

Filterstoff



## HANS - Återvinning av svårhanterade restprodukter

Cecilia Wästerlid

RISE Rapport 2025:29

# HANS - Återvinning av svårhanterade restprodukter

Cecilia Wästerlid

# Abstract

## **Material recycling of difficult waste materials from the foundry industry**

During three years (2022 - 2025) four companies in the Swedish metal and foundry industry (GreenIron, Sandvik, Scania and Österby Gjuteri) have joined forces with the research institutes Swerim and RISE to find alternatives to landfill, i.e. recycling and/or reuse, of some waste materials left over from casting processes. The materials in focus are scale from Sandvik, slags from Sandvik and Scania, grind and coolant mixture from Scania and dust from Österby Gjuteri. All the materials were considered as “difficult” to reuse or recycle at the beginning of the project.

The following tests have been performed within the project:

- Reduction of metal oxides using GreenIron’s technology. Two tests were performed with the purpose to see how much of the metal oxides in the samples could be reduced to metal with aim to reuse it as raw material in production. Scales and dust showed most potential for reduction.
- Separation of the metal fraction from slag to be able to reuse the metal fraction in production.
- Get dust into pellets to make it possible to reduce by GreenIron’s technique, but also for a possible reclassification of the material to a non-hazardous material. Handling of non-hazardous materials are both safer and cheaper.
- Separation of coolant from grind in a grind and coolant mixture. The coolant may be reused in production and the grind together with grinding chips can be pressed to pellets and then fed back as raw material to the production process.

The result of the project is that several of the ideas tested in the project are worth taking forward for further analysis and potential implementation. Five ideas have during the project been explored in overview business cases.

The work in work package 4 is part of the project HANS, which is a project financed by the Swedish Strategic Innovation Program Metallic Materials and a consortium of a total of 13 companies in the Swedish metal and foundry industry.

Key words: Material recycling, material reuse, casting, foundry, scale, slag, grind, coolant, dust

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2025:29

ISBN:978-91-90036-13-6

# Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>2</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Innehåll i HANS arbetspaket 4</b> .....	<b>4</b>
1.1 Enligt ansökan .....	4
1.2 Anpassning utefter projektets gång.....	4
<b>2 Genomförande</b> .....	<b>4</b>
2.1 Deltagare.....	4
2.2 Möten och inspirationsföreläsningar .....	5
2.3 Våra svårhanterliga restmaterial .....	5
2.4 Genomförda tester och analyser .....	6
2.4.1 Kemiskt innehåll i restmaterialen .....	6
2.4.2 ThermoCalc-beräkningar .....	7
2.4.3 Stoff till kuber.....	8
2.4.4 Reduktionstest 1 GreenIron .....	8
2.4.5 Reduktionstest 2 GreenIron .....	11
2.4.6 Separation av järn ur slagg.....	12
2.4.7 Separation av skärvätska från och brikettering av slipmull.....	13
<b>3 Affärsmodellsgenombgång</b> .....	<b>13</b>
3.1 Reduktion med hjälp av GreenIrons teknik för Sandviks glödskal.....	14
3.2 Separation av metallfraktionen ur Scantias slagg .....	15
3.3 Binda, klumpa ihop stoft från Österby för att det inte ska behöva hanteras som farligt avfall vid transport .....	16
<b>4 Resultat</b> .....	<b>16</b>
<b>5 Förslag till vidare utveckling</b> .....	<b>17</b>
<b>6 Bilagor</b> .....	<b>20</b>

# Sammanfattning

Under tre år (2022-2025) har fyra företag i den svenska metall- och gjuteribranschen (GreenIron, Sandvik, Scania och Österby Gjuteri) gått samman för att tillsammans med de två forskningsinstituten Swerim och RISE hitta alternativ till deponering, dvs återvinning och/eller återanvändning, för några avfallsmaterial som uppkommer inom gjuteriprocesser. Materialen som projektet fokuserat på är glödskal från Sandvik, slagg från Sandvik och Scania, slipmull- och skärvätskeblandning från Scania och stoft från Österby Gjuteri. Alla materialen uppfattades som "svåra" att återvinna eller återanvända vid projektets början.

Följande tester har genomförts inom projektet:

- Reduktion av metalloxider med GreenIrons teknik. Två tester har genomförts i syfte att se hur mycket av metalloxiderna i proverna som kan reduceras till ren metall med målet att kunna återanvända metallen som råmaterial i produktion. Glödskal och stoft visade bäst potential att reduceras.
- Separation av metallfraktionen från slagg för att kunna återföra denna till produktionen igen.
- Få stoftet till pellets för att kunna reduceras med GreenIrons teknik men också för att om möjligt kunna omklassificera materialet till icke farligt avfall. Icke farligt avfall är både tryggare och billigare att hantera.
- Separera skärvätska från slipmull ur blandningen av slipmull och skärvätska. Skärvätskan kan återanvändas i produktion och slipmullen kan pressas till briketter tillsammans med spånor och sedan återföras som råmaterial i produktion.

Resultatet från projektet är att flera idéer som testats inom projektet är värda att ta vidare till fördjupad analys och möjligt införande. Fem idéer har under projektet undersökts vidare genom övergripande affärsmodellanalys.

Arbetet inom arbetspaket 4 är del av projektet HANS, vilket är finansierat av det strategiska innovationsprogrammet Metalliska Material och ett konsortium av 13 företag inom svensk metall- och gjuteriindustri.

# 1 Innehåll i HANS arbetspaket 4

## 1.1 Enligt ansökan

Delprojektet AP4 ”Återvinning av svårhanterade restprodukter” beskrivs i projektansökan att innehålla följande aktiviteter:

- Fördjupad litteraturstudie om förädling av svårhanterade restprodukter
- Undersöka olika förädlingsprocesser inkl. separering och reduktion av metalloxid
- Utvärdera olika mängdförhållanden restmaterial och råmaterial
- Utvärdera tillverkade komponenter genom t.ex. mikrostuktursanalys och mekanisk provning

## 1.2 Anpassning utefter projektets gång

Vi valde att göra några avsteg från ovan för att bättre passa till projektdeltagarnas behov:

- Istället för fördjupad litteraturstudie valde vi att bjuda in ett antal inspirationsföreläsare till våra möten.
- Vi har inte utvärderat tillverkade komponenter, däremot materialegenskaperna efter reduktion med GreenIrons teknik.

