge ökad hållbarhet genom att eliminera eller minska mängden fossilt kol i järngjuterier. Tanken är att sluta använda brutet fossilt kol för smältprocess och sandformning och i stället använda kol som redan cirkulerar på jordytan och i atmosfären. Vinsten blir att nettotillförseln av kol (och koldioxid) till atmosfären upphör och att kol som redan cirkulerar i ekosystemen används effektivare. Projektet har som mål att bidra till att minska utsläppen av växthusgaser samt till att uppnå gjuteriindustrins vision om att vara koldioxidneutral år 2035.

Initialt tillsätts biokol i järnsmältor och formmaterial i försöksgjuteriet hos RISE. I den senare delen av projektet kommer erfarenheterna att användas hos gjuterierna för att genomföra försök i industriell skala. Övriga biokolsprojekt t.ex. Envigas, Future Eco North och Cortus är fortfarande i uppskalningsskedet.

### 3.2.4 Klimatneutrala sandformar

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. Så gott som alla tillsatsämnen är baserade på fossila kolprodukter, åtminstone i vissa delar.

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 som vakuumformning kan kanske vara ett alternativ. På experimentstadiet finns nu också

<sup>114</sup> <https://www.metallerochgruvor.se/en/node/9481>

<sup>115</sup> <https://www.vinnova.se/p/refound---substituering-av-fossilt-kol-med-biokol-i-jarngjutning/>

fossilfria bindemedel som härddas med elektricitet, vilka har potential att radikalt minska industrins miljöavtryck.

Klimatavtrycket kan minskas genom att minska mängden använda produkter som bidrar till klimatpåverkande gaser i hanteringen av formmaterial. Mängden organiska bindemedel och tillsatser kan minskas genom att gå över till oorganiska bindemedel som vattenglas eller använda endast ett blacklager.

**Bindemedel.** Under bindningsprocessen i sand reagerar bindemedlet med hjälp av katalysator som kan vara olika gaser eller värme och producera en annan kemikalier. Under gjutning bryts dessa kemikalier ner och kan producera oorganiska och organiska (t.ex. CO, CO<sub>2</sub>, aminer, VOC) föreningar. Genereringen av dessa produkter (huvudsakligen VOC) fortsätter vidare under nedsvälningen och avformningen. Dessa produkter kan också orsaka luktproblem. Alla dessa bindemedel som används är fossilbaserade polymerer. Det är svårt att jämföra vilket som är mer miljövänligt på grund av brist på producentinformation om miljöavtryck från tillverkningen av bindemedlen. Många projekt som har gjorts tidigare syftar till att mäta effekten av dessa bindemedel på gjuterimiljön<sup>116</sup>. Dessa projekt fokuserar mest på mängd och typ av VOC som produceras under gjutning och inte på den totala klimatpåverkan.

I ett europeiskt projekt har bentonitbunden sand utan tillsats av kol, men tillsats av grafit, modifierad bentonit och zeolit testats. Gjutting som produceras i denna kolfria bentonitbundna sand visar inga abnormiteter. Mer formsand blir kvar på gjutytan och returformsanden har fler klumpar. Beroende på förhållandena under utskakning och gjutting med kulblästring kan tekniken implementeras eller delvis implementeras. En minskning av farliga utsläpp med 50 % eller mer är möjlig.<sup>117</sup>

Refcoat, ett indiskt företag använder nanoteknik för att tillhandahålla en produkt som kan ersätta kolet i råsand. Tidigare har de utvecklat produkter som Cerakarb, OGSS och Envilube, som de hävdar att de har bemyndigat gjuterier över hela Indien att uppnå precisionskontroll på råsand. Deras nya produkt Nanokarb är patenterad som keramiskt nanopartikelimpregnerat kol för användning i råsand, och den kan användas tillsammans med den befintliga koltillsatsen eller som ersättning för nuvarande koltillsats. Baserat på deras forskning om Nanokarb kan man minska mängden bentonit i råsand med 10% och minska CO<sub>2</sub>-utsläppen. Det kan också förbättra ytkvaliteten på gjutgodset och minska risken för sandrelaterade defekter.<sup>118</sup>

I projektet Refound som pågår i RISE undersöktes att ersätta stenkol i råsand med biokol för att minska det totala CO<sub>2</sub>-avtrycket från gjuterier. Deras resultat visar att formsand som producerats med biokol har liknande mekaniska egenskaper och formningsegenskaper som formsand som producerats med kommersiellt fossilbaserat kol<sup>119</sup>.

VOC står för volatile organic compounds eller översatt till svenska flyktiga organiska föreningar. Uttryckt med andra ord blir det ungefär: organiska ämnen (dvs sådana som innehåller organiskt kol) som avdunstar vid normalt tryck och temperatur. VOC är en

<sup>116</sup> Ahlqvist, K. and M. Cannerborg, Lukt och VOC från gjutprocesser. 2008: Swerea SWECAST.

<sup>117</sup> (GO-APIC, 2004)

<sup>118</sup> L Larsby, Beijer Industri – starkare tillsammans, Gjuteriet nr 2, 2023.

<sup>119</sup> <https://www.vinnova.se/p/refound---substituering-av-fossilt-kol-med-biokol-i-jarngjutting/>

stor grupp ämnen som bland annat innehåller aromatiska och halogenerade kolväten. Ämnena har vitt skilda egenskaper. Flera VOC är cancerframkallande, skadar arvsmassan, ger nervskador och/eller orsakar allergier. Bensen, butadien, eten och propen är exempel på ämnen som är cancerogena. VOC bidrar till marknära ozon- och smogbildning. Aromatiska VOC har kolatomer i ringstruktur. Aromatiska VOC reagerar lättare än andra VOC med andra ämnen och är därför mer skadliga för hälsa och miljö. Exempel på ämnen är toluen, xylen och styren. Halogenerade VOC innehåller en eller flera halogener (fluor, klor, brom, jod). Exempel på ämnen är metylenklorid, trikloretylen, CFC och freoner. Andra vanliga exempel på VOC är etanol, formaldehyd, aceton och etylacetat.

Att erhålla en tydlig definition av VOC är dock inte lätt. En annan definition av VOC är att: "VOC är organiska lösningar vars ångtryck är större än 0,07 kPa vid rumstemperatur och vars kokpunkt vid atmosfärstryck är upp till omkring 260 °C, vilket innebär de flesta organiska föreningar med färre än 12 kolatomer." Det kan konstateras att definitionerna av VOC skiljer sig något beroende på vad som varit syftet med direktiv/lagstiftning. Eftersom det aldrig har behövts rapportera mängden CO<sub>2</sub> som produceras under gjutningen till myndigheter så har det aldrig mätts i de tidigare forskningsprojekten. Dessutom består det mesta av bindemedelssystemen som används av fossilbaserade polymerer som producerar CO<sub>2</sub> under avgjutningen.

**Åtgärder för att minska mängden klimatskadliga gaser.** I denna del av projektet har vi intervjuat representanter för två av de största leverantörer av bindemedel och tillsatser i Sverige<sup>120</sup>.

Bindemedetillverkarna arbetar ständigt med att ta fram mer miljövänliga bindemedel. Utvecklingen av miljöanpassade bindemedel har fokuserats på att avlägsna lösningsmedlen från bindemedlen och ersätta dessa med vatten. På härdningssidan försöker man använda mindre miljöbelastande ämnen och reducera bindemedelsförbrukningen vilket också innebär av användning av mindre fossilbaserat material. Men en parameter som hindrar gjuterierna att använda dessa mer miljövänliga bindemedel är kostnaden.

Idag kan bindemedels- och tillsatstillverkarna inte tillhandahålla specifika uppgifter om en produkt med tanke på hur mycket CO<sub>2</sub> som släpps ut till miljön under produktion och användning.

Enligt vår kunskap finns inte ersättning för de fossilbaserade materialen med biobaserade material i deras forskningsplan ännu. Men det finns några tillverkare som erbjuder några nya ersättningsmaterial till exempel sot i den råsand som inte innehåller fossilbaserat material.

En lösning för att minska mängden CO<sub>2</sub>-utsläpp i sandsystem i gjuterier är att eliminera eller minska mängden organiska bindemedel och tillsatser. Skälet till att använda organiskt bindemedelssystem i gjuteribranschen är dels stora krav på gjutgodskvaliteten, dels önskemålet om en hög produktivitet. Nedan diskuterar vi några alternativ till organiska bindemedel och tillsatser.

---

<sup>120</sup> Broberg, B., Email conversation, M. Saeidpour, Editor. 2021 samt Nikka, M., Möte, M. Saeidpour, Editor. 2021.

**Vattenglas.** Det vanligaste oorganiska bindemedlet för sand är natriumsilikat (vattenglas). Natriumsilikat kan polymerisera för att bilda en silikatgel genom att använda en lämplig syra som en katalysator, antingen direkt som CO<sub>2</sub>-gas, eller indirekt med organisk flytande ester som hydrolyserar och gör kiseldioxiden till en gelform. Olika processer baserade på natriumsilikat som används i gjuterier klassificeras i 3 grupper:

1. Natriumsilikat + CO<sub>2</sub>-gas (katalysator): vissa gjuterier använder detta system för kärntillverkning, men den initiala styrkan är låg och kärnorna är känsliga för fukten och kan förlora sin styrka medan de förvaras i hyllan.
2. Natriumsilikat + flytande ester (katalysator): detta system används för tillverkning av formar.
3. Natriumsilikat + värme: med denna metod kan gjuterier producera kärnor med så kallad hot box-metod. I denna metod blandas bindemedlet med sand och katalysator och skjuts sedan in i uppvärmd kärnlåda. Kärnlådan måste förvärmas till 150-220 °C. Nackdelarna med denna metod är att kärnboxen behöver tillverkas i stål och värmas upp vilket drar energi.

Studier som har gjorts på modifierade vattenglasbindemedel visar att gelstrukturen hos kiseldioxid samt bindnings- och knockoutegenskaper kan förändras i närvaro av olika tillsatser (modifierare). Till exempel katjonmodifierare som K<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, anjonmodifierare som BO<sub>3</sub><sup>+3</sup>, AlO<sub>3</sub><sup>+3</sup>, PO<sub>5</sub><sup>+3</sup> och organiska modifieringsmedel eller polymermodifierare<sup>121</sup>.

I det europeiska projektet grönt gjuteriliv utvecklar de också ett nytt oorganiskt bindemedelssystem baserat på natriumsilikat (vattenglas) eller aluminiumsilikat<sup>122</sup>.

De tillgängliga kommersiella natriumsilikatbindemedlen kan inte konkurrera med oorganiska bindemedel i de flesta fall på grund av lägre initial styrka. Även om det är vanligare att använda natriumsilikat vid aluminiumgjutning, används det inte så mycket i järn- och stålgjuterier.

**Geopolymerer.** Geopolymererna innehåller kisel, aluminium och något alkaliskt element, såsom natrium eller kalium. I naturen förekommer sådana material och kallas zeoliter. Geopolymeren skapas i reaktionen mellan det kiselhaltiga materialet och aluminiumhaltigt material (flygaska, slagg) och en alkalisk aktivator. Geopolymererna med ett högt molförhållande av SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ibland kallade geopolymerhartser, är flytande ämnen med liknande egenskaper som kolloidala lösningar av alkalisilikater – vattenglas. Denna typ av bindemedel har aldrig använts i Sverige. Det främsta skälet som begränsade användningen av dessa typer av bindemedel är behovet av att använda högalkalilösningar som aktivator.

Geopolymerer som bindemedel för sand i gjuterier har utvecklats i Tjeckien med namnet GEOPOL<sup>123</sup>. Tekniken används för närvarande i gjuterierna för tre grundläggande produktionsprocesser/teknologier:

1. för självhärdande formblandningar,
2. sandblandningar härdade av gasformig koldioxid och
3. hotboxteknologin med varmluftshärdning.

<sup>121</sup> Zhu and Chun-xi. Recent advances in waterglass sand technologies. 2007.

<sup>122</sup> <https://greenfoundry-life.com/>

<sup>123</sup> Nikka, M., *Möte*, M. Saeidpour, Editor. 2021.

**Tillsatsämnen i råsand.** I detta europeiska projekt<sup>124</sup> visades gjuteriförsök med bentonitbunden sand utan tillsats av kol, men med tillsats av grafit, sliterad bentonit och zeolit; Gjutning som produceras i denna kolfria bentonitbundna sand visar inga abnormiteter. Mer formsand blir kvar på gjutytan och returformsanden har fler klumpar. Beroende på förhållandena under utskakning och gjutning med kulblästring kan tekniken implementeras eller delvis implementeras. En minskning av farliga utsläpp med 50 % eller mer är möjlig.

**Biobaserade polymerer.** Det är möjligt att syntetisera hartserna som furanharts med biomaterial. Dessa biobaserade material har troligen aldrig testats i gjuterier.

## 3.3 Cirkulära materialflöden

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.

### 3.3.1 Cirkulära flöden av aluminium, järn och stål

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 stallegeringar, och olika slags icke-metalliska, till exempel oxidiska eller sulfidiska, inneslutningar, som slagg i stålsmede. Primär metall, det vill säga metall som tillverkats från malmråvara, innehåller oftast lägre halter 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. Önskade ämnen kan också tillföras metallen under senare steg i tillverkningsprocessen.

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 sällan 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

<sup>124</sup> <https://cordis.europa.eu/article/id/82218-new-age-castings-for-the-iron-industry>. 2004.

öka återanvändningen i kritiska applikationer där det idag enbart används primära legeringar.

