

Restprodukter inom skrotbaserad stålindustri –  
En fallstudie av Uddeholms AB.  
*Värdeskapande materialströmmar och industriell symbios  
för ökad samhällsnytta*

---

OLA OLSSON 2022  
MVEM30 EXAMENSARBETE FÖR MASTEREXAMEN 30 HP  
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET







**LUNDS**  
UNIVERSITET

**WWW.CEC.LU.SE**  
**WWW.LU.SE**

**Lunds universitet**

**Miljövetenskaplig utbildning**  
**Centrum för miljö- och**  
**klimateforskning**  
**Ekologihuset**  
**223 62 Lund**



**LUNDS**  
UNIVERSITET

Ola Olsson

MVEM30 Examensarbete för masterexamen 30 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Carl Dalhammar, Internationella miljöinstitutet, Lunds universitet

Extern handledare: Cecilia Johnsson & Jan Hedlund, Uddeholms AB

CEC - Centrum för miljö- och klimatvetenskap

Lunds universitet

Lund, Sverige. Maj 2022

# Abstract

A variety of rest-material is produced in the processes used in the scrap-metal based steel industry. The largest stream of material, by volume, is steel slag. Since slag material has very different properties and wide differences in its chemical composition its usage can be found in different sectors. The increased understanding of slag and its properties has made companies less prone to divert this material to stockpiling or landfilling, and slag is therefore being used today in various engineering applications. Making better use of these materials, in an eco-friendly way, is essential in order to make the industry more sustainable and protect the environment and human wellbeing.

This study aims to explore opportunities for making better use of restmaterials in the scrap based steel industry in Sweden, using three methods: A case-study, a literature review and semi-structured interviews. The case study were conducted at Uddeholms AB in Hagfors and identified the streams of by-products from the steel-casting process. Steel-slag was identified as the largest material stream, by volume, and its specific usage was discussed further. The literature review aimed at compiling knowledge about practices for making good use of steel-slag in Europe and found a total of twelve usages, with the majority of the literature focused on the construction sector. Lastly a series of interviews were conducted with respondents from the scrap-metal based industry in Sweden to get a collective view on drivers and barriers for finding better usage for rest-materials. Most of the respondents wants to see changes in current legislation, combined with a better dialogue between the companies and authorities to prevent bureaucratic and time-consuming processes. An improved dialogue is also considered important to prevent a situation where authorities make different decisions for similar cases.

Keywords: steel industry, steel slag, restmaterial, by-products, scrap-metal, drivers, barriers

# Förkortningar och begrepp

EAF / LB - Electric Arc Furnace / Ljusbågsugn

ESR - Electro Slagg Remelting / Elektroslaggraffinering

LF - Ladle furnace / skänkugn

LS - Ladle slagg / Skänkugnsslagg

JM – Jungfruligt material

RM – restmaterial

*Följande termers innebörd följer de definitioner satta i EU:s avfallsdirektiv (EG, 2008/98).*

- Biprodukt – Material som uppkommer genom en process avsedd för annat material eller ämne, och som sedan skall användas utan bearbetning före användandet.
- Materialåtervinning – Upparbetning av avfallsmaterial till produkt som används för det ursprungliga, eller andra, ändamål.
- Återanvändning – Användning av material eller produkter, som ej klassas som avfall, i samma syfte som det ursprungliga var avsett för.
- Återföring – Användning av material eller ämnen som uppstår, eller blir över från processen, som råvara i tillverkning.
- Återvinning – Behandling av material som resulterar i ett avfall med ändamål, som i anläggningen eller samhället används som materialsättning.

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Förkortningar och begrepp</b> .....	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Stålindustrin: Malm- och skrotbaserad ståttillverkning .....	1
1.2 Lagstiftning .....	2
1.2.1 EU:s Avfallsdirektiv .....	2
1.2.2 Biprodukter och avfallsklassificering .....	2
1.2.3 Svensk miljölagstiftning .....	2
1.3 Industriell symbios .....	3
1.3.1 Barriärer .....	4
1.3.2 Drivkrafter .....	5
1.3.3 Ekonomiska strukturer .....	6
1.4 Globala miljömål och IS.....	7
1.5 Industriell symbios i EU .....	8
1.6 Industriell symbios i Sverige .....	9
1.6.1 Aktörer i Sverige - Uddeholms AB.....	10
1.7 Syfte och Frågeställning .....	10
1.8 Avgränsningar.....	11
1.9 Rapportstruktur .....	11
<b>2 Metod &amp; Genomförande</b> .....	<b>13</b>
2.1 Genomförande.....	13
2.2 Fallstudie – Uddeholm .....	14
2.3 Litteraturstudie.....	14
2.4 Semi-strukturerade intervjuer .....	15
2.4.1 Analys av intervjuer .....	15
2.5 Felkällor och diskussion .....	16
<b>3 Resultat</b> .....	<b>17</b>
3.1 Fallstudie Uddeholm .....	17

3.1.1	Processen .....	17
3.1.2	Restmaterial kartläggning – Befintliga flöden 2021.....	18
3.1.3	Restmaterial slagg.....	20
3.1.4	Ljusbågsugnsagg (EAF-slagg).....	21
3.1.5	Skänkgugnsagg - Ladle furnace slagg (LFs) .....	22
3.1.6	ESR-slagg .....	22
3.1.7	Grovsagg .....	22
3.1.8	Användning slagg – Hagfors och Sunne kommun, gång- och cykelväg samt intern användning. ....	23
3.2	<i>Litteraturstudie</i> .....	24
3.2.1	Byggkonstruktion .....	24
3.2.2	Vägkonstruktion .....	26
3.2.3	Markstabilisering .....	26
3.2.4	Värmeåtervinning .....	27
3.2.5	CO <sub>2</sub> -fixering.....	27
3.2.6	Mindre utforskade användningsområden.....	28
3.3	<i>Intervjuresultat</i> .....	30
3.3.1	Restmaterialhantering .....	30
3.3.2	Återvinning – inställning och kundpåverkan.....	32
3.3.3	Återföring av restmaterial .....	32
3.3.4	Samarbete med andra företag eller industrier .....	34
3.3.5	Förutsättning, drivkrafter och hinder för samarbeten .....	36
3.3.6	Åtgärder för att främja samarbeten .....	39
3.3.7	Resursnätverk och online-plattformar för restmaterial .....	41
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>43</b>
4.1	<i>Användning av slagg i Europa</i> .....	43
4.2	<i>Restmaterialflöden och nuvarande avsättning</i> .....	45
4.3	<i>Samarbeten – barriärer och förutsättningar</i> .....	46
4.4	<i>Framtida åtgärder för den svenska stålindustrin</i> .....	47
4.5	<i>Metoddiskussion – förslag på vidare studier</i> .....	49
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b> .....	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Tack</b> .....	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>53</b>
	<b>Bilaga 1 – Söksträng Web of Science</b> .....	<b>60</b>
	<b>Bilaga 2 – Tematiserade intervjufrågor</b> .....	<b>61</b>





# 1 Inledning

## 1.1 Stålindustrin: Malm- och skrotbaserad ståltillverkning

Järn- och stålindustrin står för drygt 7% av de globala CO<sub>2</sub>-utsläppen vid framtagning av verktygsstål, för allt från användning i kraftindustrin till småkomponenter i mobiltelefoner (Ritchie et al., 2020), och utgör en betydande del av de svenska, industriella, utsläppen (Naturvårdsverket, u.å-b). Med stigande priser på utsläppsrätter för koldioxid och en ökad miljömedvetenhet ligger det i sektorns intresse att minska sina klimatavtryck (Lindberg, 2019). Av stålindustrins utsläpp kommer 85% från förbränning av kol i produktionen av malmbaserat stål i masugnar, och 12% från uppvärmning och bearbetning av järnet (Jernkontoret, 2018).

Vid skrotbaserad ståltillverkning nyttjas metallskrot i olika former som råvara, och smälts ned i så kallade ljusbågsugnar (EAF) som drivs av elenergi, med en femtedel så stor energianvändning som malmbaserad ståltillverkning (Jernkontoret, 2022). Stålprocessen ger upphov till ett antal restmaterial. Av dessa utgör slagg de största volymerna, ett material med varierande kemiska och fysiska egenskaper (Jernkontoret, 2018). Det pågår många olika slags projekt runt om i världen, som syftar till att på olika sätt nyttiggöra slaggen, men de största slaggmängderna lagras fortfarande på behandlingsanläggningar (Gencel et al., 2021).

Nyttiggörande av slaggen, i syfte att gå mot 'industriell symbios' (se mer om begreppet nedan), kräver att olika faktorer, såsom gällande lagstiftning och ekonomiska aspekter, beaktas.