# 2 Genomförande

## 2.1 Deltagare

Följande personer har deltagit i projektarbetet.

Tabell 1: Projektdeltagare i HANS arbetspaket 4.

Företag	Namn	Roll i projektet
GreenIron	Jan Boberg	Deltagare
GreenIron	Maciej Kaplan	Deltagare
RISE	Mahsa Saeidpour	Deltagare
RISE	Cecilia Wästerlid	Delprojektledare från maj 2023
Sandvik Svedala	Rickard Centrén	Deltagare fram till okt 2024
Sandvik Svedala	Jörgen Pettersson	Deltagare
Scania	Jessica Elfsberg	Deltagare

Företag	Namn	Roll i projektet
Swerim	Liviu Brabie	Delprojektledare till maj 2023, därefter deltagare
Österby Gjuteri	Maria Bendixen	Deltagare

## 2.2 Möten och inspirationsföreläsningar

I arbetspaketet har vi haft 18 digitala 0,5–1 timmesmöten inom delprojektet (8 möten 2023, 9 möten 2024, 1 möte 2025) samt fem fysiska möten tillsammans med huvudprojektet på Scania i Södertälje, Hydro Aluminium i Vetlanda, Sandvik i Svedala, Laholms stål i Laholm och på GreenIron i Sandviken.

På tre av våra delprojektmöten fick vi inspirationsföreläsningar av följande personer:

- Björn Haase, Höganäs, juni 2023, på temat ”Possible use of slags from the iron and steel industry”.
- Studenter från Chalmers, oktober 2023, om ”Återvinning av järnspån och slipmull för vattenrening”.
- Sara Rosendahl, Swerim, mars 2024 om förstudie om återanvändning av skänkslagg.

## 2.3 Våra svårhanterliga restmaterial

Följande restmaterial har undersökts inom arbetspaketet:

Tabell 2: Undersökta restmaterial

Från företag	Restmaterial	Beskrivning
Sandvik Svedala	Glödskal	Yttre skikt av gjutgodset av manganstål som i kontakt med luftens syre oxideras och bildar ett tunt skal. Glödskalet avlägsnas från produkterna och ser då ut som tunna blad några centimeter långa och breda och med en tjocklek på någon millimeter. Ca 300 ton glödskal år 2021.  Hantering vid projektets början: Glödskalet skickas till metallavfallshanteringsanläggning.
Sandvik Svedala	Slagg	Slaggbildare i form av kisel- och magnesiumoxid läggs på ytan av smältan av manganstål för att fånga upp de oönskade metalloxyderna som flyter upp och då fastnar i slaggbildaren. Slaggen skrapas av och får stelna till spröda, porösa kakor. Ca 2000 ton slagg och gjutsand år 2021.  Hantering vid projektets början: Slaggen deponeras.

Från företag	Restmaterial	Beskrivning
Scania	Slagg	Slaggbildare i form av kisel- och magnesiumoxid läggs på ytan av smältan av gjutjärn för att fånga upp de oönskade metalloxider som flyter upp och då fastnar i slaggbildaren. Slaggen skrapas av och får stelna till spröda, porösa, "svampiga" kakor. Ingen information tillgänglig vid projektets början om hur mycket slagg per år som skapas.  Hantering vid projektets början: Slaggen deponeras.
Scania	Slipmull	Finfördelad avslipad metall som samlas upp tillsammans med den skärvätska som förbrukas vid slipningen av produkter. Den innehåller även rester från slipskivorna, vilket kan vara kiseldioxid, diamant och papper. Ca 550 – 900 ton slipmull år 2021.  Hantering vid projektets början: Slipmullen deponeras.
Österby Gjuteri	Filterstoff	Stoft av metallpartiklar som fastnar i luftfilter vid tillverkningen. Österby hanterar flera olika metallegeringar och blandningen i filtren avspeglar det som för tillfället produceras. Ca 10 ton filterstoff/år 2021.  Hantering vid projektets början: Stoftet klassas på grund av sin partikelstorlek som farligt avfall och hanteras som sådant. Skickas till metallavfallshanteringsanläggning (Stena).

## 2.4 Genomförda tester och analyser

### 2.4.1 Kemiskt innehåll i restmaterialen

Inledningsvis i projektet ombads respektive företag att ta fram kemiskt innehåll av respektive restmaterial. Analyserna är genomförda av respektive företag och de kan ha utförts med olika tekniker. Se nedan lista för övergripande kemiskt innehåll.

Tabell 3: Kemiskt innehåll i restmaterial

Från företag	Restmaterial	Beskrivning
Sandvik Svedala	Glödskal	Består bl.a. av ca 55% järn, 13% mangan, 1% kisel
Sandvik Svedala	Slagg	Består bl.a. av ca 23% magnesium, 15% kisel, 5% järn, 3 % mangan och 2% kalcium
Scania	Slagg	Består av ca 35% SiO <sub>2</sub> , 30% FeO, 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 15% MgO och mindre än 1% av respektive CaO, TiO <sub>2</sub> och Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Från företag	Restmaterial	Beskrivning
Scania	Slipmull	Innehållet i slipmullen beror på från vilken produktionslina som den kommer. I testerna med slipmull inom detta arbetspaket har slipmull från vevaxelproduktionen använts och den innehåller följande: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stål, järn med legeringsämnen. Störst andel i stålet har C, Si, Mn och Cu.</li> <li>• Vatten</li> <li>• Skärvätska Emulsion Quaker 3750 BFF</li> <li>• Tensider, skumdämpare som tillsätts i emulsionen för att minska skumbildning, små mängder av totala volymen emulsion</li> <li>• Hydraulolja (läckage från maskiner)</li> <li>• CBN från slipskivor. Vid slipning slits skivor och detta hamnar i mullen, dock i väldigt små mängder.</li> <li>• Dicalite IFAB Perlite 900 (något vi blandar in i slipmullen)</li> </ul>
Österby Gjuteri	Filterstoff	Innehållet varierar beroende på vad som produceras. En analys som genomfördes i juni 2023 visade att det provet innehöll ca 34 vikts% kisel, 24vikts% magnesium, 28 vikts% järn, 7 vikts% krom, 3 vikts% aluminium och 2 vikts% nickel samt ytterligare ett antal metaller i lägre halter än 1 vikts%.