### **Återanvändning av högvärdiga metaller från industriavfall och biprodukter.**

Idag skickas mycket av de spånor som producerats till externa anläggningar där spånorna smälts om och renas för att sedan transporteras tillbaka till gjuteriet. Därför har RISE införlivat satsningen HANS med mål är att ge svenska gjuterier förutsättningar att producera likvärdiga eller bättre produkter med ett signifikant minskat miljöavtryck. Detta genom att ta fram metoder för att återanvända de restprodukter som idag går på deponi och lokalt förädla de restprodukter som idag behöver transporteras långa sträckor. Syftet är att skapa ett cirkulärt materialflöde för svenska gjuterier, där de metallinnehållande restprodukterna återanvänds lokalt med minimala transportsträckor<sup>125,126</sup>.

Satsningen förväntas ge ökad hållbarhet genom förbättrade förutsättningar för att återcirkulera material, bibehållit förädlingsvärde och kortare värdekedjor. Samt förbättrad konkurrenskraft genom minskade kostnader för deponi och restproduktshantering tillsammans med billigare och större tillgång till skrot och återgångsmaterial. Vidare kommer mer resilienta värdekedjor att uppstå genom att mer skrot och annat högvärdigt material stannar kvar i Sverige.

Upplägget tar hänsyn till att den tekniska mognadsgraden för att ta hand om restprodukter skiljer sig både mellan olika materialtyper och mellan olika företag. Därför kommer företagen att arbeta med sina egna material, processer och utmaningar men med det gemensamma målet att öka användningen av restprodukter i sina processer. Forskningsutförarna RISE och Swerim stöttar företagen med teori, praktiska försök och utvärderingar

**Plasmabehandling av stoft.** EAF-damm klassificeras som farligt avfall med en uppdragningskostnad på 1 miljard dollar på grund av dess höga miljöpåverkan. Därför syftar en ny patenterad teknik till att återvinna högvärdiga metaller från industriavfall och biprodukter. Återvinnings- och valoriseringssystemen är baserade på en högeffektiv metallurgisk plasmauppvärmd ugn, varigenom pyro-metallurgiska processer med intensiv energiförbrukning minskar koldioxidavtrycket och miljöpåverkan. Processen erbjuder återvinning av värdefulla metaller (ZnO 80%) och lämnar metaller och slagg av hög metallurgisk kvalitet som är lämpliga för cementanläggningar.<sup>127</sup>

## 3.3.2 Cirkulära flöden av sand

Gjuterier i Sverige förbrukar 200 000 ton sand varje år. Återvinning av denna sand är en viktig punkt att tänka på som en del av dess miljöprestanda. Idag kan många gjuterier återvinna sanden inom gjuterisandsystem med 70-80 %. Den del av sanden som inte kan återvinna brukar hamna på deponi. Det finns olika metoder för att återvinna sanden. De viktigaste återvinningsteknikerna är:

<sup>125</sup> <https://e-tidning.gjuteriet.se/p/tidningen-gjuteriet/2023-02-27/r/10/18-19/3077/964873>

<sup>126</sup> <https://www.vinnova.se/p/hallbar-gjutning-genom-alternativt-nyttiggörande-av-spanor-och-restprodukter-hans/>

<sup>127</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=qQF7ULG1yfo>, <https://www.digimet.es/en/tecnologia/>

- Mekanisk behandling:
  1. lågenergimetod: friktion, slag (för kallhärdande hartser)
  2. högenergimetod: pneumatisk skavning, slipning, centrifugalfriktion
- Termisk behandling, vanligtvis i en fluidiserad bädd
- Kemiska metoder

Mekanisk återvinning använder olika typer av krossar för att ta bort bindemedel från sandkorn. Den kinetiska energin tillhandahålls av en komprimerad luftström. Detta resulterar i en samtidig avdammning. I Sverige fram till nyligen har intresset koncentrerat sig enbart på mekaniska lösningar med hänvisning till att termisk sandåtervinning blir för dyr.

Termisk återvinning använder värme för att förbränna bindemedel och föroreningar. Alla termiska processer behöver ett första mekaniskt steg för att få sanden till rätt kornstorlek och för att sälla bort eventuella metalliska föroreningar. Uppvärmningen av sanden åstadkoms vanligtvis med hjälp av en fluidbädd, som arbetar vid temperaturer oftast mellan 700 och 800 °C. De uppkommande gaserna förbränns för att eliminera kolmonoxid och eventuella VOC som kan finnas. Om temperaturen på förbränningsgaserna inte är tillräckligt hög eller om den tid under vilken gaserna har en hög temperatur inte räcker till, tillsätts en separat efterbränningsanordning. I samtliga fall kan utsläppen anses vara obetydliga. Termisk återvinning har i många länder befunnits vara en mycket intressant metod ur flera aspekter som t.ex. att kvaliteten på den återvunna sanden i många fall visat sig vara överlägsen till nysandens, att den totala miljöbelastningen minskar och att ekonomin i flera fall redan är intressant.

Kemisk regenerering innebär att bindemedel avlägsnas genom interpartikelslipning. Denna teknik gäller endast för råsand och vattenglasbunden sand och är inte allmänt använd.

Den mest lämpliga metoden att använda för återvinning beror på typ av sandbindemedel. Om gjuterier bara använder en typ av bindemedel i sitt sandsystem eller mängden av den andra typen av bindemedel som används för att tillverka kärnor är liten, har gjuteriet ett så kallat monosandflöde. Annars kallas det blandat sandflöde. De vanligaste monosandflödena är kärnsanden i råsandsgjuterier. De skjuls lätt från råsandens. Sand i gjuterierna med en typ av organiskt bindemedel som furanharts och uretan cold-box är också monosand.

I monosandflödesgjuterier kan sand bunden med kallhärdande hartser återvinnas med mekaniska återvinningstekniker. Sand bunden med gashärdade och värmehärdade hartser behöver mer intensiv behandling för att avlägsna bindemedelsskiktet. Den termiska regenereringen kan användas för att bränna alla bindemedel. Svårare typer av sandåtervinning inträffar när formar tillverkade med bindemedel av typ alkalisk resol med esterhärdare har använts. När form- och kärnmassa med ett bindemedel av denna typ ska återvinnas termiskt, krävs att någon typ av additiv, som fungerar som jonbytare, tillsätts innan den termiska behandlingen påbörjas. I övrigt är återvinningsanläggningen i stort sett identisk med ovanstående. Vattenglasbunden sand kan endast återvinnas mekaniskt.

Blandsand innehåller vanligtvis bentonitbunden sand och kemiskt bunden sand som kommer från kärnor. I detta fall återvinner gjuterier sand mekaniskt till upp till 70 % för

att användas i råsandsystem, och de köper ny sand för kemiskt bundna kärnor. Den sanden har inte en bra kvalitet att använda vid kärntillverkning. Det är möjligt att återvinna den blandade sanden till en kvalitet som liknar, eller är bättre än, den hos ny sand med hjälp av termisk återvinningsteknik. Gjuterier som använder denna typ av återvinningsteknik har i vissa fall praktiskt taget eliminerat behovet av ny sand.

Möjligheten att rena använd bentonitbunden formsand till sådan renhetsgrad att sanden kan fungera till tillverkning av kärnor studerades i projektet Från råsand till kärnsand<sup>128</sup>. I detta projekt testades och utvärderades befintliga tekniker för att återvinna sanden under den tiden. Resultaten visade att man med både mekaniska och termiska återvinningstekniker kan få sand som lämpar sig för kärntillverkning. Gjutgods som tillverkades med kärnor från de återvunna sanderna upplevdes ha något sämre ytkvalitet med skilde sig inte markant från gjutgods som tillverkades med ordinarie kärnor. Inget av gjuterierna som deltog i denna studie använder idag den termiska genereringsmetoden i sin produktion eftersom

- Kostnaden och energin som behövs för att återvinna sanden är hög
- Vissa bindemedel som resolhartser kan lämna oorganiska saltrester på kornytan. När temperaturen stiger över smältpunkten sprids dessa ut över sandytan och kan orsaka sintring av sandkornen vid avkyllning.
- Termisk återvinning av hartser orsakar utsläpp av VOC. Avgassystemets temperatur måste vara tillräckligt hög för att förhindra detta. Om utsläppet är högt kan en våt rökgasrening behövas.
- Nuförtiden hävdar företagen att de har mer energieffektiva system och problemet med VOC kan minskas med hjälp av högeffektiva Katalysatorer med låg energiförbrukning. En sammanställning om tillgängliga maskiner för regenerering av gjutsand har publicerats i rapporten 2002<sup>129</sup>.

### 3.3.3 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, d.v.s. användningen av 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.

Många restprodukter som genereras i gjuterierna kan potentiellt vara lämpliga som råmaterial i andra branscher. För att detta ska kunna realiseras, krävs att restprodukterna (sand, slagg med mera) från gjuterierna kartläggs vad gäller mängder

<sup>128</sup> Gotthardsson, U., Från råsand till kärnsand. 2012, Swerea SWECAST.

<sup>129</sup> Österberg, L., Termisk återvinning av gjuterisand, R.S. 130, Editor. 2002, Svenskt Gastekniskt Center.



och typer. Diagrammet i Figur 3.20 visar en sammanställning av de restprodukter som genereras i gjuteriindustrin med data från 1998<sup>130</sup>. En beskrivning av restprodukternas sammansättning, problem och teknik för omhändertagande finns i Tabell 3.3 som är hämtad från samma rapport.

Tabell 3.3. Beskrivning av restprodukter från gjuteriindustrin<sup>131</sup>

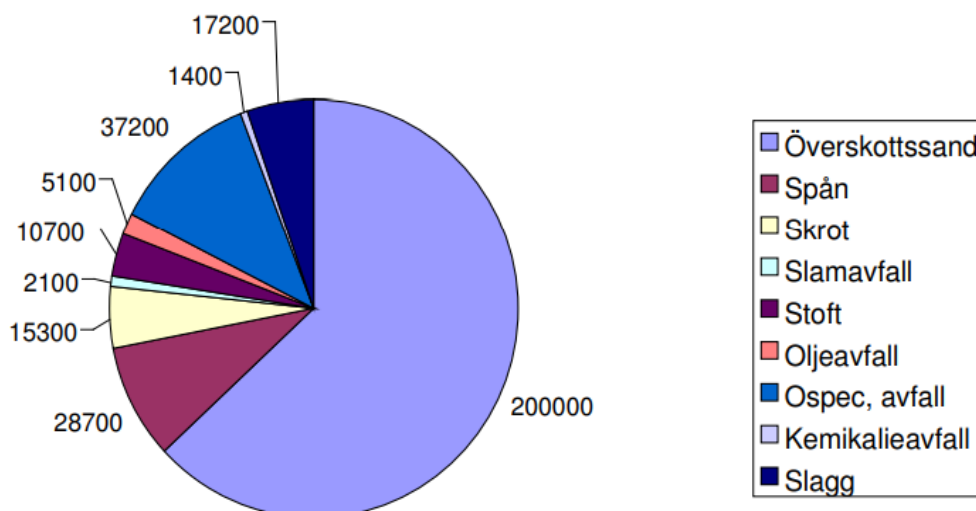
Avfallslag/ Mängd	Innehåll	Problem	Teknik
<b>Överskotts-sand</b> 200 000 ton/år	Sand, bindemedel ev. sot. Bindemedel: bentonit, org. produkter, vat- tenglas mm	Kan innehålla kemiska föroreningar och annat skräp. I dag undantaget från deponiskatt.	Deponering. Försök pågår med användning i , cement, asfalt, vägbyggen, kompost, betong, tegel, mineralull, tätskikt på deponi
<b>Spån</b> 28 700 ton/år	Järn, stål, aluminium mm Från skärande bearbetning och slipning.	Förorenat med skärvätskor.	Återvinning, omsmältning.
<b>Skrot</b> 15 300 ton/år	T. ex maskindelar, stålband, plåtförpackningar, målat metallgods, oljeinnehållande delar.	Förorenat med t. ex olja, färgrester och tungmetaller.	Återvinning, omsmältning.
<b>Slagg</b> 17 200 ton/år	Järn, stål, aluminium		Återvinning, deponering. Försök pågår med användning som dräneringsmaterial.
<b>Stoft</b> 10 700 ton/år	Smältstof, slipstof, blästerstof, sandstof.	Tungmetaller.	Deponering. Metallåtervinning av slipstof.
<b>Oljeavfall</b> 5 100 ton/år	Från oljebyte mm.		Hanteras som farligt avfall.
<b>Slam avfall</b> 2 100 ton/år	Trumlingsslam, ffa aluminium Slam från våtskrubber	Trumlingsslam innehåller rester av chips och compound. Slam från våtskrubber kan innehålla tungmetaller Vatteninnehållet problem vid deponering..	Deponering alt. farligt avfall
<b>Kemikalieavfall</b> 1 400 ton/år	Diverse		Farligt avfall
<b>Ospec. Avfall</b> 37 200 ton/år	Diverse bl. a. trä, plast och papper. Även sand och slagg i vissa fall.	Dålig sortering på vissa företag.	Möjligt sortera ut brännbar fraktion och fraktioner för återvinning.

En kreativ användning av restprodukter kan leda till effektiva affärsmodeller för nya, attraktiva produkter med hittills oprövade användningsområden.<sup>132</sup>

<sup>130</sup> Nayström, P., C. Stålhandske, and C. Viklund-White, Branschöverskridade användning av restprodukter, in 010905. 2001, Svenska Gjuteriföreningen

<sup>131</sup> Nayström, P., C. Stålhandske, and C. Viklund-White, Branschöverskridade användning av restprodukter, in 010905. 2001, Svenska Gjuteriföreningen

<sup>132</sup> Björn Haase, Från restprodukt till produkt, föredrag vid CIC:s strategidagar i Västerås 2022-10-19.