## 1.2 Lagstiftning

### 1.2.1 EU:s Avfallsdirektiv

EU:s avfallsdirektiv (2008/98/EG) togs fram med syftet att skydda miljö och människor genom förbyggande åtgärder som strävar efter att minimera avfallsmängderna. Avfallsdirektivets bestämmelser kring när avfall slutar vara avfall är direkt implementerade i den svenska miljöbalken (Naturvårdsverket, u.å-a).

Avfallslagstiftningen grundar sig i den så kallade avfallshierarkin (Art 4 i avfallsdirektivet) som är gemensam för hela EU, och som visar prioritetsordning för lagstiftning och avfallspolitik. Den prioriterade ordningen är att avfall främst skall förebyggas, följt av återanvändning, materialåtervinning eller annan återvinning (till exempel energiåtervinning). I sista hand kan avfall avyttras till deponering (Naturvårdsverket, u.å-c).

### 1.2.2 Biprodukter och avfallsklassificering

Artikel 5 i EU:s avfallsdirektiv (2008/98/EG), sätter riktlinjerna för hur medlemsstaterna skall förhålla sig till ett material som avfall eller biprodukt.

Åtgärder skall tas för att se till att ämnen från produktionsprocesser inte betraktas som avfall, utan som biprodukt, men då krävs att följande villkor är uppfyllda: ämnet i fråga har ett fortsatt användningsområde, ingen annan bearbetning av ämnet förutom den enligt industriell praxis skall behövas, ämnet produceras som en del i produktionsprocessen, fortsatt användning skall uppfylla all relevant lagstiftning och inte äventyra miljön eller människors hälsa.

Artikel 6 i direktivet (2008/98/EG) beskriver när avfall, som genomgått någon form av återvinning, upphör att vara avfall. Fyra villkor skall uppfyllas; ämnet skall användas för specifika ändamål, en marknad eller efterfrågan ska finnas för ämnet, tekniska krav och befintlig lagstiftning kring ändamålen ska uppfyllas innan användning, användning av ämnet får inte äventyra miljön eller leda till negativa följder för människors hälsa.

### 1.2.3 Svensk miljölagstiftning

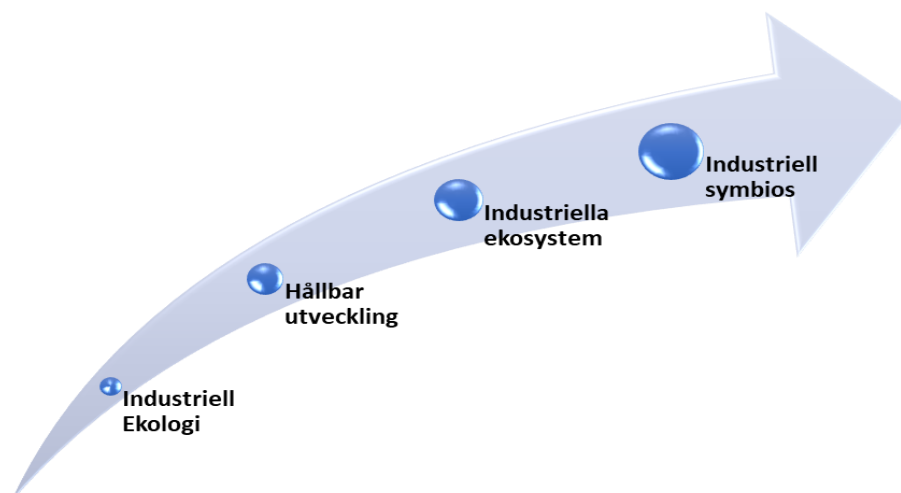
Vid klassificering av restmaterial, såsom slagg, förhåller sig företag till kapitel 15 i miljöbalken (Miljöbalk, SFS 1998:808), där den europeiska lagstiftningen finns inkorporerad. Häri återfinns riktlinjer för hur företag skall förhålla sig till restmaterial för att behandla eller hantera detta enligt regelverket. Som komplement

i frågor kring kemiska ämnen gällande registrering, tillstånd, utvärdering och begränsning skall riktlinjerna i Reach-förordningen följas (EG, 1907/2006). För själva klassificeringen nyttjas det som sägs i avfallsförordningen (Avfallsförordning 2020:614) som bland annat innehåller den process för avfallsklassificering som tidigare nämnts från avfallsdirektivet. Vid deponering av avfallsklassat material skall riktlinjerna i Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering (Naturvårdsverket, NFS 2004:10) följas, där bland annat mottagningsförfaranden, provtagning och avfallskaraktärisering beskrivs.

### 1.3 Industriell symbios

Industriell symbios (IS) innebär en kollektiv samordning av resursanvändning, vilken syftar till att skapa ett mervärde från en samling av restmaterial eller avfall (Mirata, 2018). IS är sprunget ur "Industriell ekologi" (IE, Figur 1), ett begrepp som utvecklades under sent 1700-tal men som beskrivs av Frosch (1992) som en analogi till naturens ekosystem, där organismer lever på varandras restmaterial och avfall till den grad att ingen energi eller material går till spillo. Etableringen av IE som koncept föregicks av Brundtlandrapportens (1987) definition av hållbar utveckling, som betonar vikten i att nutidens behov inte får kompromissa framtida generationers förmåga att möta sina egna.

När Frosch & Gallopoulos (1989) först skrev om industriella ekosystem uppmärksammades samma år industriparken i det danska Kalundborg, där produktionschefen Valdemar Christenson myntade begreppet industriell symbios

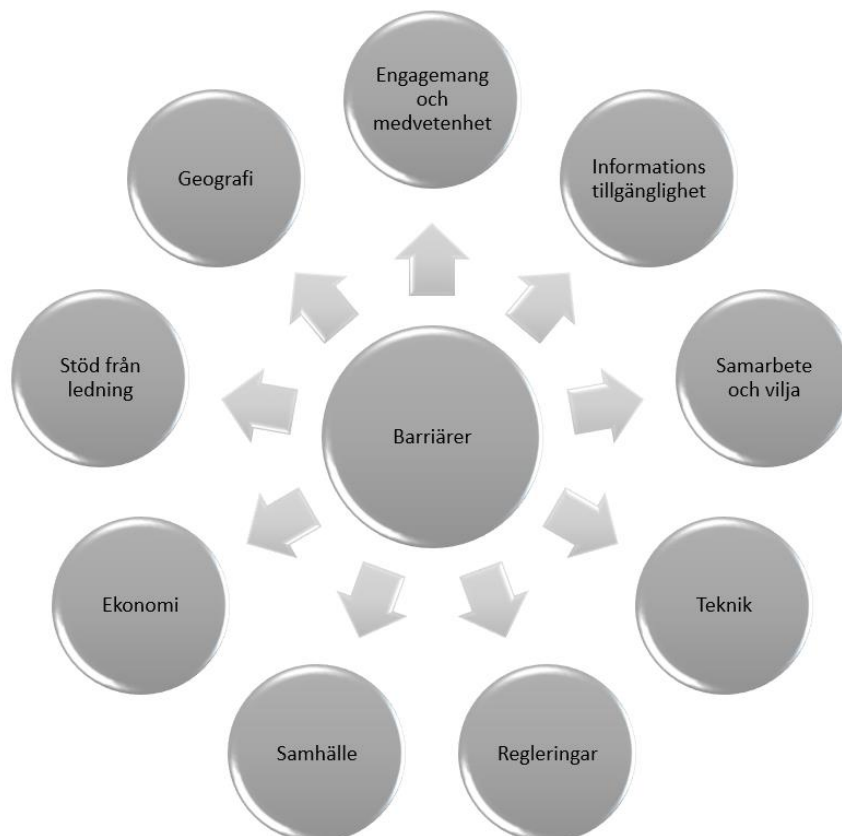


Figur 1. Schematisk figur över begreppsutvecklingen av Industriell symbios. Figur av författaren.

för att beskriva utbytet av resurser som skedde mellan industrierna i området (Dougherty, 1997). En central komponent inom IS ligger i att optimera energiförbrukningen, minimera avfallsmängderna och skapa ett slutet system där uppkomna restmaterial används som råvara i en annan process (Frosch & Gallopoulos, 1989; Hewes & Lyons, 2008). En viktig framgångsfaktor för modern IS beskrivs av Chertow (2000) vara den geografiska närhet som ger upphov till samarbetsmöjligheter. Vidare betonas professionella och personliga relationer mellan lokala aktörer, parallellt med effektiv kommunikation och kunskapsutbyte som viktiga komponenter för lyckad symbios (Mirata, 2018)

### 1.3.1 Barriärer

Golev (2014) har analyserat tidigare litteratur och identifierat sju barriärkategorier (Figur 2) som kan utgöra hinder för IS; engagemang, informationstillgänglighet,



**Figur 2. Schematisk figur över hinder för IS, identifierade utav Golev et al., Bacudio et al. och Mirata. Figur av författaren**

samarbete, teknik, reglering, samhälle, och ekonomi. Bacudio et al. (2016) redogör för erfarenheter från en industripark i Filippinerna, och betonar vikten av stöd från ledningsnivå som den viktigaste faktorn för att integrera IS i verksamheten. I en svensk kontext betonar Mirata (2018) att geografisk närhet och företagets fokus, d.v.s. vad företaget bedömer utgöra kärnverksamheten, utgör ytterligare barriärer för en lyckad symbios.