## 2.4.2 ThermoCalc-beräkningar

Livi Brabie, Swerim, genomförde under hösten 2023 en serie beräkningar med verktyget ThermoCalc i syfte att förstå reduktionsmönster för olika metaller vid olika atmosfärer av H<sub>2</sub> och H<sub>2</sub>O, tryck och temperatur. Gemensamt för alla beräkningarna är att vätgas visas på y-axeln och vattenånga på x-axeln enligt:  
y-axel: -10 till 10 log<sub>10</sub>(P(H<sub>2</sub>)) (bar), x-axel: -10 till 10 log<sub>10</sub>(P(H<sub>2</sub>O)) (bar)

Diagrammen är framtagna för att studera bildningen och stabiliteten hos Fe-oxider, Cr-oxider, (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrO, etc.), Mn och FeMn som en funktion av väte (H<sub>2</sub>) och vattenånga (H<sub>2</sub>O) och tryck vid olika temperaturer. Detta är särskilt viktigt för att förstå oxidernas beteende och hur processparametrar kan optimeras för att påverka deras stabilitet och skyddande egenskaper vid höga temperaturer i närvaro av reductiva och oxidativa gasmiljöer. Resultatet av dessa beräkningar visar att materialen kan reduceras genom att justera temperatur, vätgastryck och vattenångstryck. De olika grundämnena har varierande benägenhet att reduceras, vilket gör det möjligt att anpassa och optimera processen beroende på det specifika ämnet. Diagrammen representerar endast jämviktstillstånd och ger ingen information om den tid som krävs för att uppnå reduktion.

För att få en förståelse för hur snabbt reduktionsprocessen sker under verkliga förhållanden krävs kinetiska studier. Sådana studier är viktiga för att kunna bestämma tiden som krävs för varje specifikt material och dess partikelstorlek för att så effektivt som möjligt kunna reducera specifika oxider genom att olika processparametrar varieras.

Beräkningsresultaten finns i följande bilagor:

- Bilaga\_01\_Fe oxides function of H<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O at different temperatures.pdf  
Beräkningsparametrar: Fe-H-O, 300-900 °C
- Bilaga\_02\_Cr oxides function of H<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O at different temperatures.pdf  
Beräkningsparametrar: Cr-H-O, 300-900 °C
- Bilaga\_03\_FeCr oxider baserat på T, H<sub>2</sub>O och H<sub>2</sub>.pdf  
Beräkningsparametrar: Fe-Cr-H-O, 300-1400 °C
- Bilaga\_04\_Mn och FeMn oxides funktion of PH<sub>2</sub> och PH<sub>2</sub>O mellan 200-800 C.pdf  
Beräkningsparametrar: Mn-H-O, 200-800 °C samt Fe-Mn-H-O, 200-600 °C

### 2.4.3 Stoft till kuber

Maria Bendixen, Österby Gjuteri, genomförde en serie tester för att forma om stoft infångat i filter till lagom stora bitar, pellets, för att kunna reduceras med GreenIrons teknik. Testerna visade att det går att skapa kuber om stoftet blandas med vattenglas, som är en lösning av vatten och natriumsilikat ( $\text{Na}_2[\text{SiO}_2(\text{OH})_2] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ), och sedan låta blandningen stelna i en form. Dessa kuber behöll formen under reduktionstestet.

Mer om testets genomförande och resultat kan hittas i  
Bilaga\_05\_Österby\_Stoftprovstester\_för\_att\_få\_fram\_pellets.pdf

Testet visar också att stoftet, som hanteras som farligt avfall på grund av sin partikelstorlek, skulle kunna omformas till en mindre farlig form genom att binda det/klumpa ihop det. Den process som testats inom detta projekt skulle i så fall behöva vidareutvecklas så att ingen människa utsätts för stoftet under själva pelleteringsprocessen.

### 2.4.4 Reduktionstest 1 GreenIron

26 oktober 2023 genomfördes projektets första reduktionsförsök med GreenIrons teknik. Testet utfördes under ledning av Jan Boberg på demoanläggningen i Kumla.

Fyra prover testades:

- Sandvik slagg
- Sandvik glödska
- Scania slagg
- Österby stoft

De olika proverna tilldelades en fjärdedel var av provutrymmet.



Bild 2: Prover förberedda inför reduktion med GreenIrons teknik.

Reduktionsprogrammet ställdes in för att på bästa sätt passa de fyra materialen, men var inte optimerat för något av dem. Proverna vägdes och fotograferades före och efter reduktionen och prover för kemisk analys, XRF (röntgenfluorescens) och XRD (röntgendiffraktion) togs också ut före och efter reduktionen. Dessa analyser genomfördes sedan för alla åtta prover vid samma tillfälle på D-Lab i Degerfors.

Resultaten visar att de prover som innehöll mest järnoxider, vilket var filterstoff (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) och glödskal (FeO och Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) reducerades bäst tillbaka till järn.

Jan Boberg har sammanfattat försöket och resultatet i en rapport: Bilaga\_06\_Reduktionsförsök\_1\_GreenIron\_HANS\_WP4.pdf

Under våren 2024 tittade Liviu Brabie, Swerim, på de reducerade proverna i elektronmikroskop, SEM.