Figur 3.20. Avfall från gjuteriindustrin<sup>133</sup>

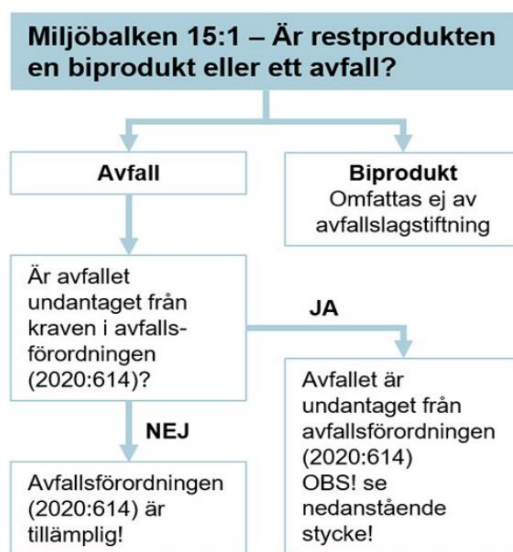
En viktig del för att kunna använda restprodukter är att bestämma om materialet är ett avfall eller en biprodukt. Med avfall avses varje föremål eller ämne som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med. Detta är avgörande för vilka bestämmelser som gäller för materialet. För biprodukter gäller inte avfallslagstiftningen utan användningen och hanteringen bestäms av andra bestämmelser i produktlagstiftning. För att kunna utvärdera om användningen är godtagbar behöver en bedömning göras i det enskilda fallet.

För att avgöra om restprodukten är ett avfall eller biprodukt används fyra kriterier enligt Miljöbalken 15 kap 1 § (Figur 3.21). Kriterierna för när ett ämne eller föremål ska anses vara en biprodukt i stället för avfall, utgår ifrån produktionsprocess, hur ämne eller föremål kan användas samt om användningen är godtagbart utifrån hälsa och miljö. Karakterisering och klassificering utgår från EU-lagstiftning och EU-direktiv som har implementerats i svensk lag genom nationella förordningar, föreskrifter och handböcker från Naturvårdsverket. Om användningen är godtagbar kan tillsynsmyndigheten fatta ett beslut om att avfallet kan klassas som biprodukt. Ett ämne eller föremål ska anses vara en biprodukt i stället för avfall, om ämnet eller föremålet<sup>134</sup>

1. har uppkommit i en produktionsprocess där huvudsyftet inte är att producera ämnet eller föremålet,
2. kan användas direkt utan någon annan bearbetning än den bearbetning som är normal i industriell praxis, och
3. kommer att fortsätta att användas på ett sätt som är hälso- och miljömässigt godtagbart och som inte strider mot lag eller annan författning.

<sup>133</sup> Nayström, P., C. Stålhandske, and C. Viklund-White, Branschöverskridade användning av restprodukter, in 010905. 2001, Svenska Gjuteriföreningen

<sup>134</sup> Avfall eller biprodukt, <https://www.naturvardsverket.se>



Figur 3.21: Process för att bestämma om restprodukt är avfall eller biprodukt<sup>135</sup>

De undantag som finns från avfallsförordningens tillämpningsområde (11 §) innebär enbart att man är undantagen från reglerna i avfallsförordningen. Materialet klassas trots det fortfarande som avfall enligt 15 kap 1 § miljöbalken. Andra regelverk som omfattar avfall gäller fortfarande. Exempelvis omfattas man av bestämmelserna om avfall i miljöprövningsförordning (2013:251) och förordning (2013:253) om förbränning av avfall.

**Alternativ till deponi av gjuterisand.** Ovan konstaterades att med dagens metoder kan många gjuterier återvinna sanden inom gjuterisandsystem med 70-80 %. Den del av sanden som inte kan återvinna brukar hamna på deponi.

Eftersom gjuterisand har nästan alla egenskaper hos naturlig eller tillverkad sand, kan den normalt användas som Sandersättning. Framgången med att använda gjuterisand beror på ekonomin. De viktigaste frågorna är kostnader, tillgången på gjuterisanden och tillgången på liknande naturlig ballast i regionen. Om dessa problem kan lösas framgångsrikt kommer konkurrenskraften för gjuterisand att öka för gjuterierna och för slutanvändarna av sanden. Detta gäller för alla återvunna material. Gjuterisand behöver ibland bearbetas, siktas och krossas för att minska storleken innan de används i andra industrier. Detta är idag inte möjligt att göra i många gjuterier.

Många studier har genomförts för att karakterisera beståndsdelarna i gjuterisand. Dessa projekt syftade mest till att klassificera gjuterisanden som ett giftfritt avfall för att kunna deponera den. Den metalltyp som hålls i formen kan avsevärt påverka nivåerna av metallbeståndsdelar. Gjuterisand från mässings- eller bronsgjuterier kan innehålla höga koncentrationer av metaller inklusive kadmium, bly, koppar, nickel och zink. Därför, till skillnad från sand från järn- och aluminiumgjuterier, är dessa sander vanligtvis inte väl lämpade, och de är inte heller avsedda för fördelaktig användning i de flesta

<sup>135</sup> Bild från [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

applikationer. Gjuterisand från aluminium-, järn- och stålgyterier visar att den totala metallkoncentrationen är låg och att den liknar nivåerna i jordbruksjord<sup>136</sup>.

En av de största utmaningarna är att överskottssand i vissa fall innehåller bensenrester, PAH och fenoliska ämnen. Enligt Gjuteriföreningens nuvarande bedömning är bensen det ämne som är svårast att komma tillrätta med för att externt kunna återvinna överskottssanden. Bensen är generellt ett oönskat ämne eftersom den är cancerogen och vissa länder tillåter endast mycket låga halter av bensen i exempelvis markkonstruktioner. Det finns olika sätt att reducera bensenhalten i överskottssand till nivåer under 0,01 mg/kg om den skall användas till mark och byggmaterial. Generella riktvärden enligt Naturvårdsverket (NV)<sup>12</sup> ligger på 0,012 mg/kgTS vid känslig markanvändning (KM) respektive 0,04 mg/kgTS vid mindre känslig markanvändning (MKM)<sup>137</sup>.

**Gjuterisand som bäddmaterial till förbränning i fluidbädd.** Gjuterisand kan användas i fluidbäddar som bäddmaterial. Möjligheten att använda sand beror på partikelstorleksfördelningen på sanden som värmeverket använt. Man bör ta hänsyn till att den svenska gjuterisanden är en blandning av kvarts och fältspat. En nackdel med kvarts-fältspatssand jämfört med ren kvartssand är den lägre sintringstemperaturen från 1250°C vilket innebär större risk för agglomerering. Resultaten som erhållits från ett projekt med syftet att använda gjuterisand som bäddmaterial indikerar att gjuterisand kan reducera överhettningsskorrosion i viss mån, medan bäddens sintringstemperatur tenderar att sjunka något. Labbförsöken visar att de flesta gjuterisanderna fungerar bra som bäddmaterial, möjligtvis undantaget en furansand som både sänkte sintringstemperaturen och ökade beläggningens bildning<sup>138</sup>.

**Återanvändning av sand i mineralull.** I detta projekt<sup>139</sup> genomfördes försök med att tillverka mineralull från råvaror med inblandning av överskottssand från gyterier och skänkslagg. Sanden som användes var vattenglasbunden kvartssand. Försöket visar att det är möjligt att använda mindre mängder av restmaterial under förutsättning att dessa har jämn sammansättning samt att logistiken är realistisk för att kunna hålla kostnaderna låga för dessa material.

**Återanvändning av sand i betong.** I ett projekt som involverade NCC AB, Svenska Gjuteriföreningen och SKF undersöktes att använda resol- och esterinneållande sand vid tillverkning av betong. Två typer av husbyggnadsbetong och markbetong studerades i detta projekt. Denna studie visar att det är möjligt att blanda markbetong med gjuterisand. En positiv effekt erhålls av de homogent runda kornen vad gäller betongens arbetbarhet. Detta är egenskaper som man speciellt kräver i vibreringsfri betong och betong med helkrossad ballast. Marknaden för gjuterisand är begränsad av lokaliseringen, eftersom produkten kostnadsmissigt inte klarar en längre transport. En förutsättning för ett lyckat resultat är att gyteriet kan leverera en sand fri från klumpar

<sup>136</sup> Benson, C.H. and S. Bradshaw, USER GUIDELINE FOR FOUNDRY SAND IN GREEN INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION. 2011, Recycled Materials Resource Center, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706 USA

<sup>137</sup> Nils Lindskog, H.L., Reducering av bensenhalten i överskottssand från gyterier. 2018, IVL Svenska Miljöinstitutet.

<sup>138</sup> Niklasson, F., et al., Gjuterisand i fluideserade bäddpannor vid förbränning av RT-flis. 2015.

<sup>139</sup> Nayström, P., C. Stålhandske, and C. Viklund-White, Branschöverskridande användning av restprodukter, in 010905. 2001, Svenska Gjuteriföreningen.

och metallrester. För att säkerställa en jämn hög kvalitet kan det krävas någon form av siktning ev. i kombination med magnetseparering<sup>140</sup>.

I ett annat projekt var syftet att utreda hur olika typer av vanligt förekommande överskottssand från gjuterier kan fungera som finfraktion i betongballast. Projektet har varit delat i två huvuddelar. I en materialteknisk del har gjuterisand fått ersätta finfraktionen i betongens ballastmaterial. Provkroppar har gjutits och deras krympning och hållfasthet utvärderats. Här visar resultaten att betong som innehåller kemiskt bunden gjuterisand (furan, vattenglas, fenolresoler) har egenskaper som i stort liknar betong blandad med traditionellt ballastmaterial. Betong som tillverkats med inblandning av bentonitbunden formsand (råsand) får egenskaper som enkelt kan beskrivas som sämre. I en miljöteknisk del har jämförelser med livscykelanalys- och livskostnadsanalysberäkningar (LCA resp LCC) för alternativen ”deponering av överskottssanden” eller ”användning av överskottssanden i betong” utförts. LCA-beräkningarna visar att det normalt är bättre, ur miljösynpunkt, att använda sanden i betong. LCC-beräkningarna visar att både gjuterier och betongtillverkare kan göra ekonomiska vinster när sanden används i betong<sup>141</sup>.

**Använda gjuterisand i kompostering och jordtillverkning.** Möjligheten att använda olika typer av gjuterisander i kompostering och jordtillverkning har studerats i projekt KASKAD<sup>142</sup>. Vid tillverkning av jord används betydande mängder jungfrulig sand som dränerings-/strukturmaterial. Projektet har visat att överskottssand från gjuterier är väl lämpad som ersättare av jungfrulig sand vid kompostering och jordtillverkning.

I projektet har olika komposteringsprocesser studerats i de nordiska länderna. Resultatet visar att gjuterisand innehåller låga halter av metalliska föroreningar. Eftersom det inte finns någon möjlighet att reducera metallhalter genom komposteringsprocesser bör en metallanalys ingå vid kvalitetsbestämningen av gjuterisand som ska användas i kompostering/jordtillverkning. Komposteringen har en positiv effekt på de organiska föroreningarna. Bensenhalten reducerades kraftigt, i storleksordningen 50 %. Reduktionen av polyaromatiska kolväten (PAH) låg mellan 10-70 %. Även fenol reducerades betydligt i flera av komposterna. Detta kunde dock inte konstateras i överskottssand innehållande Cold Box-kärnsand. En teori är att fenolerna i Cold Box-kärnsanden är bundna i bindemedelsfilmen och därmed svårtillgängliga för mikroorganismerna. Inblandning av stoft i överskottssanden försämrade inte kompostens kvalitet. De genomförda försöken har visat att gjuterisanderna är väl lämpade att användas som ersättning av ca 20 - 80 % av den jungfruliga sand som idag används vid jordtillverkningen. Korrekt användning av materialen resulterar i en slutprodukt, jord, som väl uppfyller de uppsatta kvalitetskriterierna. De gjuterisander som visat sig lämpliga att använda i kompostering/jordtillverkning och som även uppfyller nationella krav är bentonitbunden sand, resol-esterbunden sand och furansand.

Idén att kompostera gjuterisand har också testats som en del av det europeiska projektet Green foundry life<sup>143</sup>. Pilotförsöken i detta projekt resulterade i rengöring av 960 ton

<sup>140</sup> Karlsson, M. and P. Nayström, Gjuterisand i fabriksbetong.

<sup>141</sup> Gotthardsson, U., L. Brander, and K. Fransson, Gjuterisand i betongballast. 2015.

<sup>142</sup> Gustafsson, I. and P. Nayström, KASKAD, Kaskadrecirkulering av restprodukter genom kompostering. 2005, Svenska Gjuteriföreningens Service AB.

<sup>143</sup><https://greenfoundry-life.com/>.

gjuterisandkomposteringsmaterial under perioden 2015-2017. Metoden visade sig vara minst 95 % effektiv vid behandling av farliga organiska föreningar (såsom fenoler, BTEX, fluor och PAH). Det visade sig att kompostering är särskilt effektivt för att rengöra överskott av gjutsand som har en hög koncentration av organiska ämnen. Metoden är dock inte lämplig för alla sandtyper. Till exempel kan avfallssand och damm inklusive tungmetaller inte rengöras genom sådan kompostering. Därför måste överskott av gjutsand och dammprover alltid analyseras noggrant för att bestämma lämplig behandlingsmetod.

**Använda gjuterisand i asfalt.** Gjuterisand som ballast i asfalt har studerats i flera projekt<sup>144, 145</sup>. Resultaten visar att användningen av gjuterisand inte minskar slitstyrkan hos asfalt och det är möjligt att lägga till upp till 8 % gjutsand till ballast i asfalten.