I ett tidigt skede, innan en symbios uppstår, menar Golev et al. (2014) att potentiella synergier och samarbeten måste kunna identifieras, och informationstillgängligheten är därför nödvändig för att kunna identifiera existerande materialströmmar. En bromskloss i detta arbete kan vara att konfidentiella uppgifter och företagssekretess förhindrar informationsutbytet (Mirata, 2018). Samarbetet kräver sedan regelbundna möten mellan aktuella aktörer för att upprätthålla tillitsfulla relationer (Golev et al., 2014). Samarbeten riskerar att avslutas om ett företag fokuserar på sin kärnverksamhet och förbiser fördelarna med en symbios med andra aktörer (Mirata, 2018). De tekniska utmaningarna ligger oftast i den faktiska bristen på moderna tekniska lösningar som motiverar investeringar (Mirata, 2018). Lagstiftning kan försvåra investering i ny och mer miljövänlig teknik då ekonomiska incitament riskerar att försvagas om processen kring godkännande av restproduktanvändning är alltför resurskrävande. I de fall där miljölagstiftningen sätter stopp kan också incitamenten för att nyttja restmaterial och avfall i den egna processen vara mindre fördelaktiga än att använda jungfruliga råvaror, och avfallet deponeras i stället. Företag är också pressade att göra kortsiktig ekonomisk vinst för att hålla intresset uppe bland sina investerare och således måste en miljövänlig investering vara lönsam i det korta, såväl som i det längre perspektivet (Golev et al., 2014; Mirata, 2018). Barriären ”samhället” innefattar enligt Golev (2014) tillväxten runt industrin som ursprungligen låg till grund för stadsutvecklingen. I takt med en växande stad och införsel av människor som inte har koppling till industrin riskerar också motståndet mot denna att växa om inte tydliga kommunikationsvägar etableras och underhålls. Barriären kring geografi handlar om avståndet mellan företag och aktörer. Långa transportsträckor kan försvåra utsikterna för IS på grund av fraktkostnaden (Mirata, 2018).

### 1.3.2 Drivkrafter

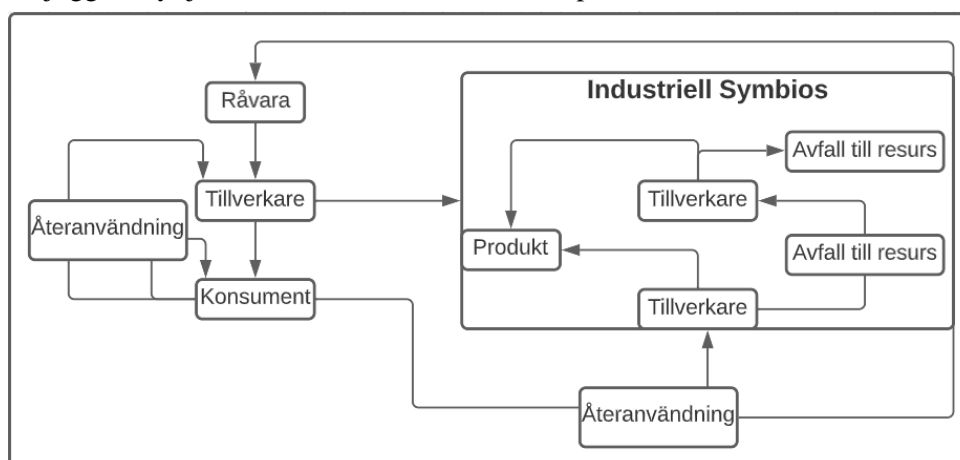
Den största drivkraften för industriell symbios sägs vara de ekonomiska fördelarna, tack vare minskade processkostnader, energiåtgång och användning av jungfruliga råvaror. En av de starkaste faktorerna, som driver på ekonomiska samarbeten, är konkurrensen på den internationella marknaden, vilket gör industriparken och IS mer attraktivt (Mirata, 2018; Tudor et al., 2007). Tekniska framgångar som drivs på av innovation och produktutveckling bidrar samtidigt med minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp och transportbehov när avfallsmängderna minskar (Mirata, 2018).

Samtidigt som dagens regelverk kan sakta ner beslutsprocesser inom företag så kan samma regleringar även driva på samarbeten med lokala aktörer. Som en följd av detta ökar närområdets engagemang och involvering vilket kan leda till godartade relationer med invånarna (Mirata, 2018; Tudor et al., 2007). Företag som ligger nära varandra geografiskt har oftast starka incitament att ingå samarbeten. Detta gäller även för mindre aktörer som vill etablera sig i geografiskt isolerade områden, något som underlättas av samarbetet med den lokala industrin (Mirata, 2018).

### 1.3.3 Ekonomiska strukturer

Cirkulär ekonomi (CE) handlar om mer än bara traditionella resursflöden, där råvaror bearbetas för att skeppas till konsumenten, som på sin höjd skickar tillbaka produkten efter den nått sin livslängd (Peck et al., 2020). Produktdesign, affärsmodeller och policyer utformas för att uppnå kraven för cirkulär ekonomi och strävar efter att minska behovet av råvaror, samtidigt som framtida generationers behov säkerställs (Peck et al., 2020).

Introduktionen av IS ger industrier, företag och mindre aktörer ett verktyg för att uppnå CE, genom att identifiera restmaterial som potentiella råvaror i andra processer (Yu et al., 2021). Med en industriell symbios inkommerad (figur 3) möjliggörs nyttjandet av en industris avfall som produkt inom en annan.



**Figur 3. Schematisk bild över industriell symbios och dess potential som affärsmodell för att uppnå cirkulär ekonomi. Inspiration tagen från Yu et al., Figur av författaren**

## 1.4 Globala miljömål och IS

Industriell symbios är, som ovan nämnt, ett verktyg för att uppnå cirkulär ekonomi. Från antalet exempel i Europa och i Sverige kan man dock urskilja att det inte bara främjar ekonomiska aspekter i samhället, utan även samhällseliga och miljömässiga i stor utsträckning. IS kan tänkas genomsyra lite mer än en tredjedel av de globala målen (UNDP, u.å) som antagits genom Agenda 2030, i strävan efter hållbar utveckling (Figur 4). Ett bättre resursoptimerande mellan industrier ger en hållbar produktion (mål 12) som nyttjar restmaterial istället för jungfruliga material (JM), och resulterar således i miljövänliga projekt inom stadsplanering (mål 11) och industrin (mål 9), och rimmar därför väl med mål 13. Ett bättre resursutnyttjande kan också tänkas vara synonymt med förbättrad företagsekonomi och speglar därför målsättningen för mål 8. Energiförbrukningen vid utvinning av råvaror och JM har också potential att minska vid rätt utnyttjande av restmaterial (mål 7).



Figur 4. De globala miljömålen. Industriell symbios ses vara relevant för de mål som framhävs. Figur från UNDP, redigering av författare.

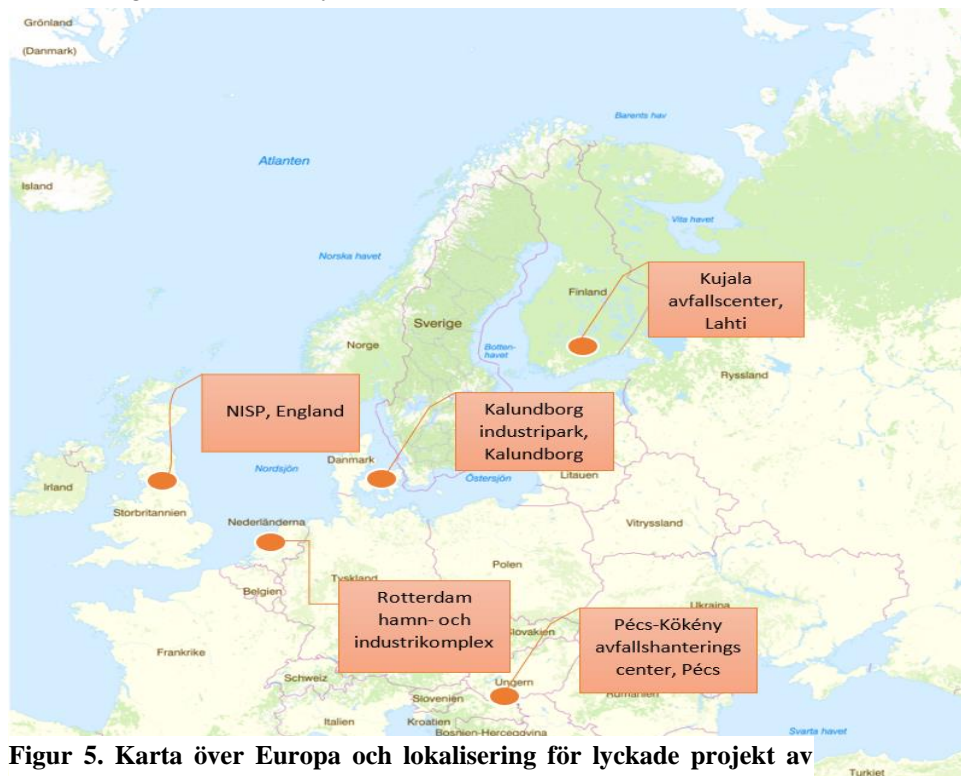


## 1.5 Industriell symbios i EU

I Europa finns flera lyckade exempel på industriell symbios (Figur 5), med Kalundborgs industripark som det mest omtalade och studerade (Mirata, 2018; Symbiosis, 2021).