### Sandvik slagg

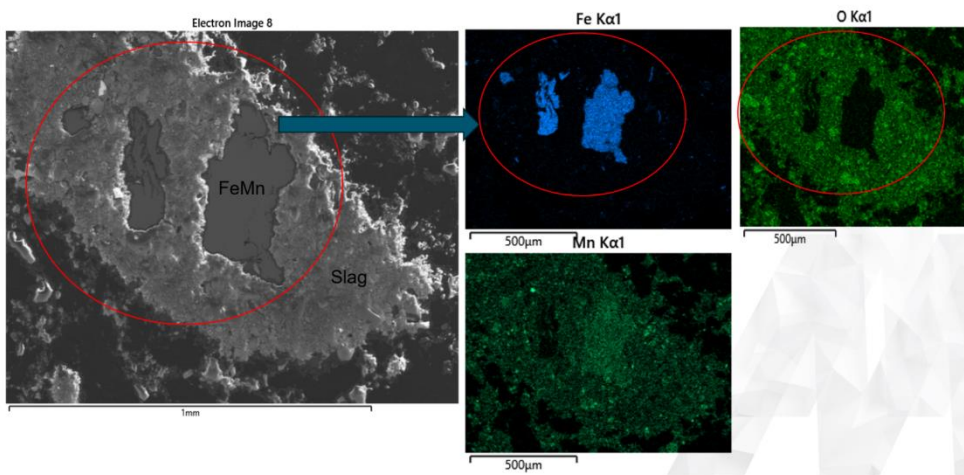


Bild 3: SEM-bild av Sandviks slaggmaterial och EDS-analys

Bild 3 visar en typisk SEM-bild av Sandviks slaggmaterial tillsammans med EDS-analys. (EDS står för Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy) I bilden framgår det tydligt att järnmaterialen är inbäddat i slaggen. Undersökningen av materialet visar att stora partiklar av FeMn (järn-manganlegering) är omgivna av en slaggmatri. EDS-analysen bekräftar förekomsten av järn och mangan i dessa partiklar, medan slaggen

består av typiska oxidbaserade föreningar. Det är viktigt att notera att järnmaterialet inte är oxiderat. Detta kan vara avgörande för återvinning eller vidare bearbetning. En föreslagen metod för återvinning kan vara att materialet krossas, följt av en separation där slaggen skiljs från FeMn-partiklarna. Man kan konstatera att det inte finns något behov av ytterligare H<sub>2</sub>-reduktion av detta material.

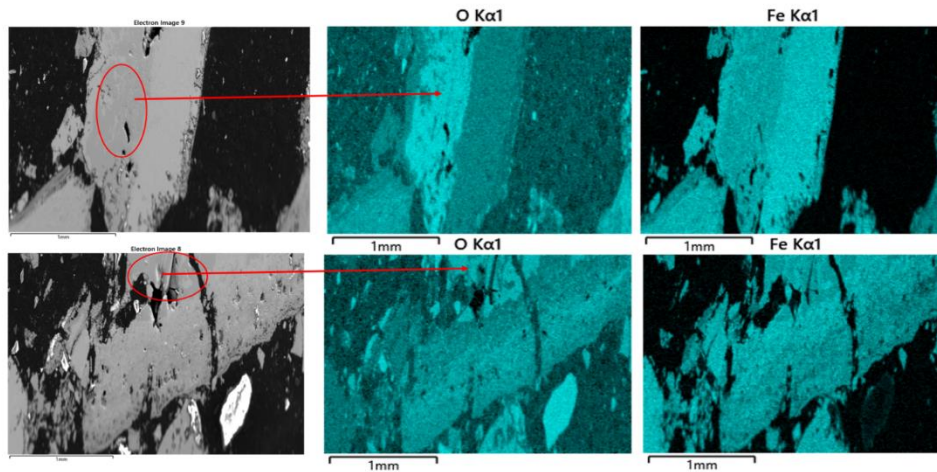


Bild 4: Bild tagen med elektronmikroskop av reducerat prov av Sandviks glödskal.

I Bild 4 visas ett typiskt Sandvik-glödskal-material. Som man kan se i bilden visar de markerade områdena att vissa delar av glödskalpartiklarna är oreducerade och innehåller mer syre, vilket framgår av EDS-mappningen. Det yttre lagret av partikeln är reducerat, vilket kan ses på den porösa strukturen i det yttre lagret. Processparametrarna för reduktion bör ta hänsyn till glödskalets partikelstorlek.

Reduktionen har skett på ytan av partiklarna, men inte helt igenom dem, vilket innebär att både provberedning och reduktionsprogram går att optimera. Med mindre partiklar och optimerat reduktionsprogram borde ännu högre grad av reduktion kunna uppnås.

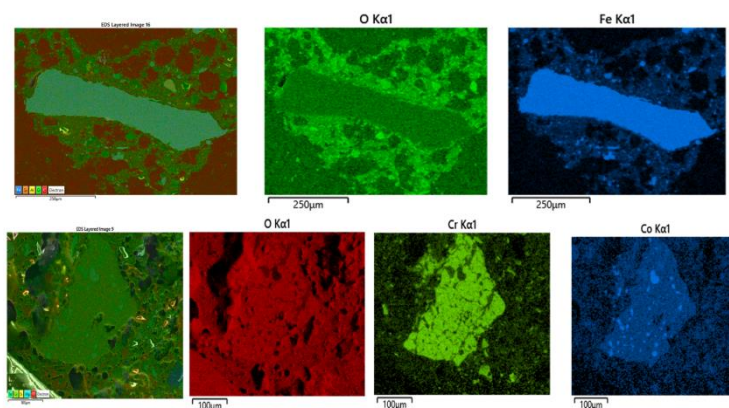


Bild 5: Bild tagen med elektronmikroskop av reducerat prov av Österby stoft.

I Bild 5 presenteras ett typiskt prov av Österby-materialet. Stoftmaterialet är en blandning av olika partiklar med varierande kemiska sammansättningar. På den övre bilden visas en järnpartikel som inte är oxiderad. Strukturen är helt kompakt och saknar porer. På den nedre bilden presenteras en krom/koboltoxidpartikel. Denna partikel är oreducerad, eftersom reduktion av krom kräver en högre temperatur,

> 1000 °C. För sådant material behövs en djupare kemisk analys för att fastställa lämplig reduktionsprocess samt hur materialet kan användas vidare.

Generellt är det svårt att uppnå en hög reduktionsgrad eftersom reduktionshastigheten minskar avsevärt efter 70–90 % reduktion. Detta beror på att ett skal av tätt järn bildas runt wustitkornen, vilket kräver atomär diffusion av syre genom järnet för att reduktionen ska fortsätta. Denna process är långsam på grund av den låga drivkraften och den låga diffusionskoefficienten.