**Alternativ till deponi av slagg.** Gjuterier ger upphov till en restprodukt i form av slagg. Slaggen är idag oanvändbar och medför enbart kostnader för kvittblivning för gjuterierna. Kvittblivningen består ofta i deponi, vilket är oönskat ur ett hållbarhetsperspektiv eftersom slaggen till stora delar kan ha bildats av jungfruliga råvaror (legeringsämnen). I ett projekt<sup>146</sup> har visats att slaggen kan bearbetas och användas som syrebärande bäddmaterial i fluidbäddanläggningar för avfallsförbränning. I fluidbäddförbränning används oftast bearbetad natursand som bäddmaterial men på senare år har syrebärande bäddmaterial testats och även börjat användas kommersiellt. Det syrebärande bäddmaterialet innehåller metaller som kan ta upp och avge syre i fluidbädden, och bidrar därigenom till en bättre fördelning av syret och förbättrar därför förbränningen. Resultaten visar att gjuterislagg kan krossas och siktas och därmed ge ett bäddmaterial med syrebärande egenskaper. Materialet har också visat sig fungera fluidiseringstekniskt och uppvisar inga agglomereringstendenser. Ett syrebärande bäddmaterial som detta kan användas i olika syften beroende på anläggningen.

Innan det finns en kommersiell affärsmodell kring detta bör några problem adresseras. Många gjuterier är små och producerar inte så mycket slagg vilket gör att transporter och insamling kan bli svårt att göra ekonomiskt. Slaggen i sig är ganska svårbehandlad särskild avseende krossningen. Dessutom uppstår svinn i form av partiklar som siktas bort.

---

<sup>144</sup> Orkas, J., Technical and environmental requirements for surplus foundry sand utilization, in Department of Mechanical Engineering. 2001, Helsinki University of Technology: Laboratory of Foundry Engineering

<sup>145</sup> Kuttah, D., Utvärdering av användningen av svenskt gjuterisandsavfall i tillverkning av asfaltblandningar. 2021, VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut.

<sup>146</sup> Davidsson, K., Användning av restprodukter från gjuterier som bäddmaterial vid avfallsförbränning. 2019, RISE Research Institutes of Sweden.

## 4 Gjuteriernas energianvändning

Framställning av gjutna komponenter är en energiintensiv verksamhet. År 2018-2020 utgjordes ca fem sjättedelar av köpt energi av elektricitet, medan resterande sjättedel främst utgjordes av fossila bränslen<sup>147</sup>.

Effektivare och förbättrat 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.<sup>148</sup>

*Ur Agendan för Metalliska material, steg 6:*

En av utmaningarna för framtiden blir att värma med avsevärt reducerade koldioxidutsläpp. Utvecklingen kan gå i två riktningar. Den ena är att övergå till bränslen som ger låga koldioxidutsläpp och den andra är att använda el som framställts med låga koldioxidutsläpp. [...] Miljöpåverkan över hela livscykeln måste också klargöras, till exempel risken för ökade utsläpp av partiklar och kväveoxider.<sup>149</sup>

Byte av energibärare går ofta hand i hand med byte till energieffektivare teknik, inte minst vid byte till elektricitet. En tredje möjlighet förutom effektivisering och byte av energibärare är ökad återvinning av spillvärme, antingen internt, externt eller till elproduktion.

Av den totala energianvändningen i gjuteriindustrin är en betydande del kopplad till smältprocessen, vilket gör att det alltid är aktuellt att arbeta med 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. Produktionsprocesserna står för typiskt 50 % eller mer av ett gjuteris totala energianvändning. 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 hantering av avgjutningsutrustning som efterföljande värmebehandling är energikrävande och sker idag ofta med fossila bränslen, särskilt gasol. Smältbehandling så som avgasning, kornförfining och förädling leder till energiförluster. Form- och kärntillverkning,

<sup>147</sup> Se kapitel 4.2.1 Nationell statistik för tillförd (köpt) energi

<sup>148</sup> P Sommarin och J Arvidsson, Strategisk framtidsstudie för SMF. Inriktning energieffektiva processer och produkter, rapport 2010-007, Swerea SWECAST 2010.

<sup>149</sup> <https://www.metalliskamaterial.se/sv/natverk/det-strategiska-innovationsprogrammet-metalliska-material/>

rensning, bearbetning och interna transporter bidrar till den totala energiförbrukningen och därmed en kännbar del av produktionskostnaden.

Värme kan återvinnas från många processer. Dagens kylvattensystem ofta utformade utan kravställning på utgående kylvattentemperatur, vilket kan göra det svårt att hitta värdeskapande användning för denna värme. Värme kan även återvinnas ur heta avgaser, sand, svalnande gods, med mera.

## 4.1 Yttre påverkan

Nedanstående korta omvärldspaning är baserad på energiläget i maj 2023 och inkluderar ett försök till framtidsspaning.

**Prischock gör effektiviseringsåtgärder lönsamma.** Svenska gjuterier använder framför allt elektricitet och gas. Bägge dessa energibärare är (år 2023) utsatta för en prischock som bottenar i konflikt kring rysk gas. Under gaskonflikten har svenska elnätet blivit underdimensionerat, bland annat på grund av ökad elektrifiering vilket drivit upp elkostnad ytterligare och särskilt i södra Sverige.

Prischocken innebär att många av de senaste 40 årens utredningar och framtagna åtgärder (sedan förra energiprischocken år 1979) för energieffektivare gjutning kanske blir lönsamma att genomföra, eller rent av blir en överlevnadsfråga för den som inte har råd att härda ut prischocken. Det krävs alltså inte helt ny och obeprövad teknik.

Prischocken kommer likt tidigare prischocker så som "oljekriserna" under 1970-talet sannolikt att vara kortvarig, kanske 5 år, bl.a. beroende på miljötillståndsprocesser. Flytande LNG-terminaler är t.ex. redan på plats längs Europas kuster för import av gas. Vindkraft kan byggas på 3-5 år nära behoven, till exempel i södra delen av Östersjön och i Kattegatt, med flera ställen. Solkraftparker går på några månader att montera. Biogas (rötning) går att etablera inom 12 månader.

**Flexibilitet och elprisvariationer är här för att stanna.** Utöver prischocken så har ökad elproduktion från förnybar kraft lett till mer volatila elpriser, det vill säga en större elprisvariation. Volatiliteten kan förväntas att öka och bestå under mycket lång tid framöver och är varken kortvarig eller en prischock. Detta kan komma att leda till att gjuterier behöver bli mer flexibla i framtiden, om inte någon annan blir det åt dem.

Spotmarknad för elektricitet kommer att gå från 60 minuter (timmes) avräkning till 15 minuter (kvarts) avräkning. Detta är planerat till början av år 2024, men formellt datum är inte bestämt. En gissning är att elnätstaxorna, det vill säga effekttarifferna, kommer att följa efter och gå från timvärde(n) till 15-minutersvärde(n).

**Taxonomi och energibärare.** Taxonomi kommer att påverka val av energibärare, främst gällande fossil gas. Elektrifiering är i vissa fall möjligt. Förgasning av trä-bränslen till syngas och/eller biokol eller biokoks är en annan tänkbar möjlighet som kan göras lokalt och i mindre skala, liksom redan kommersialiserad rötning av biogas (metan). Produktion av biogasol (propan och butan) är även den kommersialiserad teknik. Hård konkurrens om biologisk råvara kan däremot förväntas, då den även kommer att användas till kemikalier och material. Vätgas tillverkad med elektricitet är en möjlig ersättning som inte är beroende av biomassa, liksom så kallade elektrobränslen så som ammoniak med flera.



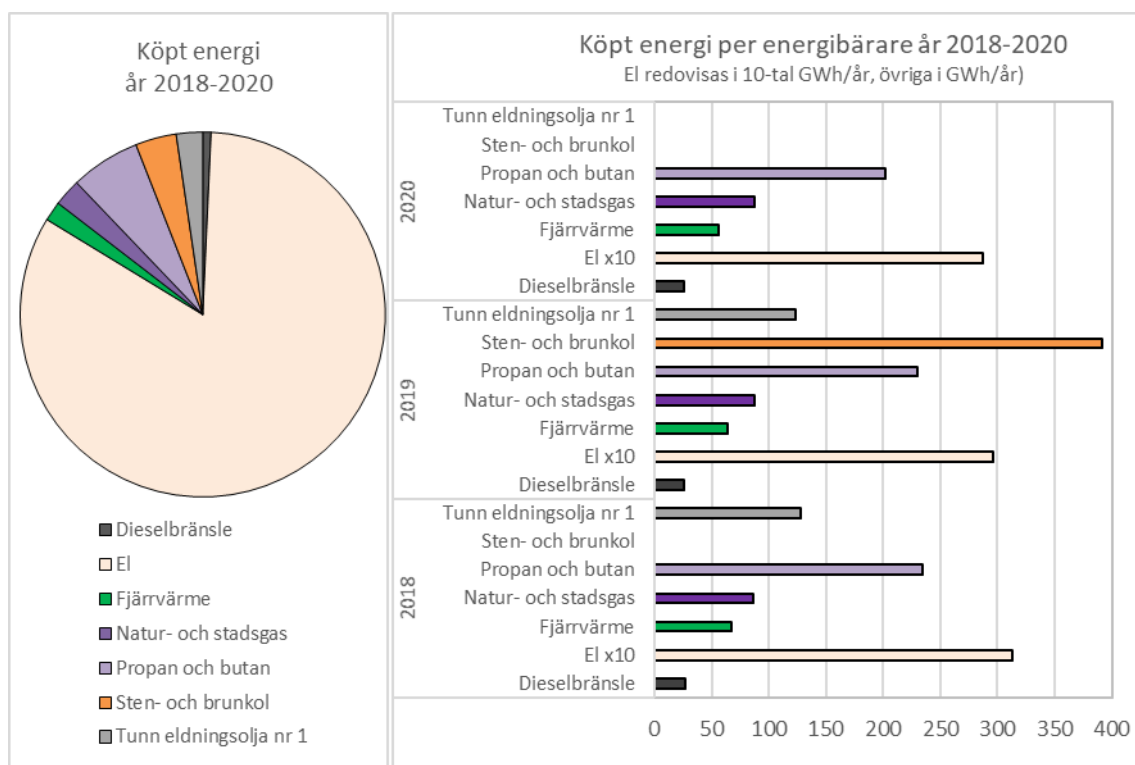
Taxonomi omfattar även vattenresurser, där kylvatten kan vara en sådan resurs som påverkas.

## 4.2 Använd energi

Gjuteriers energianvändning består främst av elektricitet och fossil gas som till stor del omvandlas till värme, vilken sedan kyls bort. Nedan redogörs för köpt energi (nationell statistik) och därefter till vad energin används.

### 4.2.1 Nationell statistik för tillförd (köpt) energi

I Sverige använder gjuterier främst elektricitet, till skillnad från stora delar av världen där fossil gas är dominerande. I Figur 4.1 redovisas officiell statistik från Statens Energimyndighet för SNI-koden "Gjuterier och övriga metallverk"<sup>150</sup>. (Statistiken avser köpt energi, men heter officiellt "använd energi" vilket är något missvisande då egenproducerad energi inte ingår, utan enbart köpt energi).



Figur 4.1. Statistik för köpt energi inom "Gjuterier och övriga metallverk". Notera att elektricitet är nedskalad faktor tio i stapeldiagrammen och att behovet är ca 3000 GWh/år. Perioden 2018-2020 så köptes inga biobränslen alls, samtidigt fasades all eldningsolja EO1 ut.

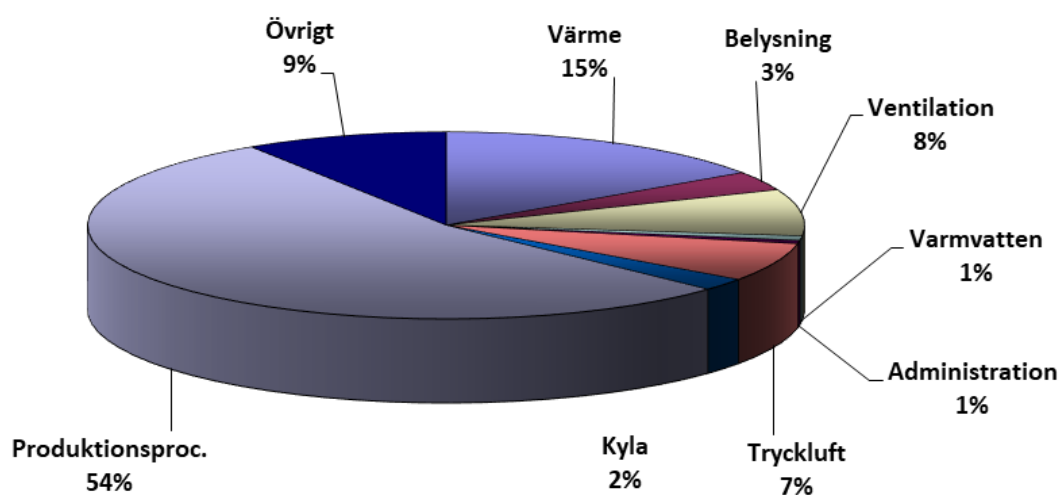
<sup>150</sup> SCB/Statens energimyndighet, Industrins energianvändning, Användning av energivaror inom mineral- och tillverkningsindustri enligt SNI2007, tillgänglig hos Statens energimyndighet [www.energi-myndigheten.se](http://www.energi-myndigheten.se)

## 4.2.2 Gjuteriets energianvändning i olika processer

**Processens energianvändning.** Smält- och varmhållningsprocessen är den i särklass mest energikrävande processen i ett gjuteri. Processerna står för typiskt för omkring hälften av ett gjuteris totala energianvändning. Dessutom är smältningen även en process som genererar stora förluster, i praktiken kommer cirka 40–60 % av den tillförda energin till nytta i form av värme i smältan<sup>151</sup>. En effektivisering av ugnprocesser i kombination med värmeåtervinning bidrar därför starkt till en reduktion av komponenternas resurspåverkan.

Totalt sett använder gjuteribranschen ett stort antal olika ugnstyper, för olika ändamål så som smält-, varm- och värmebehandlingsugnar, ugnar för kontinuerlig respektive satsvis produktion, etc. Många smältugnar är eldrivna induktionsugnar även om tekniken med kokseldad kupolugn är tonnagemässigt stor för gjutjärn. Övriga ugnsystem bygger på användning av gasol eller andra bränslen.