Det nationella industriell symbios-programmet (NISP) i Storbritannien har fått stort genomslag och modellen används idag i flera länder (Inno4sd, 2019). I Lahti, Finland, agerar Kujala avfallscenter som en förmedlare av restmaterial och avfall mellan olika aktörer för att effektivt distribuera material till företag som kan nyttja det som råvara i sina processer (EC, 2018). Liknande strukturer har etablerats i den ungerska staden Pécs, där avfallshanteringscentret hanterar avfall från 313 kommuner och sorterar upp dessa för kompostering och mekanisk- och biologisk behandling (EC, 2018).

Hamn- och industrikomplexet i Rotterdam, Nederländerna, har växt fram och utvecklats sedan 1994 med inspiration från Kalundborg industripark och består idag av en mängd aktörer i ett symbiotiskt nätverk (Baas & Boons, 2007).



**Figur 5. Karta över Europa och lokalisering för lyckade projekt av industriell symbios. Google Maps. Europa. Karta hämtad februari, 2022 från [shorturl.at/mIW19](https://shorturl.at/mIW19) (©2022 Google). Skärmdump och redigering av författare.**

## 1.6 Industriell symbios i Sverige

Industriell symbios är inte ovanligt i Sverige (Figur 6), men förekommer kanske inte allt för ofta i ”uttalad” form. Världsledande exempel har vuxit fram ur givande symbioser, som den i Norrköping med utbytet mellan ett kraftvärmeverk och ett bioraffinaderi som resulterat i produktionen av världens mest koldioxidsnåla spannmålsetanol (Mirata, 2018). Liknande samarbeten kan ses i även i Lidköping mellan Lantmännen och närliggande värmekraftverk (Symbiosis, u.å-c).



Symbiosnätverket i Sotenäs består av två områden med olika fokus som sammankopplas och skapar arbetstillfällen med havet som utgångspunkt. Nätverket utgår dels från den marina livsmedelsindustrin, dels från plast i havet samt uttjänta fiskeredskap (Symbiosis, u.å-b). I Malmö har symbiotiska samarbeten vuxit fram sedan 90-talet, och erbjuder idag gemensamma lösningar inom bland annat transport, avfallshantering och energitillförsel (Mirata, 2018). I Höganäs förses tätorten med 90% av fjärrvärmebehovet från industrins överskottsvärme, som också används till produktion av biogas i avloppsreningsverket. Den producerade biogasen används sedan av Höganäs AB och ersätter delvis behovet av naturgas (Symbiosis, u.å-a). I området i och omkring Karlstad har ett affärskluster etablerats sedan 1999 och består idag av nära 100 företag som alla strävar efter att skapa en biobaserad ekonomi kring skogsindustrin (Symbiosis, u.å-a). Även i Örnsköldsvik kretsar symbiosen kring nyttjandet av trä som råvara i olika former och där utbyten sker i form av energi, material och kunskap (Mirata, 2018).

**Figur 6. Karta över Sverige och lokalisering för lyckade projekt av industriell symbios. Google Maps. Europa. Karta hämtad februari, 2022 från [shorturl.at/mIW19](https://shorturl.at/mIW19) (©2022 Google). Skärmdump och redigering av författare.**

### 1.6.1 Aktörer i Sverige - Uddeholms AB

Idag framställs skrotbaserat stål vid tio anläggningar i Sverige (Jernkontoret, 2021), däribland Uddeholms AB som är ledande tillverkare av verktygsstål för industriella verktyg.

Uddeholms AB etablerades i Hagfors 1878 och har sedan dess tillverkat och utvecklat högkvalitativt verktygsstål för industriverktyg. Företaget är idag världsledande på ESR-material (Electro Slagg Remelting), och riktar sig till flertalet branscher, till exempel bilindustrin, elektroniksektorn och vitvaruindustrin (Uddeholm, 2022b). Från verksamheten uppkommer flera typer av restmaterial, med de största materialströmmarna utgörande slagg, glödskal och filterstoff. I sin miljöstrategi uppger företaget tre mål som del i sitt arbete med att arbeta efter ett både lokalt och globalt miljöperspektiv, som syftar till att; minska miljöavtryck till 2030 och uppfattas väl av närboende, öka resurseffektiviteten för en klimatneutral värdekedja till år 2035, samt minska miljöavtrycket sett till hela produktens kretslopp till 2040 (Uddeholm, 2021). Idag är Uddeholms energianvändning 70% fossilfri på grund av sitt inköp av fossilfri el, dessutom täcker företaget 30% av sitt gasbehov med biogas från och med april 2022 (Uddeholm, 2022). Uddeholm strävar efter en transparent och lösningsfokuserad dialog med verksamhetens närboende, samt en öppen dialog med myndigheter. Man säger sig därför jobba proaktivt för att vara förberedd på att möta kommande krav (Uddeholm, 2021). För att öka resurseffektiviteten och samtidigt minska miljöavtrycket ämnar företaget genomföra årliga energieffektiviseringsprojekt och minska användningen av fossila bränslen. Man lägger även fokus vid produktframtagning för ökad livslängd och har målsättningen att kartlägga miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv för sina tio mest sålda produkter (Uddeholm, 2021).

## 1.7 Syfte och Frågeställning

Syftet med arbetet är att lyfta de utmaningar som stålindustrin upplever kring avsättning för restmaterial. Målet är att identifiera dagens praxis kring hantering av restmaterial samt undersöka potentiella förbättringspotentialer. Utefter detta syfte ställer detta arbete följande frågeställningar:

- Vilka är de huvudsakliga restmaterial som uppstår från svensk skrotbaserad stålindustri och vilken avsättning har man i nuläget för det största materialflödet?
- Vilka hinder upplever den svenska stålindustrin kring restmaterialhantering och industriell symbios?
- Vilken avsättning står att finna, inom EU, för sagda restmaterial, och vad kan svensk skrotbaserad stålindustri lära av detta?

## 1.8 Avgränsningar

Detta arbete avgränsar sig till den skrotbaserade stålindustrin i Sverige, med Uddeholms AB som analyserad enhet i en fallstudie. Intervjuer utförs med de aktörer som är verksamma idag och samordnade via branschorganisationen Jernkontoret. Litteraturstudien avgränsas till restmaterialet stålslagg som uppstår i ljusbågs- och skänkung, och hur detta material används i europeiska länder.

## 1.9 Rapportstruktur

Rapporten ger inledningsvis en översikt över ämnet (Figur 7), den relaterade lagstiftningen. Vidare ges läsaren en introduktion till konceptet industriell symbios, barriärer och drivkrafter samt hur ekonomiska strukturer kan gynnas av konceptet. Därefter beskrivs rapportens syfte och frågeställningar, samt avgränsningar. I kapitel 2 redogörs metodvalen och genomförandet av dessa. Sedan följer resultatkapitlet, med resultat från respektive metod. Detta följs av en diskussion om resultatet och slutligen av en sammanfattning där rapportens frågeställningar besvaras.