I publicerad litteratur framgår att för mindre wustitkorn kan gasreduktionen styra hastigheten upp till 95 % reduktion eller mer, men för korn med en storlek på cirka 2 µm kommer hastigheten att minska betydligt tidigare när den atomära diffusionen börjar dominera processen. Dessutom, om det jämviktsgastryck som råder vid Fe/FeO-gränsen överstiger 1 atm, kan järnskalet spricka, vilket möjliggör snabbare gasreduktion. Att anlöpa eller hålla materialet vid magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) kan också bidra till att reduktionshastigheten avtar vid lägre reduktionsgrader.

Bilder för respektive material finns i följande bilagor:

Bilaga\_07\_Elektronmikroskop\_Sandvik\_glödskal\_reducerat.pdf

Bilaga\_08\_Elektronmikroskop\_Sandvik\_slagg\_reducerat.pdf

Bilaga\_09\_Elektronmikroskop\_Scania\_slagg\_reducerat.pdf

Bilaga\_10\_Elektronmikroskop\_Österby\_stoft\_reducerat.pdf

Vidare arbete med slaggen utfördes genom att först krossa och sedan magnetseparera materialet. Analys av materialet, som studerades med XRF (röntgenfluorescens) och SEM, visade att fraktionerna till stor del var likadana, det vill säga att ingen egentlig separation hade skett. Magnetseparationen utfördes med laborietrustning, och ytterligare tester krävs för att fastställa de optimala processparametrarna. Det är dock nödvändigt att undersöka slaggen för att definiera vilken partikelstorleksfördelning materialet bör krossas till för att uppnå effektiv separation.

## 2.4.5 Reduktionstest 2 GreenIron

För ett andra reduktionstest med GreenIrons teknik valdes två av materialen ut, med syftet att kunna optimera provberedningen. Reduktionsprogrammet genomfördes på liknande sätt som i det första testet.

Materialen som valdes ut var:

- Sandviks glödskal
- Scantias slagg

Materialproverna till test 2 plockades ur samma utgångsmaterial som skickats in av företagen inför test 1.

Reduktionstest 2 genomfördes 30 maj 2024, även denna gång under ledning av Jan Boberg samt på testanläggningen i Kumla.

Skillnaden mot det första testet var att provberedningen ändrades. För Sandviks glödskal innebar det att glödskalen maldes till under 100 µm och formades till briketter. För Scantias slag innebar det att järnkulor, tillräckligt stora/synliga för att kunna plockas ur, plockades ur manuellt innan slaggen maldes och formades till briketter.



Bild 6: Prover förberedda för reduktionstest 2. Slagg till vänster och glödskal till höger.

På motsvarande sätt som i test 1 vägdes och fotograferades proverna före och efter reduktionen och prover för kemisk analys, XRF (röntgenfluorescens) och XRD (röntgendiffraktion) togs ut före och efter reduktionen. Dessa prover samt referensprov av obehandlad slagg (totalt fem prover) skickades sedan till D-Lab i Degerfors för analys.

Glödskalproverna förlorade nästan 19 % i vikt och XRD-analysen tillsammans med en uppskattning av massbalansen visar att så gott som all järnoxid reducerat till järn. De analyser och data som tagits fram inom detta test räcker inte för att säga om och i så fall hur mycket manganoxiden reducerats, men det borde gå att optimera processparametrarna och utföra mer specifika analyser och beräkningar för att förstå mer om manganoxiderna.

Slaggproverna förlorade bara ca 3 viktsprocent. XRD-analysen visar att järnoxiden i provet reduceras, men då det ursprungliga provet inte innehöll så mycket av järnoxid (3,5 viktsprocent enligt massbalansberäkning) blir detta material mindre intressant ur reduktionssynpunkt. För denna slagg kan det vara mer intressant att skilja ut det metalliska järnet som förekommer i materialet genom andra metoder, se avsnittet ”Separation av järn ur slagg”. Om slaggmaterialet används flera gånger och järnoxidhalten i och med det ökar, kan det kanske vara mer intressant för reduktion.

Maciej Kaplan har sammanfattat försöket och resultatet i en rapport:

Bilaga\_11\_Reduktionsförsök\_2\_GreenIron\_HANS\_WP4.pdf

## 2.4.6 Separation av järn ur slagg

I samband med reduktionstest 2 på GreenIron 30 maj 2024, förberedde Jan Boberg Scantias slaggprover genom att manuellt plocka ut de järnkulor som var tillräckligt stora. Först vägde han in en portion material, slog sönder det med en hammare, plockade ut alla järnkulor han kunde se och vägde sedan det kvarvarande materialet. Det visade sig att ca 15 % av slaggen bestod av järnkulor, som troligtvis skulle kunna återföras som ingående råvara till produktion. Det reade slaggmaterialet skulle kunna

återanvändas som slagghmedel eller först genomgå en ytterligare ”rening” från järnoxider genom reduktion, innan det skulle kunna återanvändas.

En utförligare beskrivning av tillvägagångssättet och resultatet finns i bilaga:  
Bilaga\_12\_HANS\_Dispergerat\_stål\_Scania\_slagg.pdf

För att optimera urskiljningen av metalliskt järn ur slaggen skulle förslagsvis följande steg kunna övervägas:

1. Krossning av slagg
2. Magnetseparering där metalliskt järn separeras ut för att sedan återföras som råvara.
3. Finmalning av återstoden av slaggen (järnoxid + övriga oxider).
4. Återstoden briketteras till pellets för att passa in i reduktionsprocessen.
5. Reduktion (järnoxid reduceras till järn)
6. Järn utvinns ur den reducerade slaggen och återförs som råvara. Slaggmaterialet som nu renats från järn återanvänds som slaggmaterial.

### 2.4.7 Separation av skärvätska från och brikettering av slipmull

På uppdrag av Scania genomförde Gothia maskins Ville Valakari och Mikael Vestin tester med Scantias slipmull. Slipmullen hanteras som ett kombinerat avfall tillsammans med den skärvätskan som förbrukas vid putsningen av gjutgods och som också är den process som upphovet till själva slipmullen.

Två tester genomfördes: först i Jönköping våren 2023 och sedan i Tyskland våren 2024. Testerna gick ut på att med hjälp av en briketteringsmaskin separera slipmullen från skärvätskan, ta hand om skärvätskan för möjligt återbruk samt att genom att brikettera mullen kunna skapa briketter som skulle kunna återanvändas som råvara i produktion.