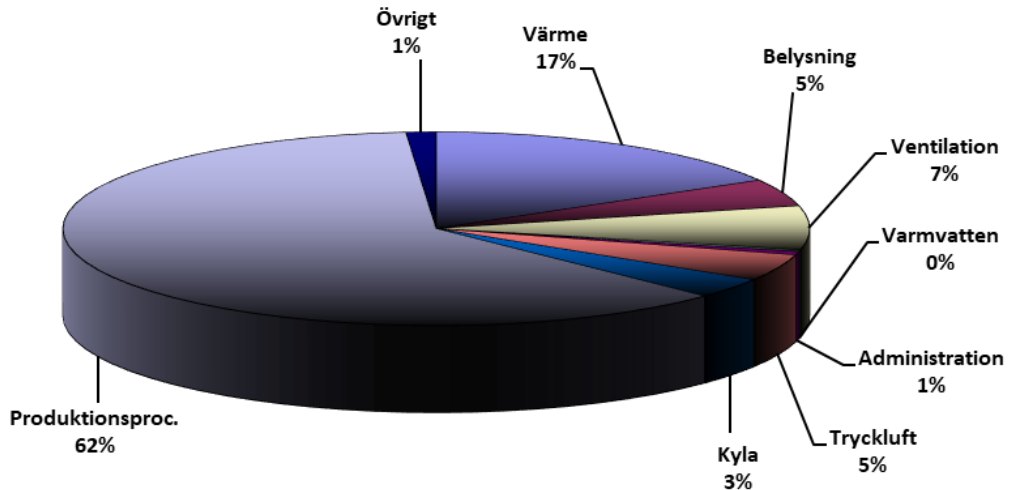
**Stödsystemens energianvändning.** I Figur 4.2 och 4.3 presenteras sammanställda data från sammanlagt 12 olika gjuterier inom två olika gjuteriprocesser gjorda under 2011<sup>152</sup>. Den procentuella fördelningen och besparingsfördelningen antas inte ha förändrats nämnvärt under åren.



Figur 4.2. Fördelning av energianvändningen på processer sammanställt från energikartläggningar på 6 sandgjuterier.

<sup>151</sup> Beror av lokala förutsättningar, typ av ugn, etc. Se t.ex. "Värmeåtervinning från svalnande gjutgods", SWEREA SWECAST, rapport 2011-003

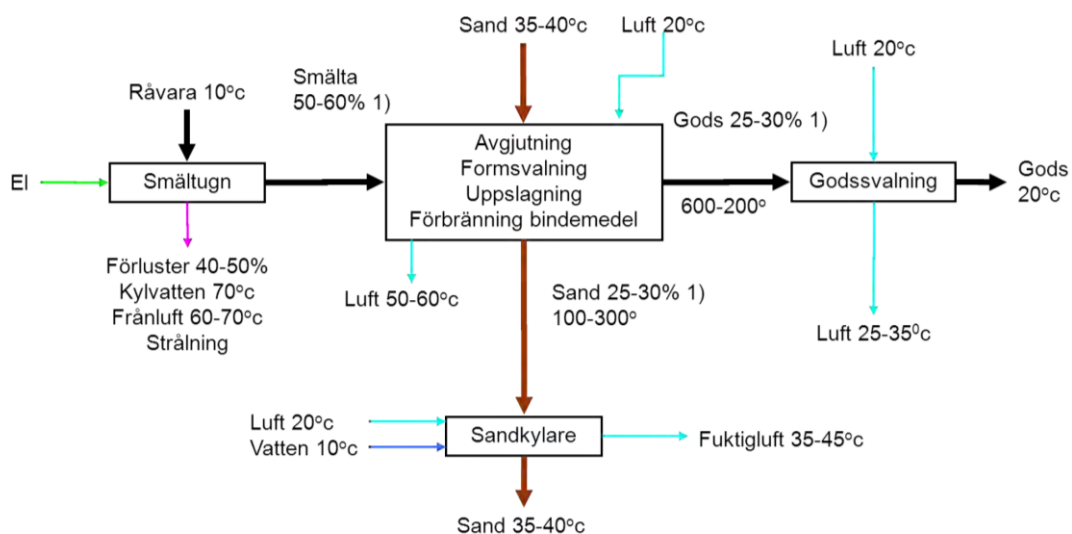
<sup>152</sup> "Värmeåtervinning från svalnande gjutgods", SWEREA SWECAST rapport 2011-003.



Figur 4.3. Fördelning av energianvändningen på processer sammanställt från energikartläggningar på 6 press & kokillgjutierier.

I figurerna står ventilation och komfortvärme tillsammans för ca en fjärdedel av total köpt energi och eller motsvarande hälften av processens energibehov. Dessa två stödsystem syftar till att främja arbetsmiljön, inte till att gjuta. Gjutning sker i regel inte i ett avgränsat slutet utrymme, vilket får som följd att ventilationsbehovet för att människor ska kunna vistas i lokalerna utan andningsapparat blir stort. Detta ger ett betydande behov av elektricitet till fläktdrifter. Som följd av ventilationsbehovet blir det även ett betydande komfortvärmebehov (trots all processvärme) för att motverka utkylda lokaler och inte minst kalldrag. Fläktdrifter används även för sandkyllning, med mera, där komforten inte påverkas.

Förutom arbetsmiljösystemen ovan, är tryckluft ofta en relativt stor elanvändare. Tryckluft används bland annat till blåstring. Även belysning (som även den är arbetsmiljörelaterad) kan vara värd att nämna.



1) Andel värmeenergi jämfört med tillförd energi i smältugn

Figur 4.4. Energibalans<sup>153</sup>

<sup>153</sup> "Värmeåtervinning från svalnande gjutgods", SWEREA SWECAST rapport 2011-003

**Energibalans värme.** En stor andel av tillförd köpt energi omvandlas till värme, framför allt i smältugnen. En del av denna värme hamnar i smältan, för att sedan överförs till sand, kokill eller pressverktyg, samt kvarstå i stelnat gods. Det är stora skillnader mellan gjuterier hur värmen fördelar sig, även mellan gjuterier med snarlika processutrustningar. Figur 4.4 visar exempel från ett sandgjuteri med induktionsugn. Eventuell värmebehandling där godset återvärms tillkommer.

## 4.3 Resurseffektiv energianvändning

Grunden för att använda energi resurseffektivt är att använda rätt mängd i rätt tid i utrustning och system som är anpassad för det arbete som ska utföras, vilket låter lätt.

För en given gjuten produkt och en given framställningsprocess är målet att möjliggöra högre resurseffektivitet för energianvändningen.

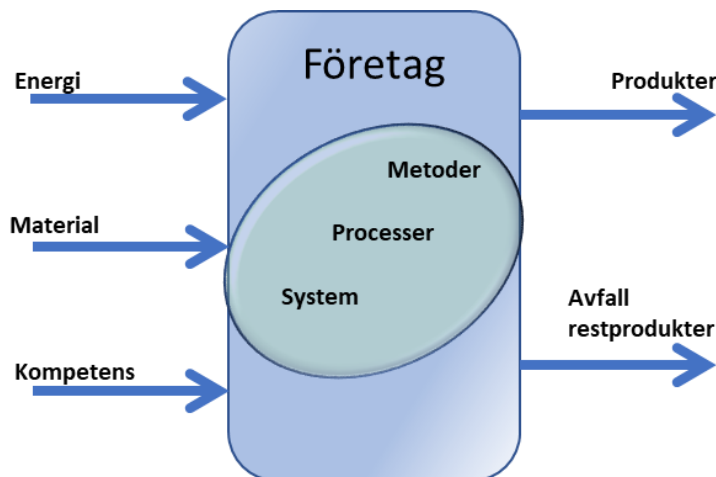
Att ständigt förnya och förbättra utnyttjandet de metallurgiska processerna så att energianvändningen effektiviseras är och ska vara en målsättning som är högt prioriterad. Genom att utnyttja ny kunskap och utveckla allt bättre mät- och styrmetoder kan processteg optimeras för effektivare energianvändning. 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 och vilka krav som behöver uppnås.

Resurseffektiv energianvändning inkluderar bland annat:

- **Energiledning:** Systematiserad energiuppföljning som följer förädlingskedjan, för att kunna arbeta processorienterat och med personalen
- Uppdatera kalkyl / energikartläggning och genomförande av åtgärder som blivit lönsamma med förändrade energipriser
- Strategiskt ställda energikrav vid större processförändringar till exempel gällande:
  - Energibärare, så som att utrustningen ska gå på elektricitet och inte tryckluft, eller vara förberedd för icke-fossil prisvärd gas-kvalitet.
  - Systemeffektivitet, till exempel att ventilationen ska ha stora kanaler, låga tryckfall och därmed kunna förses med små fläktmotorer.
  - Värde på restvärme och kylvatten som beror av temperatur. Hög temperatur har ett högre värde, t.ex. som fjärrvärme, medan låg temperatur rent av har ett negativt värde (kostnad för kylning).
- **Cirkulär energi:** I detta ingår att vara aktiv och inbjudande för att underlätta ökad lokal resurseffektivitet och resiliens. Gällande energi, i första hand att tillhandahålla restvärme till andra aktörer / ta emot kylning. Värme med hög temperatur (till exempel 100°C) är enklare att hitta avsättning för än ljumme (fingervarm värme). Men ljumme behövs till exempel för biogasproduktion (rötning), vilket ett gjuteri kan ha ett strategiskt egenintresse i att få tillgång till.
- Se över långsiktig tillförsel av det återstående behovet, med fokus på fossilt innehåll.

### 4.3.1 Energiledning och uppföljning

I ett företag tillförs material, kompetens och energi. Via olika metoder, processer och system kommer det sedan ut produkter. Eftersom inga processer är fullkomliga så kommer det även ut avfall samt restprodukter (Figur 4.5).



Figur 4.5. Schematisk bild av ett tillverkningsföretags resursbalans.

Historiska energipriser är baserade på en fossil ekonomi (vilket gällt hela den industriella revolutionen och i synnerhet sedan 1950-talet). Detta har gjort att energianvändningen inte har legat i fokus på företag, men vid varje större energiprisuppgång så ökar givetvis intresset för att energieffektivisera och med det att arbeta mer systematiskt med energifrågan.

I de flesta fall är fokus på kontroll och uppföljning av kvalitet och ekonomi för produktens tillkommande, via materialkontroll och tillverkningsprocess och att rätt kompetens finns att tillgå för produktionen. Uppföljningen av energianvändningen är i många fall mer sporadisk, mindre systematisk och kostnaden för den fördelas schablonmässigt ut på alla produkter i produktionen.

Energiuppföljning bör med ökande priser bli ett lika naturligt arbete att göra som kvalitetsuppföljning eller kompetenssäkring. Energi kan och bör följas upp så att kopplingen mellan tillsatta resurser inklusive såväl energi som avfall och restprodukter, går att följa längs hela produktionskedjan.

## 4.4 Klimatneutral energitillförsel

Införandet av den nya EU-Taxomin kommer att påverka de flesta gjuverierna direkt eller indirekt. Taxomin är indelad i sex områden varav de som gäller klimatförändringarna började gälla från och med 22-01-01.

- Begränsning av klimatförändringarna
- Anpassning till klimatförändringarna
- Förebygga kontroll av föroreningar
- Övergång till cirkulär ekonomi
- Hållbar användning och skydd av vatten och marina resurser
- Skydd och återställande av biologisk mångfald och ekosystem

Som det ser ut idag (maj 2023) kommer en ökad uppföljning och rapportering av klimatpåverkan att behöva göras och hur det kommer att se ut är inte 100% klart. Notera att även kylvatten berörs av taxonomin.

Beroende av fossil elektricitet är inget tekniskt problem att lösa. Gjuterierna köper redan till största delen fossilfri el och fossilfri el går att köpa överallt där det finns el.

För skänkförvärmning och centralsmältning används naturgas eller gasol (det vill säga metan respektive propan/butan) samt stenkol, så där finns det en förbättringspotential.

På det svenska stamnätet för gas går det att köpa biogas på samma sätt som grön el köps, det vill säga via ”virtuell handel”. Nätet är dock begränsat till sydvästra Sverige, med en avstickare till Gislaved. Bio-gasol finns däremot att köpa kommersiellt i hela landet.

Rötning av ”mjuk” biomassa till biogas är en etablerad teknik som finns på många orter och som kan göras småskaligt. Rågasen innehåller ofta 45–70% metan och går att bränna direkt, men den innehåller även vatten, koldioxid och svavelväte, med mera beroende på substrat som rötas. Gasen kan såväl torkas som renas ända upp till fordonskvalitet om så är, men det sistnämnda (fordonskvalitet) är kostsamt.

Det finns i dag även ett par företag som tillverkar utrustning för biogas, biokol och biokoks genom termisk omvandling av biomassa, vilket innebär att även ”hård” biomassa så som trä/ved kan omvandlas. Dessa företag (till exempel MEVA, Cortus) har än så länge inte gjort sitt intåg i gjuteribranschen då deras teknik inte är validerad i industriell skala, men är på gång. Syngasen (”gengas”) från förgasning består vanligen av vätgas, kolmonoxid, koldioxid och vattenånga. Det bildas även tjärar, biokol med mera vid förgasning. Även här är rening en kostnadsfråga.

Vätgas från elektriskt driven spjälkning av vatten verkar vara ett kommande teknikskifte. Elverkningsgraden för en elektrolysör är i bästa fall 60–70%. Elektrolysörer ger syrgas som biprodukt, vilken kan användas till oxy-fuel brännare som minskar bränsleåtgången med ca 40%. Gjuterier kan alltså få nytta av biprodukten från elektrolysören, även om inte själva vätgasen används. Vätgaselektrolysörer är modulära och finns i alla storlekar, men det finns skal- och skattetekniska fördelar vilket gör att lokala distributionsnätverk som till exempel drivs av energibolag kan bli en vanligare lösning än egenproduktion hos enskilda industrier.