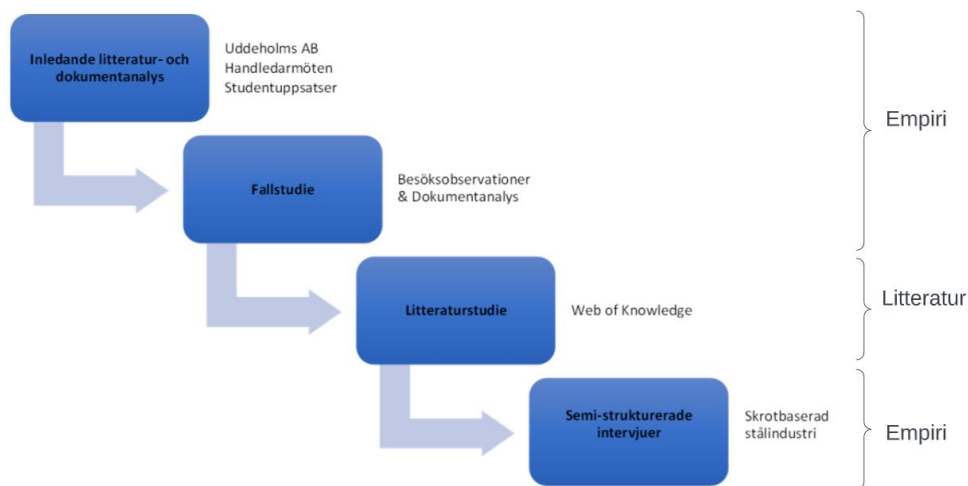
Figur 7. Schematisk figur över projektstrukturen. Figur av författaren



## 2 Metod & Genomförande

### 2.1 Genomförande

För att bygga förståelse för ämnet påbörjades arbetet med en inledande litteratur- och dokumentanalys (Figur 8). Material samlades in i samband med studiebesök på Uddeholms AB samt från samtal med handledare. Granskning av det ursprungliga materialet, samt frågeställningar som uppkom genom samtal, utgjorde sedan nyckelord för lämpliga sökord i litteraturstudien. Från litteraturstudien utvecklades sedan arbetet till en mer sektoriell studie av stålindustrin, där litteraturen gav värdefull input till intervjuprotokollet.



**Figur 8. Schematisk figur över arbetsprocessen. Figur av författaren**

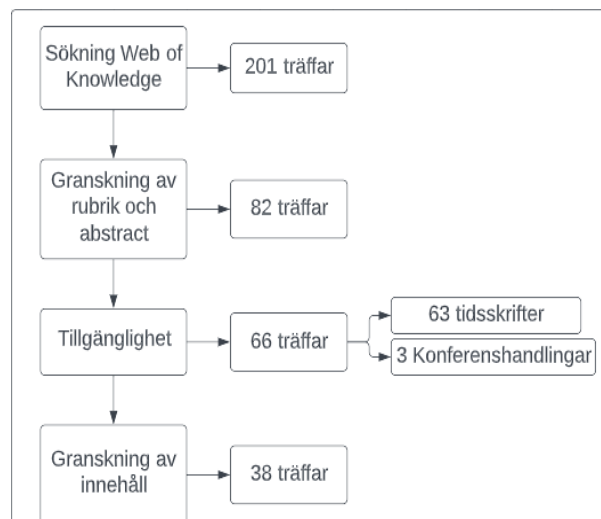
## 2.2 Fallstudie – Uddeholms AB

Inom organisatorisk forskning såsom granskning av Uddeholms nyttjas med fördel en fallstudie (Johannessen et al., 2020), en vanlig forskningsmetod inom kvalitativ forskning som ofta har en induktiv ansats där man arbetar fram begrepp och hypoteser under studiens gång (Merriam, 1993). Fallstudier lämpar sig väl när ett specifikt fall, exempelvis en organisation, utgör intresse för ingående studier och fokuserar främst på process och kontext (Backman, 2016). Fallet studeras i sin realistiska miljö, exempelvis via besöksobservationer, och inriktar sig på specifika situationer och mer djupgående observationer för att ta reda på vad som händer och varför (Denscombe, 2018). Fallstudier sägs ofta belysa det generella genom specifika observationer men varje fall bör betraktas som unikt (ibid). Denna fallstudie av Uddeholm fokuserade på stålprocessens materialströmmar. Detta innefattade en beskrivning av förädlingsprocessen samt en identifiering av uppkomna restmaterial.

Fallstudien genomfördes kvalitativt genom observation och intervjuer under två separata tillfällen, samt kvantitativt genom dokumentanalys av kontrollprogram.

## 2.3 Litteraturstudie

En strukturerad litteraturstudie genomfördes med sökmotorn Web of Knowledge



(tidigare Web of Science), med syfte att få en översikt av dagens hantering av restmaterial inom den europeiska stålindustrin (Figur 9). Söksträngarna utvecklades genom att först granska frågeställningarna och dela upp dessa i block/teman, som en del av en större sökprofil. Utifrån denna sökning lades ytterligare ord till som observerats från den inledande litteratur- och dokumentanalysen.

**Figur 9.** Schematisk figur över sökprofilen på sökmotorn Web of Knowledge

Litteraturen avgränsades från år 2008 och framåt, för att fånga relevant forskning som förhåller sig till den lagstiftning som föranledde klassificeringskrav av restmaterial (Avfallsdirektivet, 2008/98/EG). Denna process resulterade i 201 träffar. Efter granskning av rubrik och abstract kvarstod 82 relevanta träffar. Av dessa visade sig 66 träffar finnas tillgängliga, och en slutlig granskning av litteraturen resulterade i 38 artiklar som nyttjades för litteraturstudien.

## 2.4 Semi-strukturerade intervjuer

Nästa steg i processen utgjordes av semi-strukturerade intervjuer, som syftade till att identifiera hinder och drivkrafter för industriell symbios, samt restmaterialhantering och utveckling inom sektorn (Se bilaga 2). Respondenterna var experter på företag i Sverige med skrotbaserad ståltillverkning. Övrig respondent utgjordes av sakkunnig från branschorganisationen Jernkontoret.

Semi-strukturerade intervjuer lämpar sig väl när intervjuaren vill ha möjligheten att ställa följdfrågor beroende på informantens svar och hålla processen flexibel. Fokus i intervjun ligger därmed i hur frågorna uppfattas och informanten har därmed större frihet att utforma svar utifrån sin egen tolkning av frågan (Bryman, 2018). För att garantera en god intervju krävs god insikt i ämnet samt att intervjuaren har en tydlig förståelse kring varför intervjuerna genomförs (Kvale & Brinkmann, 2014). Intervjuerna för detta arbete utfördes online via de digitala hjälpmedlen Teams eller Zoom.

### 2.4.1 Analys av intervjuer

Efter avslutad intervjuprocess tematiserades intervjufrågorna (Bilaga 2), och de transkriberade intervjuerna genomgick granskning, där överflödiga information sållades bort och information relevant för studien sorterades för respektive tema.

Efter att intervjuerna granskats analyserades materialet i syfte att identifiera skillnader och likheter mellan de olika svaren.



## 2.5 Felkällor och etisk diskussion

Stålindustrin och dess processer är komplexa, och inte alltid självklara att förstå på grund av industriterminologi och intern kommunikation. Mycket av materialet som observerats och samlats in finns beskrivet i flertalet rapporter som branschorganisationen Jernkontoret medverkat i. I efterhand kan det konstateras att en genomgång av befintligt material kring processen och materialströmmarna hade varit fördelaktig innan besök på Uddeholm. Det hade möjligtvis även underlättat intaget av intryck från observationer och information från personal på Uddeholm.

Vid fallstudier i samarbete med organisationer förekommer ibland sekretessbelagda uppgifter vid den personliga kommunikationen. För att undvika komplikationer längs med arbetets gång eftersträvas därför en öppen dialog och tydlig kommunikation med de berörda parterna. För detta arbete genomfördes regelbundna avstämningar online med Uddeholms AB för att ge uppdateringar om rapporten. Vid avslutat rapportkapitel skickades en kopia till företaget för granskning och feedback om eventuellt företagskänslig information mottogs. I dessa fall, där sekretessbelagda uppgifter kan påverka innehållet i rapporten krävs en avvägning av författaren och tydlig kommunikation med berörda parter om vad som kan nämnas och inte.

Vid intervjuer bör intervjuareffekten (Denscombe, 2018) tas i beaktning. Den innebär att respondenter kan komma att svara olika beroende på hur intervjuaren uppfattas. Faktorer som spelar in är bland annat intervjuarens kön, ålder och etniska ursprung och kan påverka hur mycket information respondenten är villig att dela med sig av. Effekten är aktuell framförallt när frågor kan uppfattas som personliga och kan orsaka situationer som upplevs som pinsamma för respondenten, vilket kan leda till ett förvarstagande där respondenten börjar ge svar som man tror sig förväntas ge istället för sanningen. Intervjuaren bör reflektera över faktorer som respondentens sociala bakgrund och eventuell åldersskillnad och hur detta kan komma att påverka intervjun (Denscombe, 2018). Under intervjuens gång bör intervjuaren sträva efter så minimal inverkan på respondenten som möjligt. Detta innebär ett neutralt förhållningssätt till respondentens svar balanserat med uppmuntran om utveckling av dessa. Utöver intervjuer med stålindustrin hade det varit eftersträvänsvärt att genomföra intervjuer med underleverantörer, externa aktörer och myndigheter som har koppling eller dialog med industrin, för att möjliggöra att åsikter från olika branscher och aktörer kan göra sig hörda. Ytterligare intervjuer hade däremot tagit tid i anspråk som inte skulle rymmas inom ramarna för detta arbete, därav avgränsningen till de valda företagen.