De övergripande resultaten från testerna är lovande. Mull och skärvätskeblandningen innehöll 72% skärvätska eller 0,78 liter skärvätska per kilo blandning. Med tillräcklig rening borde skärvätskan kunna återföras och användas igen. Mullen gick att brikettera, men briketterna blev bräckliga. Tester genomfördes där upp till 10 % mull blandades med spånor och det gick bättre och gav stabilare briketter.

För en utförligare rapport av genomförda tester se nedan rapport i bilaga:  
Bilaga\_13\_HANS\_Briketter\_av\_mull\_och\_spånor\_2025-01-02.pdf

## 3 Affärsmodellsgenombgång

Affärsmodeller var en del av HANS-projektets arbetspaket 5 där respektive arbetspaket 2, 3 och 4 identifierade idéer till intressanta förslag att arbeta vidare med för att se förutsättningar för ett eventuellt införande. Inom arbetspaket 4 identifierade vi följande idéer som tillräckligt intressanta att gå vidare med och bearbetade dem genom övergripande affärsmodellsgenombgångar.

Arbetspaket 4:as idéer är:

- Reduktion med hjälp av GreenIrons teknik för Sandviks glödskal
- Reduktion med hjälp av GreenIrons teknik för Scantias slagg
- Separation av metallfraktionen ur Scantias slagg
- Binda, klumpa ihop stoft från Österby för att det inte ska behöva hanteras som farligt avfall vid transport
- Pressa ut skärvätskan ur Scantias slipmull, återanvända skärvätskan
- Göra briketter av Scantias slipmull och spånor

För några av dessa idéer har vi inom delprojektet på övergripande nivå gjort affärsmodellsgenomgångar och dessa genomgångar redovisas nedan. Genomgångarna tog ca 20-30 minuter att genomföra och utfördes i digitala möten. Utöver de som redovisas nedan har Scania arbetat vidare med idéerna kring slipmull och skärvätska. Den enda idén av ovan som vi inte gått vidare med är ”Reduktion med hjälp av GreenIrons teknik för Scantias slagg”.

### 3.1 Reduktion med hjälp av GreenIrons teknik för Sandviks glödskal

25 september 2024 gjordes nedan övergripande genomgång av Rickard Centrén från Sandvik i samtal med Cecilia Wästerlid från projektet av idén att reducera glödskal med GreenIrons teknik.

Tabell 4: Övergripande affärsmodellsgenomgång Sandvik glödskal

Aspekt	Övergripande beskrivning	Förväntad effekt	Status
1. TRL-nivå	Har testats i pilotskala. Behöver vidareutvecklas.	Positiv	TRL6
2. Praktiska utmaningar	Många utmaningar: * Transport till och från reduktionsanläggning. Bör vara klassat som biprodukt, inte avfall, för att förenkla transport. Indikativt exempel för transportkostnad: transport av 30 ton en sträcka av ca 150 mil kostar ca 100 000:- * Malning i stor skala * Däremot enkelt att skilja ut glödskalen. De hamnar i botten och kan lätta avskiljas.	Negativ	
3. Kvalitetsutfall	Testerna visade på tillräcklig reduktion för att kunna återföra reducerat material. Däremot skulle ytterligare tester behövas innan återföring i produktion.	Positiv	Ytterligare test
4. Risker	Risk att kostnad överstiger nyttan	Negativ	
5. Arbetsmiljö	Ingen påverkan	Neutral	
6. Yttre miljö	Ingen påverkan	Neutral	
7. Klimatpåverkan	Positiv, återanvändning istället för deponi	Positiv	

Aspekt	Övergripande beskrivning	Förväntad effekt	Status
8. Energiåtgång	Energiåtgång ökar: transport, malning, brikettering, reduktion. Smältprocess kan kanske gå snabbare med pulverbaserade briketter	Negativ	
9. Kostnader	Ökar: Arbetskostnad GreenIron, energikostnader + transport Minskar: Minskade kostnader för transport och deponi av glödska, minskat behov att tillföra nyinköpt material	Negativ	

## 3.2 Separation av metallfraktionen ur Scantias slagg

11 november 2024 gjordes nedan övergripande genomgång av Christopher Armstrong, Jessica Elfsberg, Isak Hollinger och Stefan Hujanen från Scania och Jan Boberg från GreenIron i samtal med Cecilia Wästerlid från projektet av idén att separera ut metallfraktionen ur Scantias slagg.

Tabell 5: Övergripande affärsmodellsgenomgång Sandvik slagg

Aspekt	Övergripande beskrivning	Förväntad effekt	Status
1. TRL-nivå	Inledande test	Neutral	TRL 3
2. Praktiska utmaningar	Kross innebär stoft, titta på ventilation. "Offra" en skrotficka, men inte omöjligt, kanske använda flyttbar container Vem får ansvar för underhåll mm? Göras av Scania innebär ytterligare medarbetare/leja ut?	Negativ	Scania är duktiga på att hantera den här typen av frågor.
3. Kvalitetsutfall	Utseparerat material är ren metall, 99 % rent järn	Positiv	
4. Risker	Slagg blir det ju ändå och om finare partiklar kan den bli svårare att hantera. Däremot består slaggen av en materialkomponent mindre.	Negativ	Hur hantera kan ingå i nytt projekt.
5. Arbetsmiljö	Kross innebär stoft, titta på ventilation	Negativ	
6. Yttre miljö	Mindre mängd slagg till deponi	Positiv	
7. Klimatpåverkan	Återföra material innebär minskat behov av nytt material. Om annan än Scania utför, transport? Transporter kanske blir ett nollsummespel - mindre material in, mindre restmaterial transporteras ut.	Positiv	
8. Energiåtgång	Kross kostar i energi	Negativ	

Aspekt	Övergripande beskrivning	Förväntad effekt	Status
9. Kostnader	15 % åter i material till produktion, minskat inköpsbehov. Ytterligare arbetsmoment och utrustning kostar.	?	Behöver beräknas

### 3.3 Binda, klumpa ihop stoft från Österby för att det inte ska behöva hanteras som farligt avfall vid transport

14 oktober 2024 gjordes nedan övergripande genomgång av Maria Bendixen från Österby Gjuteri i samtal med Cecilia Wästerlid från projektet för idén att binda, klumpa ihop stoft för att det inte ska behöva hanteras som farligt avfall.