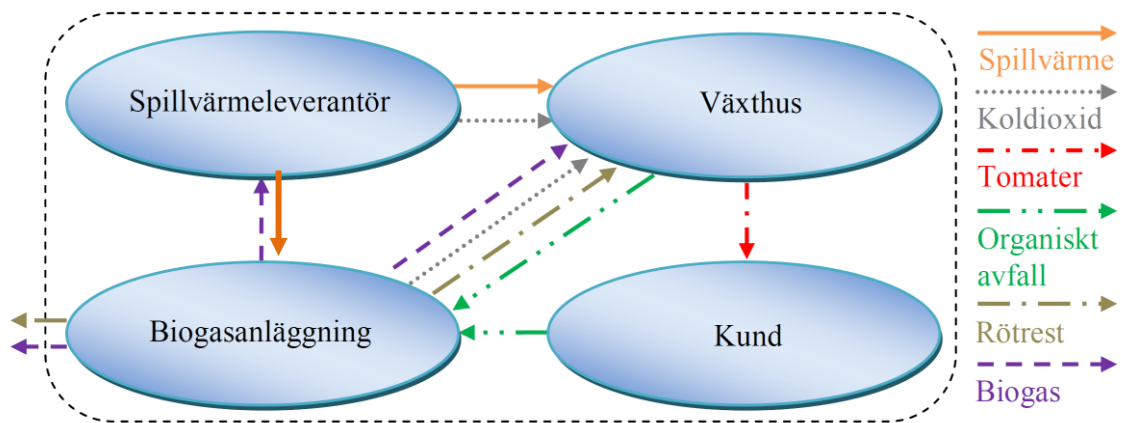
## 4.5 Cirkulära energimodeller

Gjuterier har framför allt restvärme från kylsystem och från svalnande produkter. Figur 4.6 visar hur ett utvidgat system kan skapas utgående från en spillvärmelieferantör (gjuteri).

Normalt sett är de flesta kylsystem konstruerade och dimensionerade så att restvärme med högre temperatur än 70–75 °C är sällsynt. Oftast ligger restenergitemperaturerna under 50 °C vilket gör att användningsområdena för dessa inte är speciellt många. Dessa system har dock inte dimensionerats utifrån att värmen har ett alternativt inkomstbringande värde, utan att det är ett rent spill. Genom att sätta ett värde på värmen och ställa krav på leverantörer som inte har räknat in att kylningen kan vara inkomstbringande, går det att få högre temperaturer. Gjuterier kylvärmer t.ex. sand från flera hundra grader. Därutöver kan det finnas heta avgaser att utvinna värme ur.

Rötningsskammare för biogas, växthus, isfri infrastruktur, snöfria fotbollsplaner och pooler är exempel på processer som kan konstrueras för lågtemperaturvärme.

Nyproducerade bostadsområden med fjärde generationen fjärrvärme kan klara sig med 65°C. Vanlig fjärrvärme behöver egentligen 90-100°C, men det går att få ut nytta från ca 70°C i fjärrvärmenät, men då krävs merinvesteringar. Högre temperatur på värmen underlättar även lagring mellan batcher, då en vattencistern rymmer en vattenvolym och inte en energivolym. Elproduktion får högre elverkningsgrad med högre temperatur på drivvärmen. Nedre gräns är förmodligen kring 70°C medan det inte finns någon övre gräns.



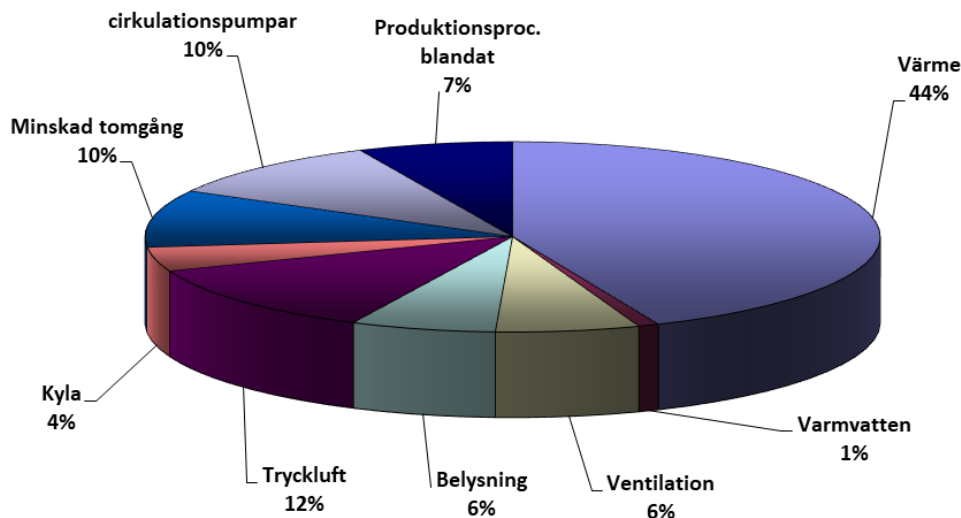
Figur 4.6. Värmebalanser i ett utvidgat system. Från rapporten "Utnyttjande av spillvärme för produktion av resurssnåla livsmedel"

## 4.6 Åtgärdsförslag energianvändning

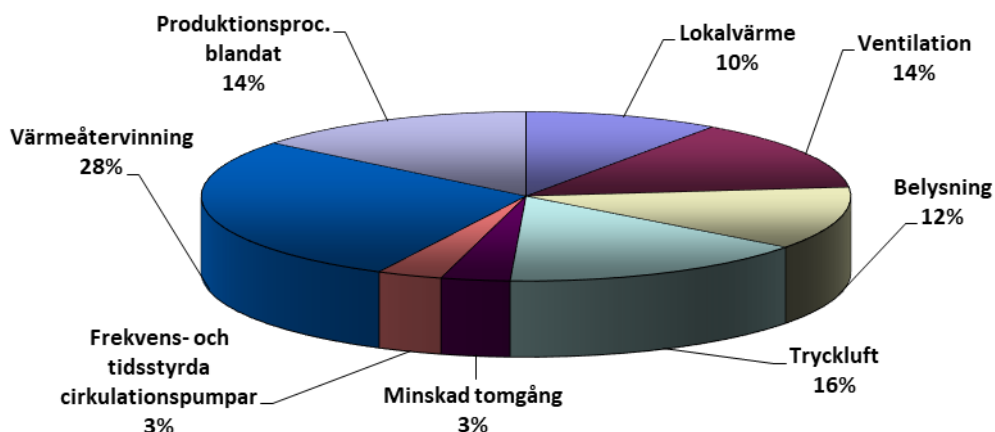
Det har producerats flera rapporter med åtgärdsförslag för gjuterier. Energimyndigheten har även publicerat ett metodstöd som finns för nedladdning<sup>154</sup>. I figurerna 4.7 och 4.8 redovisas fördelning av besparingspotential från energikartläggningar vid tolv olika gjuterier. Åtgärdsförslag i energikartläggningar avser i regel främst stödsystemen och enklare fristående åtgärder och inte vad som är möjligt att åstadkomma på längre sikt eller om mer radikal förändring eller omställning görs.

**Stora och omdanande åtgärder.** Byte av smältugn / smältugnteknik, byte av avgjutningsanläggning, av brännare till oxy-fuel, till regenerativ eller rekupererande, eller att inleda ett strategiskt spillvärmesamarbete med långtgående värmeåtervinning som följd, kan alla radikalt förändra energieffektiviteten. Dessa typer av strategiska åtgärder och investeringar anpassar verksamheten efter ett nytt omvärldsläge. Energieffektivisering är i dessa fall ofta del av en större förändringsprocess, möjligen undantaget brännarbyten.

<sup>154</sup> "Energieffektivisering i gjuterier -en vägledning för bästa teknik", Statens energimyndighet, rapport ET 2017:24, 2017



Figur 4.7. Fördelning av energibesparingspotential på processer sammanställt från energikartläggningar på 6 sandgjutier.



Figur 4.8. Fördelning av energibesparingspotential på processer sammanställt från energikartläggningar på 6 press & kokillgjutier.

**Generella åtgärdsförslag för effektivare produktion.** Nedanstående lista kommer i huvudsak från rapporten "Nordic Foundries -Best Available Techniques (BAT)"<sup>155</sup>, vilken i sin tur sammanställt åtgärdsförslag från ett stort antal rapporter.

#### A. Råmaterial

- Hantera råmaterial inomhus för att undvika att utsätta det för fukt.
- Använd spillvärme från ventilation, kylvatten från ugnar eller kompressorer för att värma och torka råmaterialet.
- Behandla metallspån som kan innehålla olja eller oljemulsion genom exempelvis centrifugering innan smältning

<sup>155</sup> "Nordic Foundries -Best Available Techniques (BAT)", rapport 2017:562, finns för nedladdning på diva-portal och hos Nordiska ministerrådet [www.norden.org](http://www.norden.org).



- Krossa skrot och återgång eller be leverantörerna av skrot att leverera skrot i rätt storlek för optimal packning i ugnen.
- Chargerera ugnen i rätt ordning.
- Pressa briketter av metallspån av t.ex. aluminium som används som råmaterial.

#### B. Smältning

- Använd kort smältningstid och omedelbar gjutning utan onödig fördröjning. Packa råmaterialet så tätt som möjligt i ugnen.
- Försök att undvika överhettning av smältan.
- Gör praktiska tester för att ta reda på vad det kostar att överhätta smält kWh / grad / ton och gör personalen medveten om detta.
- Använd full ugnseffekt så tidigt som möjligt och sedan genom smältningsprocessen för att ge den snabbaste och mest energieffektiva smältprocessen. Ibland görs det inte eftersom det här ger en hög kostnad från elleverantören.
- För att undvika överdriven smälttid är det viktigt att snabbt komma fram till smältans korrekta legeringssammansättning. Det är därför viktigt att väga in de olika legeringsmetallerna. Vägning är också viktigt för att bestämma energiförbrukningen per ton smälta och hitta energieffektiva metoder. För övervakning av produktionen är det också bra att väga mängden tappad smält- och slaggvikt.

#### C. Temperaturmätning

- Använd mätare som visar ugnens energianvändning för varje charge och notera detta tillsammans med temperatur och chargevikt för varje smälta. Om jämförelsen görs med tidigare smältor kan operatörerna upptäcka variationerna i energiförbrukningen och direkt minska energiförbrukningen.
- Mät temperaturen ofta istället för att gissa.
- Efter användning av temperaturlans ersätt sondspetsen och låt lansspetsen sjunka i temperatur före nästa mätning.
- Sänk temperaturen om ugnen inte används och sänk ventilationen om den inte behövs.

#### D. Tappning

- Använd låg tappningshöjd mellan skänk och ugn för att inte förlora i värme vid avgjutning och minska risken för att syre löser in sig i smältan.
- Flytta smältan snabbt från ugnen till platsen för gjutning för att inte tappa i värme.
- Använd locket på smältugnen, eventuell hållugn och skänk så mycket som möjligt. Om det inte är möjligt att använda locket på ugnen är det ett alternativ att ha ett lager slagg på toppen.
- Användningen av isolerande foder i skänkar reducerar värmeförlusten. Högisolerade skänkar har möjligen sämre mekanisk hållfasthet, så det är tveksamt om de är lämpliga för behandling av segjärn.

### E. Gjutning

- Planera förvärmning av skänkar och förbered formar så att de är klara i tid när smältningen är klar.
- Använd lock på skänkar eller placera dem upp och ner mellan användningen.
- Placera skänkarna på isoleringsmaterial för att minska värmeöverföringen till golvet.
- Undersök möjligheterna till att använda nyare förvärmningsteknik än konventionell gasbrännare, t.ex. med ett flamlöst system eller elvärme
- Använd rätt skänkstorlek med avseende på smältmängden.

### F. Övriga åtgärder

- Optimera värmebehandling så att godset inte värmebehandlas i onödan.
- Genomföra energikartläggning.

Utöver ovanstående refererade rapport ”Nordic Foundries -Best Available Techniques (BAT)” rekommenderas rapporten ”Energieffektiv smältning”<sup>156</sup>.

För åtgärder inom olika stödsystem så som tryckluft, belysning, ventilation finns gott om allmänna guider<sup>157</sup> om sådana mot all förmodan saknas i bolagets egen energikartläggning.

## 5 Bilagor

Bilaga 1. Ordlista för vanliga begrepp inom hållbarhetsområdet.

Bilaga 2. Rapporter från Gjuteriföreningen och Swerea SWECAST/RISE

---

<sup>156</sup> ”Energieffektiv smältning”, SWEREA SWECAST rapport nr 2012-010, finns för nedladdning på diva-portal.

<sup>157</sup> Se exempelvis [energimyngiheten.se](http://energimyngiheten.se)

# Bilaga 1. Ordlista

Ordlista för vanliga begrepp inom hållbarhetsområdet som används i denna rapport.