## 3 Resultat

### 3.1 Fallstudie Uddeholm

I detta avsnitt presenteras resultaten från de besök som utfördes på Uddeholms AB, Hagfors under perioden 21-24 februari 2022.

Fallstudien syftar till att, i linje med studiens frågeställning, ge inblick i de materialströmmar som uppstår från stålprocessen på Uddeholms AB och vilken avsättning företaget lyckats hitta för det volymmässigt största materialflödet.

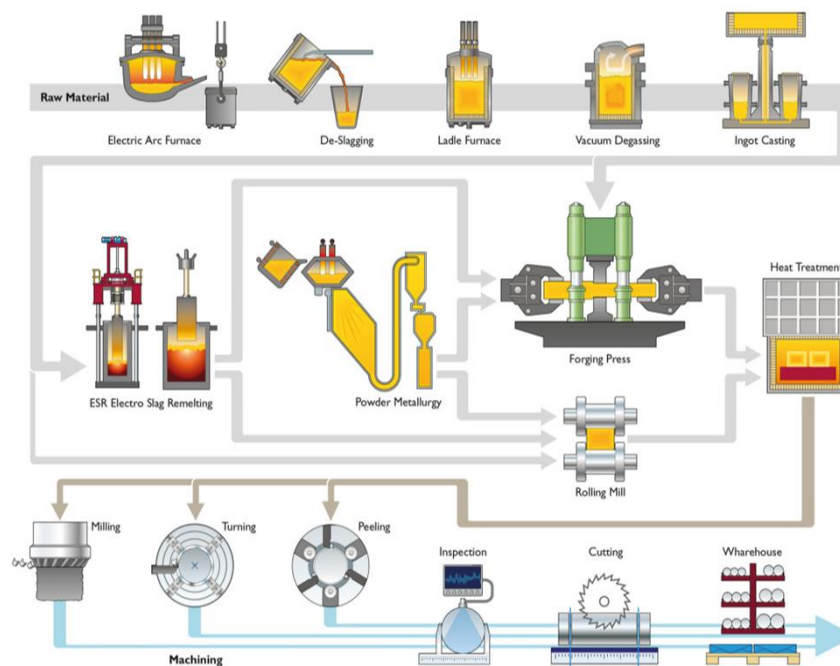
Kartläggningen har utförts genom analys av företagsdokument och rapporter från Jernkontoret rörande restmaterial, i kombination med besök på verksamheten och samtal med miljö- och processansvariga.

#### 3.1.1 Processen

Uddeholms stålframställning uppkommer genom metallurgiska processer med utgång från metallskrot som den främsta råvaran (Figur 10). Skrot innehåller i sig orenheter och oönskade ämnen för slutprodukten, varpå dessa avskiljs i ett flertal olika processteg (Alakangas et al., 2014).

I processens första steg vägs metallskrot, legeringar och tillsatser upp efter recept beroende på stålsort, och smälts ned i ljusbågsugn (EAF) till ett stålbad. Under smältningen tillsätts syre, vilket avlägsnar bland annat fosfor (P), kisel (Si) och kol (C), och oxiderar stålet. Tillsatserna, som kalk och dolomit har basiska karaktärsegenskaper och reagerar därför med de bildade oxiderna och binder dessa till det som kallas slag (Alakangas et al., 2014). Från EAF hålls stålbadet ned i en skänk för vidarebehandling i skänkgugn (LF). Slaggen, som har högre smältpunkt än stål, samlas på ytan av stålbadet och separeras ned i en slaggröta där den får svalna innan vidare bearbetning (Jernkontoret, 2018). Stålbadet värms sedan återigen upp i skänkgugnen och genomgår vakuumavgasning för att sänka halterna av de gaser som finns lösta i stålet. När stålbadet genomgått de nödvändiga smältprocesserna går stålbadet vidare till götgjutning i så kallad stigplansgjutning där stålet leds via tegelkanaler till kokiller (formar) och svalnar till göt (block) (Personlig kommunikation, Uddeholm 2022). Göten skickas till elektroslaggraffineringsanläggningen (ESR) där de smälts om för att rena stålet

genom tillsättning av försmält slagg. Omsmältningen görs för att skapa högkvalitativt stål (Personlig kommunikation, Uddeholm 2022). Götet som genomgått ESR-behandling skickas sedan vidare till pressmedjan eller valsning, där stålet formas till önskvärd form innan det genomgår värmebehandling (VBH). Efter VBH genomgår slutligen stålet någon form av maskinbearbetning innan inspektion, kapning och leverans sker till lager eller direkt till kund.



**Figur 10. Grafisk beskrivning av ståltillverkningsprocessen. Figur från Uddeholm ©, 2022.**

### 3.1.2 Restmaterial kartläggning – Befintliga flöden 2021

Från observationer, samtal och dokumentanalyser identifierades de största volymerna av restmaterial som; slagg, glödskal, rökgasstoff och tegel (eldfast material), följt av mindre volymer av betong, gaskärningskäckg och olivinsand (Figur 11). Av dessa står slagg för en betydande del av volymerna, och slagg diskuteras separat i eget avsnitt (nedan).

Glödskal och rökgasstoff uppstår under de processteg där materialet värms upp. Glödskal utgörs av oxidmaterial som faller av götet när detta värms upp, pressas eller formas. Uddeholm nyttjar glödskal i sin process, vilka används som

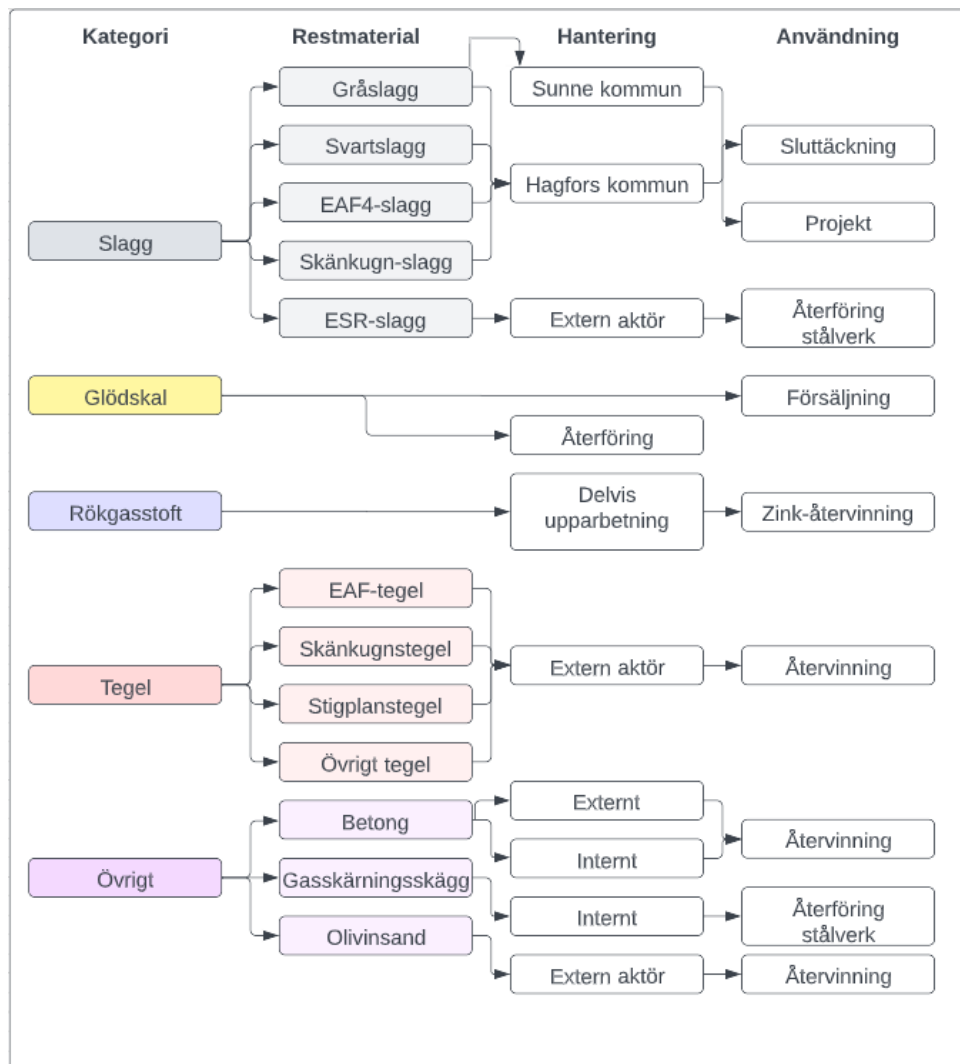
syrebärare för vissa stålsorter. Glödskalet har även REACH-registrerats, vilket underlättar handel (Personlig kommunikation, Uddeholm 2022). Stoft från mindre filter i verksamheten återförs till stålverket och används som råvara i ljusbågsugnen. Rökgasstoffet från ljusbågsugnen innehåller höga halter av zink och det skickas sedan till extern aktör för utvinning av detta (Personlig kommunikation, Uddeholm 2022).