Tabell 6: Övergripande affärsmodellsgenomgång Österby stoft

Aspekt	Övergripande beskrivning	Förväntad effekt	Status
1. TRL-nivå	Idéstadium	Neutral	TRL1-3
2. Praktiska utmaningar	Öppna stoftpåse i behållare alternativt spruta in i filterpåsen för att inte sprida stoffen på arbetsplatsen.	Negativ	Fler tester
3. Kvalitetsutfall	Inledande tester framgångsrika, blev bra kuber.	Positiv	Fler tester
4. Risker	Arbetsmiljö, risk att andas in stoft när det ska behandlas	Negativ	Fler tester
5. Arbetsmiljö	Arbetsmiljö, risk att andas in stoft när det ska behandlas	Negativ	Fler tester
6. Yttre miljö	Bättre att transportera i form av kuber än som stoft	Positiv	
7. Klimatpåverkan	Tillsatsen ger lite mer tyngd och ökad volym, marginell förändring för klimatet	Neutral	
8. Energiåtgång	Om automatisera lite mera, men marginellt	Neutral	
9. Kostnader	Gå från klassning som farligt avfall till vanligt avfall gör att transportkostnad till och hanteringskostnad hos återvinnare blir lägre.	Positiv	

## 4 Resultat

Följande resultat har arbetet i arbetspaketet givit:

- Restprodukterna i arbetspaketet är utvalda för att de ansågs svårhanterliga vid projektets början. Arbetet i projektet har visat att det finns relativt enkla sätt att rena materialen för att återföra dem som råvara till produktionen eller skapa förutsättningar för en enklare hantering.

- Glödskal som till stor del består av oxiderat järn passar väl för reduktion med GreenIrons reduktionsprocess. De inledande försöken visade att reduktionsgraden för Sandviks glödskal var 55 %. I reduktionstest 2 där provberedningen optimerades reducerades så gott som all järnoxid till järn.
- Även Österbys stoft bestod av en hel del oxider och det inledande försöket visade på en reduktionsgrad på 77 %.
- Mer arbete krävs för att fastställa de optimala processparametrarna samt den optimala partikelstorleken på glödskalet för att uppnå högre effektivitet i reduktionsprocessen. I detta optimeringsarbete bör man även ta hänsyn till möjligheten för vätgasen att nå in i partiklarna beroende på hur partiklarnas ytskikt (täta/porösa) ser ut och/eller omformas under processen.
- För att få en ekonomiskt hållbar lösning med reduktion av järnoxid innehållande restprodukter krävs både optimering av provberedning och reduktionsprocessen, men även av eventuella transporter av material till och från reduktionsanläggningen om inte denna finns nära den plats där restmaterialet uppstår.
- Scantias slagg innehåller kulor av rent järn. Dessa bör kunna separeras ut och återföras som råvara. Test visade att 15 % av slaggprovet från Scania bestod av rent järn.
- Det går att klumpa ihop stoft till ett mer lätthanterligt och därmed mindre farligt material genom att blanda det med vattenglas (vatten och natriumsilikat) och sedan stöpa det till kuber i en form.
- Det går att med hjälp av en briketteringsmaskin skilja på slipmull och skärvätska. Blandningen innehåller så mycket som 72 % skärvätska eller 0,78 liter skärvätska per kilo blandning.
- Skärvätskan skulle kunna återanvändas efter eventuellt ytterligare reningssteg.
- Slipmullen som renats från skärvätskan kan blandas med spånor upp till minst 10% och då ge hållbara briketter som kan återföras som råvara.
- Inom delprojektet identifierades sex stycken idéer och fem av dem har tagits vidare till övergripande genomgång av affärsmodell för dem.

## 5 Förslag till vidare utveckling

För alla idéer som framkommit inom delprojektet behövs mer utvecklingsarbete för att de ska kunna införas. Det krävs optimering av provberedning, detaljerade beräkningar av kostnader samt tester i pilotskala.

För några av processerna behövs specifika insatser som skulle kunna vara del av kommande projekt. Dessa är:

- Behandling av stoft vid insamling för att detta inte ska behöva hanteras som farligt avfall. Inom det här projektet har tester gjorts för att pelletera stoftet till kuber, men den processen skulle behöva vidareutvecklas så att ingen människa utsätts för stoftet vid beredningen. Det kan också finnas ytterligare sätt att binda stoftet på, som skulle kunna vara värda att undersöka.

Ett förslag värt att undersöka är om tekniker inom medicinsk teknik där pulver formas till tabletter skulle kunna användas för att binda stoftet.

- För förädling av restmaterialet riskerar transporter till/från reningsanläggningar att bli för dyra för att skapa ekonomiskt hållbara cirkulära flöden. Olika logistiklösningar och -system borde undersökas för att se hur dessa kan optimeras. I detta arbete vore det också intressant att jämföra med råvaror som kommer från alla delar av världen, men där resorna över världen inte verkar påverka priset i någon större utsträckning.
- Ju mer homogen restfraktion, desto enklare är det att återvinna materialet i den. Av den anledningen bör det undersökas hur produktionsprocesser kan optimeras för att generera lämpliga fraktioner redan från början alternativt hur restfraktioner kan separeras i olika fraktioner för att senare enklare kunna återanvändas eller återvinnas.
- Fler idéer behövs för att hantera slagg. Hur kan använt slaggmedlet "tvättas" från de metalloxider slaggen fängt in under användning, så att slaggmedlet kan återanvändas i produktion? Kan metalloxiderna separeras? Hur kan metalloxiderna återföras till produktion/användas i annan process? Hur görs detta på ett kostnadseffektivt sätt?

En del av den använda slaggen i processen bör kunna återanvändas. I slaggen samlas svavel, fosfor och mangan samt vissa andra oönskade element och om dessa är i för hög halt hindrar det återanvändningen som just slaggmedel. Det skulle behövas beräkningar av halter av innehåll och anrikningen av vissa material i slaggen för att förstå mer om möjligheterna att återanvända, men en uppskattning är att så mycket som 10-20 % av slaggen skulle kunna återanvändas.