<b>Benämning</b>	<b>Vad menas</b>
Avfallshantering	Insamling, transport, återvinning och bortskaffande av avfall, inklusive kontroll av sådan verksamhet och efterbehandling av platser för bortskaffande av avfall, inklusive åtgärder som handlaren eller mäklaren vidtar,
Behandling	Återvinnings- eller bortskaffningsförfaranden, inklusive beredning före återvinning eller bortskaffande
Bioenergi	Som kommer ifrån biobränslen och vattenkraft och anses vara en övergångs teknik
CCS	Infångning och lagring av koldioxid
Cirkulär design	Förebygga: att optimera material och struktur genom att designa men minsta klimatpåverkan inklusive leveranskedjan i åtanke och cirkulära material (100% förnybara, återvinningsbara eller nedbrytbara)
Ekodesign	sätter minimikrav på energiprestanda. genom att miljöaspekter integreras i produktdesignen för att förbättra produktens eller delens miljöprestanda under hela dess livscykel (ekodesign)
Engångsprodukt	En produkt för engångsbruk är oftast avsedd att användas endast en gång, eller en kort tid, innan den blir avfall. Som inte har utformats, konstruerats eller släppts ut på den svenska marknaden för att under sin livscykel återanvändas flera gånger genom att återfyllas eller återanvändas för samma ändamål som den utformats för
Fossila bränslen	Energien som används inte kommer från fossila bränslen. Till fossila bränslen räknas kol, olja och gas
Fossilfri el	Som kommer ifrån sol och vind
Fossilfri energi	Energien som används inte kommer från fossila bränslen. Till fossila bränslen räknas kol, olja och gas
Fossilfri värdekedja	Värdekedja ska bli fossilfri
Förebyggande	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) åtgärder som vidtas innan ett ämne, ett material eller en produkt blivit avfall och innebär en minskning av mängden avfall, inbegripet genom återanvändning av produkter eller förlängning av produkters livslängd,</li> <li>b) den negativa påverkan av miljön och människors hälsa genom det genererade avfallet, eller</li> <li>c) halten av skadliga ämnen i material och produkter.</li> </ul>

Förlängd livslängd	Förlänga en produkts användbarhet
Förnybar energi	Kommer från källor som ständigt förnyas och som inte tar slut, så som solkraft, vindkraft, vattenkraft och bioenergi,
Förnybart	Med förnybart avses material eller råvaror som kommer från biobaserade källor som återskapas i minst samma takt som de förbrukas.
GHG	Modell för hur klimatpåverkan beräknas CO <sub>2</sub>
GRI	Global Reporting Initiativen. Standar för hur hållbarhets skall redovisas med indikatorer, och beräkningar. Social, ekonomisk och miljö. Viss del valbara indikatorer.
Hållbar utveckling	En utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov
Klimatkompensera	Klimatkompenserat samtliga utsläpp så uppnås nettonoll i utsläpp
Klimatneutralitet	Att genom Klimatkompensation reducera för de utsläpp som ni ger upphov och inte har möjlighet att undvika i dagsläget. Bygger att på att det skall finnas en klimatberäkning och en klimatstrategi
klimatpositiv	Uppfyller kriterierna för att vara klimatneutral klimatkompenserar för ett utsläpp som är större än verksamhetens klimatpåverkan
Koldioxidutsläpp	All koldioxid oavsett ursprung
LCA	Livscykelanalys. Beräkna klimatpåverkan utifrån frågeställning. Kan variera vilka systemgräns som används,
Livslängd	En produkts livslängd. Vad är en vanlig livslängd?
modifierbara produkter	Modulära designen av en produkt, understödd av open source som tillvägagångssätt, innebär att produkter inte bara är modulära och återanvändbara, de är dessutom modifierbara
Mäklare	Företag som ombesörjer återvinning eller bortskaffande av avfall på andras vägnar, inbegripet mäklare som inte kommer i fysisk besittning av avfallet,
Nettonoll i utsläpp	Klimatkompenserat era samtliga utsläpp så uppnår ni netto noll i utsläpp
Noll avfall	Zero waste: definieras som att nå noll avfall som hamnar på deponi. Annat anses vara återvinning.
Produktlivscykeln	En produkts livslängd. utformning för att få ut det mesta av en produkts material och energi genom att förlänga dess livslängd. Att förstå materialflödet hos en produkt kan hjälpa dig att ta hållbara beslut som har inverkan på produktens hela livscykel

Produktpass	Digital information om produkten. Vilket kan inkludera LCA, isärtagning, avfallshantering av materialen,
Reparerbarhet	Möjlig att reparera enkelt
Right to repair	Kunden skall ha mer information om livslängd etc, och mer möjligheter att reparera.
SBTi	Nätverk/standard för vilka klimatmål som är rimliga att sätta och hur de skall mäta
Scope 1	Allt som förbrukas i fabriken/ exklusive köpt energi
Scope 2	Köpt energi
Scope 3	Uppströms och nedströms klimatpåverkan
Separat insamling	Insamling då ett avfallsflöde hålls åtskilt efter avfallets typ och natur i syfte att underlätta en särskild behandling
Systemgräns	Hur långt skall information sträcka sig? Cradle to Gate? Cradle to cradle? Olika för olika fokusområden?
Uppgraderbar	Hur mycket och hur länge? Oklart
Zero waste	Arbeta för att inget spill och rester skall hamna på deponi
Återanvändbar	Kan användas flera gånger om för en och samma ändamål som de ursprungligen utformades för men även för ett helt annat ändamål.
Återanvändning	Varje förfarande som innebär att produkter eller komponenter som inte är avfall återanvänds i samma syfte för vilket de ursprungligen var avsedda,
Återvinning:	Varje förfarande vars främsta resultat är avfall som har ett nyttigt ändamål, genom att det antingen vid anläggningen eller i samhället i stort ersätter annat material som i annat fall skulle ha använts för ett visst syfte eller förbereds för detta syfte; bilaga II innehåller en icke uttömmande förteckning över återvinningsförfaranden,
Återvinningsbarhet	Avser hur återvinningsbar produkten är, inte innehåll av återvunnet material i produkten.
Återvunnet efter konsumentled	Återvinningssteget har skett efter konsumentled, tex genom insamling/återtag efter att en produkt har använts av konsument.
Återvunnet före konsumentled	Återvinningssteget har skett före konsumentled, tex insamling och återförande av avfallsströmmar från produktionsspill. Observera att insamling och återinförande av restmaterial och spill som uppkommer inom samma produktionsprocess inte kan räknas med.

Återvunnet material	Material från en produkt eller komponent som tagits ur avfallsflödet och återförts till produktionsprocess. Mellansteg som insamling, hantering, rening med mera kan förekomma.
Återvunnet ingångsmaterial	Material that replaces virgin materials, which are purchased or obtained from internal or external sources, and that are not by-products and non-product outputs (NPO) produced by the organization
Återvinningsbar	Att designa produkten så att den enkelt kan återvinnas.

## Bilaga 2. Rapporter

Nedanstående lista är ett urval av relevanta forskningsrapporter utgivna av Svenska Gjuteriföreningen och SWECAST/RISE från 2006 och framåt som kan hjälpa företag att göra en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft. Rapporterna kan beställas från Svenska Gjuteriföreningens kansli eller från RISE i Jönköping.

Rapporterna är indelade under följande rubriker:

- Arbetsmiljö
- Energieffektivitet och materialanvändning
- Utsläpp
- Återvinning och skrothantering
- Järn
- Stål
- Aluminium
- Övriga metaller

### Arbetsmiljö

**2007-0321 Kvarts i gjuterier - exponering, ohälsa, åtgärder delrapport 1-exponering** Projektet syftar till att öka kunskapen om kvartsexponering i svensk gjuteriindustri och kommer även användas som underlag för exponeringsbedömning i hälsostudien.

**2007-0327 Kvarts i gjuterier - exponering, ohälsa, åtgärder delrapport 2-kohortstudien** - En kartläggning av exponering och hälsorisker avseende kvarts i svenska järngjuterier har genomförts i ett projekt i samarbete mellan SweCast AB och Arbets- och miljömedicinska kliniken i Örebro. I projektet ingick en registerbaserad kohortstudie av dödlighet och cancersjuklighet med syfte att undersöka samband mellan kvartsexponering och lungcancerrisk.

**2008-081219 Lukt och VOC från gjutprocesser** - I takt med att gjuteriernas miljöpåverkan på omgivningen minskar fokuserar myndigheterna på nya miljöfrågor. Lukt och VOC (flyktiga organiska föreningar) är ett av de områden där kraven ökat de senaste åren.

**2010-017 Utvecklingsarbete kring miljöanpassade bindemedel för gjuteriindustrin** - I detta projekt har ett mål varit att ta fram en standardiserad metod för att mäta och jämföra luktemissioner från gjutning på olika bindemedel. Gaser från gjutningar samlades in och analyserades med avseende på lukt och VOC. Två metoder användes: "GC-Sniff" och "dynamisk olfaktometer med luktpanel". Ett annat mål var att undersöka möjligheten att substituera traditionella bindemedel till nyutvecklade vattenglasbaserade sådana. Detta gjordes vid ett mässings- och ett segjärnsgjuteri.

**2010-0310 Buller från gjuterier, dominerande källor och kostnadseffektiva åtgärder** - I takt med att industrin minskar sin omgivningspåverkan framstår nya

miljöområden som prioriteras. Buller är ett av de områden som många företag lagt mycket resurser på de senaste åren.

**2011-010 Gasformiga ämnen och partiklar** - Önskemål har ställs från branschen om en sammanställning av de exponeringssituationer som finns i sandgjuterier. Avsikten har varit att sammanställningen ska tjäna som underlag vid företagets riskbedömningar och planering av mätinsatser för att kartlägga exponeringssituationen vid det egna gjuteriet. Studiens målsättning har även varit att lokalisera och beskriva exponeringssituationer där det idag saknas tillräcklig kunskap.

**2013-008 Artificiell optisk strålning i svensk industri** – Projekt mål; De övergripande resultaten kommer att visa sig genom att företag där det förekommer artificiell optisk strålning får bättre förutsättningar att säkerställa att personal och besökande inte utsätts för skadliga strålningsnivåer. Framtagna checklistor och rekommendationer av åtgärder, alternativt personliga skyddsutrustningar, kommer att underlätta för, såväl stora som små, företag att leva upp till kraven i AFS 2009:7. Arbetsmiljöverkets tillsynsarbete kommer att underlättas avsevärt genom att olika exponeringsscenarioer och personliga skyddsutrustningar finns utredda och dokumenterade.

**2013-023 Cirkulationsrening av inomhusluft** - Att utvärdera reningseffekten avseende partiklar som kan innebära ökade hälsorisker. Det är angeläget att hitta effektiva luftreningsmetoder som är miljövänliga och energieffektiva och som tar bort de fina partiklarna. Färre partiklar i luften ger ett ökat välbefinnande och minskad hälsorisk som irritationer i luftvägarna och negativ effekt på hjärt-kärlsjukdomar.

## Energieffektivitet och materialanvändning

**2006-0313 Utveckling av elkostnader för 16 gjuterier från 1994 till 2006** - Kartläggningen strävar efter att få ett så rättvisande och representativt resultat som det är möjligt. Tillfälliga elpriser eller produktionssvängningar i gjuterierna ska inte påverka resultatet.

**2006-0526 Energisnål gjut- och formningsprocess** - Generellt så finns det inte mycket litteratur om gjutning underifrån, utan stora delar i denna delrapport har tagits från rapporter från gjuterier som rapporterar utifrån sina erfarenheter med att gjuta underifrån.

**2006-0607 Effektivare smältning genom induktionsförvärmning av tackor** - Rapporten undersöker möjligheterna att använda en mobil induktionsförvärmningsutrustning för förvärmning av aluminiumtackor som kan reducera energikonsumtionen för smältningen av materialet. Rapportens mål är att ge läsaren en uppskattning av den eventuella energibesparingspotential som en induktionsvärmningsanordning skulle kunna ge.

**2008-0111 Energieffektiv värmebehandling av stål** - Detta projekt syftar till att undersöka hur olika godstjocklekar påverkas vid en bestämd värmebehandling, för att därmed kunna optimera tiden då en specifik tjocklek behöver värmebehandlas, utan att materialegenskaperna påverkas/försämras. Om de idag använda



värmebehandlingstiderna kan förkortas, utan att de färdiga detaljerna påverkas negativt, kan både tid och energi sparas.

**2008-0114 Energieffektiv smältning och skänkförvärmning** - I tidigare genomförda energiforskningsprogram har förstudier genomförts som visar på möjligheter att spara betydande mängder energi genom olika åtgärder. De nu genomförda försöken är en fortsättning av de inledande studier som genomförts i förstudierna. Ett flertal gjuterier har involverats i arbetet och deltagit med genomförande av försök.

**2008-0117 Energieffektiv värmebehandling av aluminium** - Avsikten med detta projekt har varit att undersöka om en förkortad värmebehandling, eller en behandling vid lägre temperatur, skulle kunna ge samma resultat som värmebehandling enligt tidigare standard, för att därigenom kunna minska energiförbrukningen med minst 15%.

**2010-007 Strategisk framtidsstudie - inriktning energieffektiva processer och produkter** - Långtgående strategier och handlingsplaner måste byggas på en stabil grund. De flesta SMF inklusive gjuterierna, har inte tid, kunskap, erfarenhet eller tillräcklig metodkännedom, för att själva ta fram beslutsunderlag baserade på omvärldsanalyser. Det finns därför ett stort behov av teknologi- och produktinriktade framtidsstudier. Stor enighet råder om att energi- och miljöaspekter kommer att utgöra allt väsentligare faktorer i framtiden om tillväxten ska klaras i ett hållbart perspektiv. Exempelvis kan "klimatsmart" gjutgods bli ett säljargument och en avgörande konkurrensfördel på framtidens alltmer globala gjutgodsmarknad.

**2011-003 Värmeåtervinning från svalnande gjutgods** - Syftet med projektet är att öka gjuteriernas energiåtervinning och skapa förutsättningar för en kontinuerlig avsättning för den återvunna energin.

**2011-006 Värmeåtervinning för energiintensiva SMF med fokus på svensk gjuteriindustri** - Syftet med projektet är att undersöka möjligheten till energilagring i allmänhet och värmelagring i synnerhet för svenska gjuterier och övrig svensk industri. Därtill att beskriva system för återvinning och avlämning av energi ur produktions- och stödprocesser.