Tegel och eldfast material från ugnar och stigplansgjutning som slits ut skickas idag till extern aktör som återvinner materialen till nya eldfast-produkter och slaggbildare.

Betongmassor från rivna konstruktioner krossas till del i verket och återanvänds internt som ballastmaterial vid nyanläggning eller övriga konstruktioner.

Vid kapning av stål med gasskärning uppstår så kallat gasskärningsskägg, smält material från stålet som bearbetats. Idag siktas materialet till fin- och grovfraktion på företagsområdet, där den finare andelen läggs på hög och den grövre fraktionen går till försäljning till extern aktör. Den finare fraktionen lagras för framtida bruk och Uddeholm letar i dagsläget efter en optimal användning för materialet.

Vid stigplansgjutning nyttjas tegel för att leda det smälta materialet genom kanalerna upp till kokillerna. För att undvika läckage tätas, och stabiliseras tegelkanalerna med olivinsand, d.v.s. värmetålig mineralsand. Efter gjutning siktas sanden på Uddeholm, som blandar upp grov-fraktionen för återbruk, och skickar fin-fraktionen till extern aktör som återvinner genom inblandning av jungfrulig olivinsand.



Figur 11. Schematisk figur över restmaterial från Uddeholms process, med hantering och användning.

### 3.1.3 Restmaterial slagg

Från kartläggningen visade sig slagg utgöra de största volymerna av restmaterial. Nedan följer en beskrivning för de olika slaggsorterna på Uddeholm.

### 3.1.4 Ljusbågsugns slag (EAF-slagg)

EAF-slagg (EAFs) bildas i ståltillverkningens första processteg och fyller ett flertal funktioner, såsom skydd av ugnsinfodring, behålla värmeenergin i stålbadet samt avskiljer ämnen som exempelvis fosfor ur stålet (Uddeholm, 2022a). EAFs har stora variationer i både geotekniska egenskaper och kemisk sammansättning, i storlek från grovkornigt material till sönderfallande, fint, pulver (Andreas et al., 2014).

På Uddeholm uppstår fyra typer av EAFs, typ 1-4, beroende på ugnens körsätt. Slagg-typernas utseende skiljs åt i olika färger, och på Uddeholm kallas slaggtyperna även gråslagg, svartslagg samt EAF4-slagg (Uddeholm, 2022a). Detta delkapitel ämnar brygga terminologierna mellan den som nyttjas till vardag på Uddeholm, samt den som omnämns i Andreas, Diener, et al. (2012) arbeten. Efter att slaggen skilts av i processen har den ofta en grov fraktionsstorlek och kan användas i konstruktions-sammanhang eller förädlas via krossning och siktning. Somliga slagger är sönderfallande och har bra bärighet och dränerande egenskaper som lämpar sig för konstruktionsmaterial vid markkonstruktioner (Alakangas et al., 2014). Andra EAFs:er kan, beroende på sin kemiska sammansättning användas för asfaltering eller stenullstillverkning. Slagg med basisk kemi lämpar sig till exempel väl för asfaltering eftersom det lätt binder till ämnet bitumen och ger stabilitet och hög nötningsbeständighet (Nebreda-Rodrigo et al., 2021).

#### 3.1.4.1 EAFs 1 & 2 - Gråslagg

Vid produktion av EAFs 1&2 styrs ugnen med ett körsätt (körsätt 1 & 4) som producerar en reducerande atmosfär med mindre syre. För produktion av EAFs-1 tillsätts ferrokisel och returstål. EAFs-2 produceras genom tillsats av kisel och ferrokrom (FeCr). Båda körsätten resulterar i ett grovkornigt, gråaktigt material som på Uddeholm kallas ”Gråslagg” (Andreas, Diener, et al., 2012; Uddeholm, 2022a).

#### 3.1.4.2 EAFs 3 - Svartslagg

EAFs-3 produceras under oxiderande atmosfär, som uppnås vid körsätt 2 & 3. Tillsatser sker sen i form av kisel (Si), kromkarbid, järnoxid (FeO), molybdenoxid (MoO<sub>2</sub>), syre (O, i form av glödska) och kol (C, i form av kolpulver). Detta resulterar i ett material, till huvuddel bestående av järnoxid (FeO), kromoxid (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) och molybdenoxid (MoO<sub>2</sub>) (Uddeholm, 2022a). Denna slagg är grovkornig och svartaktig, och kallas på Uddeholm för ”Svartslagg” (Uddeholm, 2022a).

#### 3.1.4.3 EAFs 4

Efter avdragning av EAFs-3 tillsätts ferrokrom (FeCr) och ferrokisel (FeSi). Från denna process erhålls en vitaktig slaggsort som föreligger som ett sönderfallande

fint pulver, med höga halter kalcium-aluminater och cementliknande egenskaper (Andreas et al., 2014).

### 3.1.5 Skänkugnsslagg - Ladle furnace slag (LFs)

Skänkugnsslagg (LFs) genereras under stålförädlingen i skänkugn, när stålbadet tappas upp från EAF till skänk, och är vanligt förekommande med betydande andel aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) och kalciumsilikat ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) (Andreas et al, 2014). Denna slaggsort har en sönderfallande karaktär, likt EAFs-4, och kan ersätta eller agera komplement till kalksten i cementtillverkning tack vare sin höga halt av kalcium-aluminater. Skänkslagg kan även nyttjas vid stabilisering av mark och massor, exempelvis vid konstruktion av tätskikt på deponier, eller nyttjas som fillermaterial i betong (Jernkontoret, 2018).

### 3.1.6 ESR-slagg

ESR-slagg är en restprodukt från omsmältning i ESR-enheten. Uddeholm köper in en typ av försmält slag och tillsätter denna för att rena stålet som producerats i EAF (Uddeholm, 2022a). Vid smältning droppar stålet genom en slaggbädd, som binder oönskade ämnen, och resultatet blir ett högkvalitativt stål som skickas vidare för vidare bearbetning. Slaggen från ESR återanvänds senare i EAF och fungerar där som ett flussmedel för den redan tillsatta slaggen - detta gör slaggen mer lättflytande (Uddeholm, 2022a).

### 3.1.7 Grovslag

Grovslag kallas, av Uddeholm, den grå- och svartslag som uppkommer från EAF och utgörs av grovkorniga fraktioner. Tidigare har grovslagen lagrats på samma hög men är idag separerad till gråslag, som till största del används i täckkonstruktioner av den kommunala deponin, och svartslag, med halter av järnoxid, kromoxid och molybdenoxid. Den senare nämnda slaggen ingår till viss del i sluttäckning av den kommunala deponin, men avsättning hos extern aktör undersöks av Uddeholm, då det finns ett överskott av denna slag (Uddeholm, 2022a).

### 3.1.8 Användning slagg – Hagfors och Sunne kommun, gång- och cykelväg samt intern användning.

År 2003 startade Uddeholms AB, tillsammans med Luleå tekniska universitet (LTU) och Hagfors kommunala deponi (Holkesmossen återvinningsanläggning) det forskningsprojekt som idag resulterat i en lyckad sluttäckning av deponin som pågått sedan år 2005 (Andreas, Björkman, et al., 2012).

Holkesmossen är en hushållsavfallsdeponi, belägen cirka 2 km öster om Hagfors med en area på 16 hektar, och konstruerades under 1960-talet. Deponin är inte utrustat med botten tätning, och lakvattnet från upplaget renas i den lokala lakvattenbehandlingsanläggningen (Andreas, Diener, et al., 2012).

Projektet visade att stålslag från Uddeholms process med fördel kunde användas som konstruktionsmaterial i sluttäckningen, och sparar därmed in behovet av jungfruligt material till en beräknad mängd om cirka 30 000 ton per hektar, samt minskar mängden deponerat slagg (Andreas, Diener, et al., 2012).

Sluttäckningskonstruktionens design togs fram i samarbete med Uddeholms AB och Hagfors kommun och baserades på för- och laboratorieundersökningar av forskargrupper i 'Avfallsteknik och Processmetallurgi' vid 'Institutionen för Samhällsbyggnad och naturresurser', samt 'Avdelningen för avfallsteknik', på LTU (Andreas, Diener, et al., 2012). I täckkonstruktionen används en blandning av EAF- och LF-slagg, schaktmassor och kompost, där EAFs-1 används som utjämningslager samt dräneringsskikt, och en blandning av EAFs-2&3 samt LFs används som filler i tätskiktet (Uddeholm, 2022a). Provtagning på fem olika provtyper konstruerade mellan 2005 och 2011 har genomförts två gånger per år och visar att kraven uppfylls, i avseende på genomsläpplighet och utlakning (Andreas, Björkman, et al., 2012).