Mer forskning och utveckling skulle också behövas för att se vad den använda slaggen skulle kunna användas som råvara till. Några förslag är att använda den i olika mineraliska produkter så som bindemedel som liknar bentonit eller cement. Ett annat förslag är som vägutfyllnad.

Det bör undersökas om GreenIrons process eller annan process kan optimeras för att reducera slaggen i högre grad. Teoretiskt ser det ut att gå (se diagram nedan), men reduktionsparametrarna, tryck och temperatur, måste anpassas specifikt.

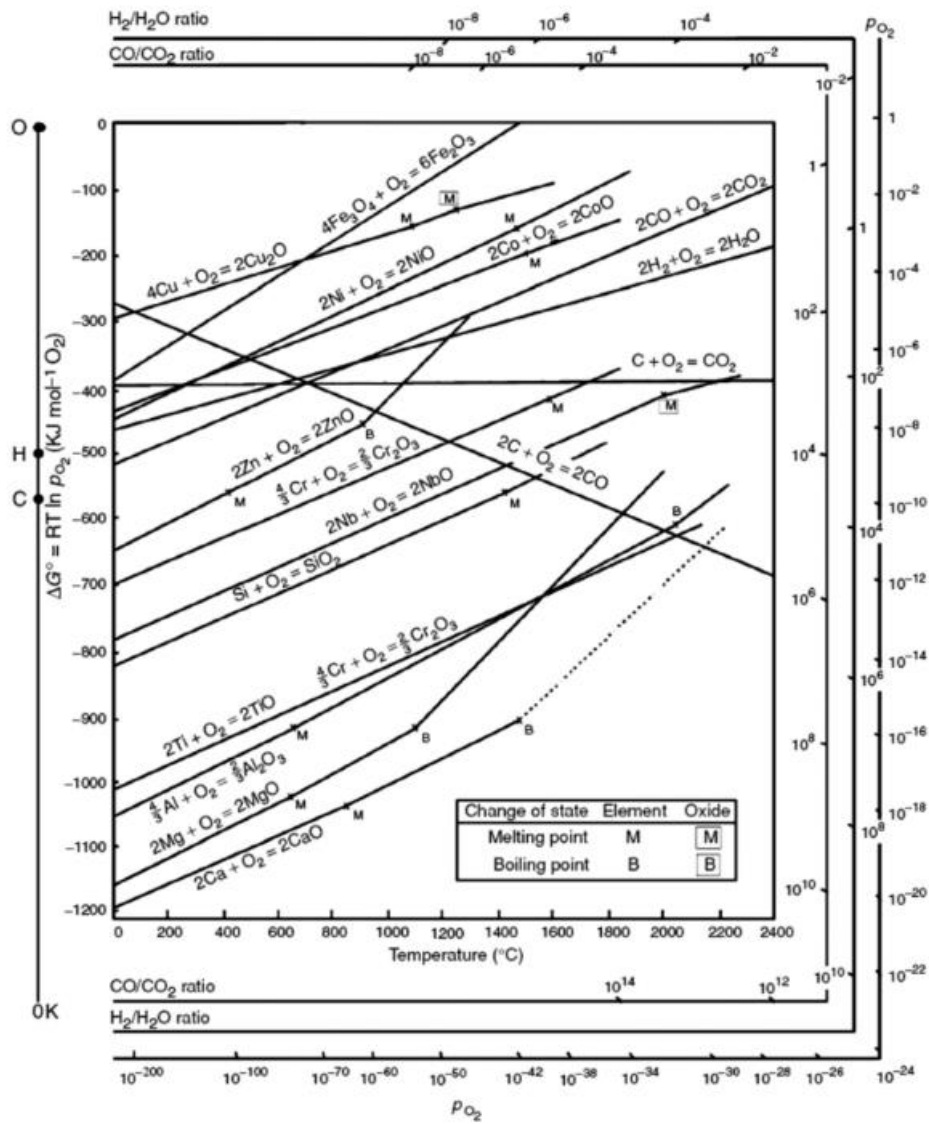


Bild 7: Jämviktsdiagram

## 6 Bilagor

Bilaga\_01\_ThermoCalc\_Fe\_oxides\_Liviu\_2023-09-22.pdf

Bilaga\_02\_ThermoCalc\_Cr\_oxides\_Liviu\_2023-09-28.pdf

Bilaga\_03\_ThermoCalc\_FeCr\_oxider\_Liviu\_2023-09-28.pdf

Bilaga\_04\_ThermoCalc\_Mn\_och\_FeMn\_oxides\_Liviu\_2023-09-19.pdf

Bilaga\_05\_Österby\_Stoftprovstester\_för\_att\_få\_fram\_pellets.pdf

Bilaga\_06\_Reduktionsförsök\_1\_GreenIron\_HANS\_WP4.pdf

Bilaga\_07\_Elektronmikroskop\_Sandvik\_glödskal\_reducerat.pdf

Bilaga\_08\_Elektronmikroskop\_Sandvik\_slagg\_reducerat.pdf

Bilaga\_09\_Elektronmikroskop\_Scania\_slagg.pdf

Bilaga\_10\_Elektronmikroskop\_Österby\_stoft\_reducerat.pdf

Bilaga\_11\_Reduktionsförsök\_2\_GreenIron\_HANS\_WP4.pdf

Bilaga\_12\_HANS\_Dispergerat\_stål\_Scania\_slagg

Bilaga\_13\_HANS\_Briketter\_av\_mull\_och\_spånor\_2025-01-02.pdf

Bilaga\_13x\_Bilaga\_1\_Test\_1\_Ritning\_av\_briketteringsmaskin.pdf

Bilaga\_13x\_Bilaga\_2\_Test\_2\_PV\_24\_05\_08\_Scania\_Gesamt\_MM7.pdf

Bilaga\_13x\_Bilaga\_3\_Test\_2\_RUF\_broschyr\_svenska.pdf



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

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



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

Miljö och hållbar kemi  
RISE Rapport 2025:29  
ISBN: 978-91-90036-13-6