**2012-010 Energieffektiv smältning** - Då smältprocessen är den enskilt största energikrävande processen i gjuteriet är det av intresse att undersöka effektiviseringsmöjligheterna i denna. Swerea SWECAST AB har under många år bedrivit forskning som berört föreliggande rapportens mål, dvs. att minska energianvändningen i gjuteriindustrin. Det blir då naturligt att, förutom att presentera nya råd&rön, lyfta upp äldre forskningsresultat som fortfarande är högst aktuella och som ger tips på hur smältningsprocessen kan bli mer energieffektiv.

**2013-007 Ökat utbyte vid gjutning av stål och aluminium** - Det generella målet är att öka svensk gjuteriindustris konkurrenskraft genom att reducera dess energianvändning.

**2013-014 OPTimized Yield casting ProcEss (OPTYPE)** - Syftet med projektet är att visa marknaden potentialen med att gjuta underifrån med gjutjärn. Stort fokus har legat på att vidareutveckla den pilotanläggningen som installerades under det föregående projektet.

**2014-006 Utnyttjande av spillvärme för produktion av resurssnåla livsmedel** - Syftet med projektet är att utreda möjligheterna att tillvarata industriell spillvärme för lokal livsmedelsproduktion i växthus. Målsättningen är att kunna visa på potentialen för hållbart närproducerade livsmedel med fungerande lokal logistik. Denna förstudie ska fungera som ett underlag för etablering av en testbädd där ett växthus etableras på en plats i nära anslutning till en industri. I denna förstudie har tomater valts som en exempelgröda.

**2015-014 ENIG2 Nätverk för energieffektivisering** - ENIG 2 är ett nätverksprojekt som har drivits under tre år. Syftet med ENIG är att stötta små- och medelstora industriföretag (SMF) i arbetet med energieffektivisering. Huvudaktiviteterna inom ENIG har varit att: Sprida information via seminarier, workshops och konferenser. Utveckla behovsanpassade hjälpmedel för målgruppen. Utveckla ett nätverk för effektiv kunskapsöverföring och teknikspridning.

**2016-007 Minskat metallspill Effektivare resursutnyttjande hos gjuterier och plåtindustri** - För många restprodukter från gjuteri och plåtindustri finns redan idag goda avsättningsmöjligheter. Därför fokuserades arbetet i detta projekt på restprodukter där det i dag är svårt att hitta avsättning. De avfallslag som studerats i projektet är följande: Magnesiumslag, Metall- och sandinnehållande stoff från till exempel rensning av gjutgods. Till viss del studerades även andra typer av slagger.

**2017-001 Slutrapport FRAME** - Projektet har syftat till att utveckla en metod som ger ny kunskap om hur järn- och stålsektorn kan öka sin konkurrenskraft genom att underlätta och effektivisera arbetet med energieffektivisering. Metoden bedöms kunna bidra till att ett effektivt, engagerat och långsiktigt arbete med energieffektivisering upprättas på fler organisatoriska nivåer inom företaget.

## Utsläpp

**2011-009 Emissioner av koldioxid från smältning av metall och transport av gjutna komponenter** - Syftet med arbetet har varit att analysera tolv, för Sverige, betydande gjuteriproducerande länders el-situation och att beskriva hur stor emission av CO<sub>2</sub> som den nationella el-mixen ger upphov till. Hypotesen till arbetet är att tillverkning av gjutgods i Sverige och Norge ger en mindre klimatpåverkan beroende på att elproduktionen här genererar mycket låga emissioner av CO<sub>2</sub>.

**2013-003 Measurement of emissions from iron foundry** - The aim of the Odorless Casting project is to address the problems related to the air pollution control of odorous and hazardous gaseous emissions from foundry processes and to pilot specified abatement technologies of the emissions. Iron foundry in Sweden in one of the seven pilot foundries in the project where the odour emission balance will be determined.

**2016-003 Klimatpåverkan av gjutgods** - Syftet med arbetet har varit att analysera tolv, för Sverige, betydande gjuteriproducerande länders el-situation och att beskriva hur stor emission av CO<sub>2</sub> som den nationella el-mixen samt transport från olika länder till en presumtiv köpare i Sverige ger upphov till.

**2016-008 Climate impact of metal-casting** - The purpose of the work on this report has been to analyse the electricity situation of 13 countries that have major foundry

production and to describe the amount of CO<sub>2</sub> emissions resulting from the national energy mix.

## Återvinning och skothantering

**2009-091115 Spånåtervinning på metallgjuterier** - Denna rapport består av två delar, och har tagits fram inom projekten ”Brikettering av aluminium- och bronsspånor” samt ”Vibrationschagering av mässings- och aluminiumspånor”. I den förstnämnda studien har syftet varit att utvärdera möjligheten att brikettera och återsmälta spån från icke-järn metaller. I den andra studien har olika tekniker beskrivits för direktsmältning av aluminium- och mässingsspånor.

**2010-009 Kontroll av föroreningar i skrot** - Dålig skrottillgång medför att allt ”sämre” skrot kommer ut på marknaden. ”Forskningsgrupp järn” har lyft frågan kring renhet på och i skrot och risker med eventuella föroreningar. De risker som diskuteras är metallurgisk påverkan, miljöpåverkan i form av utsläpp samt arbetsmiljömässiga. Denna rapport behandlar de metallurgiska riskerna med förorenat skrot.

## Aluminium

**2006-0330 Utvärdering av Qualiflash-metoden** - Aluminiumoxider påverkar komponenternas statiska och dynamiska hållfasthetsegenskaper negativt. Det är därför viktigt att på ett tidigt stadium veta hur förorenad smältan är vad gäller dessa oxidinneslutningar för att minimera senare kassation av gjutgods. Ett sätt att ta reda på detta är att använda den s.k. Qualiflash®-metoden. Denna är en snabb och lättanvänd metod för att bestämma smältans renhet med avseende på oxider. Syftet med denna studie är att undersöka metodens reproducerbarhet och att försöka göra en bedömning av vilka faktorer som påverkar resultatet.

**2006-0920 Rening av aluminiumsmältor med flussmedel** - Projektets syfte är att undersöka hur flussmedelsbehandling av aluminiumsmälta påverkar arbetsmiljön kring ugnen samt om operatören som utför arbetsmomentet bör använda särskild skyddsutrustning. Bengt Ståhlbom, yrkeshygieniker vid Yrkes- och miljömedicinska centrumet i Linköping har genomfört mätningar av aluminium och vätefluorid i totaldamm på Gjuteriskolan vid Gjuteriföreningen i Jönköping.

**2009-0629 Kornförfining och avgasning av aluminium** - Tester med kornförfining och förädling med hjälp av MTS har utförts på två gjuterier i samarbete med Foseco AB. Proverna har utvärderats med termisk analys, kornstorleksmätning, mikroskopi, hållfasthetsprovning samt densitetsmätning.

**2013-030 High performing aluminium cast components- Literature study** - Studien syftar dels till att belysa inverkan av smälthantering, process, stelning och defektbildning på de mekaniska egenskaperna hos Al-Si legeringar, dels att kartlägga tillgängliga legeringar som används i högtemperaturbeständiga komponenter. Studien kartlägger och rekommenderar ett antal olika sätt att arbeta förebyggande i syfte att uppnå högre duktilitet och belyser tillgängliga kommersiella legeringar med en uttalad hög duktilitet samt legeringar som anses vara varmhållfasta.

## Järn

**2011-017 Oorganiska former för järngjutning – läget 2011** - I detta projekt var syftet att kartlägga hur situationen ser ut för system för formbindemedel utan innehåll av organiska ämnen, speciellt för järngjuterier. Något sådant bindemedel finns inte på marknaden, varför faktainsamlingen utfördes i form av intervjuer med representanter för företag som utvecklar nya bindemedel.

**2011-019 Bindemedel med låg miljöpåverkan - Kvantifiering av kondensat** - Beroende på vilken typ av bindemedel som används bildas olika stor mängd kondensat. För metallgjuterier är detta av stort intresse eftersom kondensatbildningen kan vara begränsande vid ventilationsutformning och värmeåtervinning kopplat till ventilationen. Generellt bildas även mer kondensat när man gjuter aluminium jmf. med järn på grund av den lägre gjuttemperaturen. Målet med detta projekt har varit att kvantifiera mängden kondensat som bildas vid gjutning på olika typer av bindemedel.

**2012-001 Från råsand till kärnsand** - Detta projekt syftar till att minska gjuteriindustrins förbrukning av sand. Den minskade förbrukningen skall uppnås genom att den egna interna återvinningen av sand ökar. En stor del av den lerbundna formsand som idag lämnar gjuteriet kan sannolikt renas och återföras som kärnsand. De förväntade resultaten från projektet är resurseffektivare produktion av gjutgods, något som innebär att gjuteriernas miljöpåverkan minskar.

**2012-002 Formsand som utfyllnadsmaterial – erfarenheter av formsandens tekniska och miljömässiga egenskaper vid återanvändning vid utfyllnadsområden** - Denna rapport presenterar en sammanhållen utvärdering av tekniska och kemiska egenskaper hos bentonitbunden formsand. Syftet med arbetet är att undersöka om återanvändningen vid utfyllnadsområden kan medföra miljö- eller hälsorisker som kräver regelbunden uppföljning och kontroll av omgivande miljön. Rapporten utgör också underlag för en handbok som ska underlätta utredningen av utfyllnadsärenden för både gjuteribranschen och tillsynsmyndigheterna.

**2015-007 Bedömning av urlakning från formsand i utfyllnader** - Delrapporten redogör för delresultat från projektet 1882, "WP2 – Återvinning av restprodukter från gjuterier", som är en del i det Vinnova-finansierade projektet "EnviroMan - Miljö- och kretsloppsanpassade tillverkningsprocesser för metalliska material". Den här delen av projektet har berört utlakning från formsand i utfyllnader.

**2015-008 Användning av formsand med stofttillsats till anläggningsändamål** - Syftet med delprojektet har varit att undersöka om och i så fall inom vilka gränser som stoft från sandrening kan användas som tillsats till överskottssand från gjuterier som används för anläggningsändamål. De parametrar som skall utvärderas, i laboratorieskala, är i första hand den slutliga utfyllnadens hållfasthet och permeabilitet.

**2015-009 Livscykelanalys av olika alternativ för använd gjuterisand** - Målen med studien är att jämföra miljöpåverkan för olika alternativ för hantering av bentonitinneållande formsand, dels ur ett gjuteris perspektiv och dels ur en deponiärgares perspektiv.

**2015-010 Påverkan på bärighet hos torvjord vid inblandning av gjuterisand samt effekt på koldioxidemission ur marken** - Odlade organogena jordar står för en betydande del av Sveriges utsläpp av växthusgaser. Att minska dessa utsläpp är mycket intressant och en möjlig åtgärd skulle kunna vara att höja grundvattenytan. När vattenhalten ökar i torvjordar fås dock stora bärighetsproblem vilket innebär att man inte kan använda tunga jordbruksmaskiner på dessa jordar. Sveriges gjuterier lägger varje år 77 000 ton sand på deponi, något som kan bli kostsamt om de i framtiden inte längre skulle vara befriade från att betala deponiskatt. Ett möjligt användningsområde för denna gjuterisand skulle kunna vara inblandning i torvjord då sandinblandning är en beprövad metod för att öka bärigheten i dessa jordar. Detta förutsatt att önskad effekt fås på bärigheten och att koldioxidemissionen inte ökar.

## Stål

**2007-1217 Rostfria material med lägre legeringsinnehåll och bibehållna egenskaper** - Kostnaderna för tillsats av vissa legeringsämnen har ökat kraftigt på grund av rådande högkonjunktur. För det mesta har nickelpriset störst inverkan på totalkostnaden på rostfria stål, eftersom det kostsamt och används i höga halter. För vissa tillämpningar tillsätts även molybden vilket är det, per kilo, dyraste legeringsämnet. Naturligtvis är vanligen det primära intresset relaterat till korrosionsmotstånd vid val av dessa stål. Men även andra krav som hållfasthet och magnetiska egenskaper kan vara nödvändiga att tillgodose.

**2010-016 Kartläggning av gjuteriindustrins behov av raffinering** - Syftet med delaktiviteten inom projektet var att kartlägga de behov för raffinering som finns inom svensk gjuteriindustrin. Målet var att avgränsa projektet mot vidareutveckling av en raffineringmetod tillämpbar i induktionsugn.

**2012-012 Optimerad värmebehandling av stålgjutgods** - För att få rätt materialegenskaper i slutprodukten genomgår gjutna stålprodukter minst en och oftast flera värmebehandlingar. Detta är en mycket energikrävande process p.g.a. höga temperaturer och långa värmebehandlingstider. Syftet med projektet kan sammanfattas med energieffektivisering genom snabbare uppvärmning (test med oxyfuelbrännare) och kortare hålltider vid processtemperaturen

**2020-001 Åter tillverkning genom pågjutning** - Det beskrivna konceptet är tidigare oprövat och förstudien syftade därför till att svara på två grundläggande frågor: dels om det kan genomföras med existerande teknik eller om nya tekniska lösningar måste utvecklas, dels om det är långsiktigt ekonomiskt och miljömässigt hållbart för specifika utvalda produkter.

## Övriga metaller

**2008-081218 Bly i mässing och kopparlegeringar** - Målsättningen med detta projekt är att studera dagssituationen vad gäller möjligheten att använda bly i mässing och andra kopparlegeringar. Projektet syftar även till att studera vilka möjligheter och hot som finns på kort och lång sikt för gjuteribranschen. Regler gällande arbetsmiljö berörs inte inom ramen för detta projekt.

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

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



RISE Research Institutes of Sweden AB Box 2033, 550 02 JÖNKÖPING Telefon: 010-516 50 00 E-post: <a href="mailto:info@ri.se">info@ri.se</a> , Internet: <a href="http://www.ri.se">www.ri.se</a>	Komponentgjutning RISE Rapport 2023:71 ISBN: 978-91-89821-33-0
--	--