Uddeholm utforskar framtida avsättning för slagg, och har idag samarbete med Sunne kommun där man nyttjar gråslag inom deponin för bland annat vägbyggnad. Utöver konstruktion och bärlager för deponier har slagg från Uddeholm använts vid konstruktion av gång- och cykelvägar, och används även internt till bärlager och utfyllnad inom fabriksområdet (exempelvis parkeringar, vägar och förstärkningslager). (Uddeholm, 2022a).



## 3.2 Litteraturstudie

Litteratursökning på Web of Science resulterade i 201 sökresultat. Sökningen utfördes med sökord (Bilaga 1), relaterade till studiens frågeställningar, med specifik inriktning på områdesanvändning för EAF- och LFs i Europa. Efter en granskningsprocess (bild) återstod 38 relevanta artiklar som berörde 12 användningsområden. Det största användningsområdet, enligt den forskning som hittades (Figur 12) visade sig vara inom byggkonstruktion. Mindre forskning hittades för vägkonstruktion, markstabilisering och värmeåtervinning samt CO<sub>2</sub>-fixering. Utöver dessa områden identifierades ett flertal mindre, enligt denna litteraturstudie, utforskade områden. Nedan följer en sammanfattning av litteraturen för respektive användningsområde.



Figur 12. Diagrambeskrivning över antalet källor per användningsområde

### 3.2.1 Byggkonstruktion

Betong är det mest använda byggnadsmaterialet i världen, med den största användningen bland utvecklade länder (Gencel et al., 2021). Litteraturen visar att stålslagg lämpar sig väl som tillsatsmaterial i cement och betong.

Ett bekymmer med stålslagg har varit expansion och lakning utav tungmetaller, något som i litteraturen analyserats efter lagringsbehandling om tre till fyra månader. Efter lagringstiden nådde slaggen de tekniska krav för att kunna användas i betongkonstruktioner då lagringen minskade volymexpansionen, och därmed sprickbildningen i betongen (Bondrea et al., 2017). De lakningstester som utfördes, efter europeisk standard (UNI EN 12457-2 och UNI 10802), visade att endast krom översteg gränsvärdet, 0.05 mg/L, med uppvisade 0.073 mg/L (Bondrea et al., 2017).

EAFs uppvisar både fysiska och kemiska egenskaper som gör det lämpligt som ballastmaterial. Slaggens grova yta ger materialet hög bindningsförmåga i cementmixen och har potential att utgöra tillsats i högkvalitativ betong (Arribas et al., 2015). För bästa resultat bör slaggen ingå i en mix tillsammans med andra finkorniga material (Autelitano & Giuliani, 2016).

I en jämförelse mellan baryt-betong, som bland annat används för konstruktioner i kärnkraftverk tack vare sin ogenomtränglighet för gammastrålning, uppvisade betong med EAFs liknande egenskaper och nådda även kraven för att kunna användas som tungbetong, med användningsområden som fundament eller vikter till oljeplattformar (Beaucour et al., 2020; Ortega-López et al., 2018; Santamaría et al., 2018; Sosa et al., 2021; Tamayo et al., 2019). Ytterligare forskning bekräftar detta, där betong med EAFs, jämfört med traditionell betong, uppvisade högre tålighet mot exponering av syra, med 57% reducerad infiltration. EAFs-betongen uppvisade även högre slitstyrka och strukturintegritet vid exponering för kyla. De bästa resultaten kom från blandningar där sand och grus byttes ut mot slaggsand och EAFs (Chatzopoulos et al., 2021). En miljömässig vinning ses därför i att nyttja restmaterial från stålindustrin, för att byta ut JM och samtidigt underlätta för byggsektorn att jobba enligt hållbarhetsprinciper (Chatzopoulos et al., 2021; Gencel et al., 2021).

EAFs-betong visar även egenskaper som gör det lämpligt vid konstruktion av betongbalkar. Tack vare betongens egenskap att distribuera energi klarar materialet högre belastning, jämfört med traditionell betong (Faleschini et al., 2017; Santamaría et al., 2021).

Även vid blandning av murbruk ses EAFs som en lämplig tillsats. Murbruket uppvisade då högre densitet och bättre mekaniska egenskaper i flexibilitet och tryckhållfasthet i jämförelse med traditionella betongaggregat. Det ses därför som tekniskt genomförbart att substituera JM mot EAFs (García-Cuadrado et al., 2018; Pachta & Anastasiou, 2021). Vid nyttjandet av LFs och EAFs observerades även att mindre vatten behövdes i mixen (Pachta & Anastasiou, 2021).

LFs kan enligt litteraturen utgöra ett fullvärdigt substitut för naturligt material i cement. Tillsatsen av slagg resulterade i reducerade CO<sub>2</sub>-utsläpp vid klinkertillverkning (beståndsdel i cement) och sänkte sintringstemperaturen, d.v.s. temperaturen som krävs att smälta materialet (Iacobescu et al., 2016). Vid inblandning av mängder upp till 20% i betong uppvisar inte LFs någon negativ

effekt på produktens egenskaper och kan även substituera cement på grund av sina bindande egenskaper (Herrero et al., 2016; Santamaría et al., 2020). Även för blandning av murbruk har tillsats av LFs resulterat i en högkvalitativ produkt som uppnår standardkraven för murbruk. Detta sparar dessutom in på cement och ballastmaterial som till exempel sand (Manso et al., 2011). LFs har även undersökts för att bilda ettringit, en viktig beståndsdel i cement med längre härdningstid, tillsammans med gips. Slaggen ersätter då delvis mineralet trikalciualuminat (inom industrin förkortat  $C_3A$ ). Slutprodukten blir därmed ett ettringit-baserat bindemedel med hög motståndskraft mot kyla och upptining, som med fördel kan användas som substitut för cement (Nguyen et al., 2019).

### 3.2.2 Vägkonstruktion

För anläggning av gångbanor och trottoarer visar litteraturen att EAFs-betong lämpar sig väl tack vare sin höga slaghållfasthet och förmåga att motstå erosion.

EAFs-betong lämpar sig även väl att användas vid väganläggning för industriell verksamhet, och nådde enligt litteraturen nästan upp till kraven för så kallad högpresterande betong, som används i konstruktioner som broar och dammar (Fuente-Alonso et al., 2017).

Stålslagg innehar egenskaper som gör det nötningsbeständigt samt binder väl med bitumen, även kallat asfalt. Litteraturen visade att en blandning av asfalt och 75% stålslagg kan utgöra ett fullvärdigt och hållbart alternativ för anläggningsindustrin (Moura et al., 2022; Skaf et al., 2016; Terrones-Saeta et al., 2021). Vid användning utav EAFs krävs en förbehandling för att göra materialet inert och därmed godkänt för tillsats i asfalt (Pisciotta, 2020). Vid användning utav LFs observerades en asfalttyp med högre kvalitet och förstärkta egenskaper, jämfört med asfalt med inblandning av traditionella material. LFs visade sig binda bättre till bitumen och resultera i en mer stabil asfaltmix (Nebreda-Rodrigo et al., 2021).

### 3.2.3 Markstabilisering

Litteraturen beskriver LFs som ett komplext material, med komponenter som har liknande egenskaper som kalksten, gips och cement, vilket gör denna typ av slagg användbar för konstruktionsarbeten som markstabilisering.

Även små inblandningar, som 5%, av LFs har visat sig vara en kostnadseffektiv avsättning för materialet eftersom inte lika mycket konventionella material som till exempel kalk behöver nyttjas. I en undersökning kunde generella slutsatser dras att LFs lämpar sig väl för markstabilisering av vägbanker och andra grundläggande markstrukturer (Ortega-López et al., 2014), men även att slagg inte

lämpar sig för stabilisering av alla jordarter. Särskilt beaktande måste därför tas till jordens mineralprofil innan upparbetning, och i praktiken rekommenderas inte en högre inblandning än 10% av slagg i jordmixen (Montenegro, 2013). Detta på grund av slaggens expanderande egenskaper i kombination med övriga element. För konstruktion av vägbanker lämpar det sig därför endast att använda jordmixer med en mindre andel slagg, för att undvika svällningar i strukturen (Montenegro, 2013).

### 3.2.4 Värmeåtervinning

Industriprocesser som kräver stora mängder energi kan dra nytta av värmeåtervinningssystem. Litteraturen visar att hög potential för dessa system finns inom stålsektorn där man kan dra nytta av värmen från EAFs och LFs för att till exempel förvärma råmaterialet inför smältning (Ortega-Fernández & Rodríguez-Aseguinolaza, 2019).

I en fallstudie i Spanien utforskades möjligheten att utvinna värme från EAF slagg med hjälp av ett vattenburet system täckt med en slaggbädd. Från studien visades en relativt låg utvinning av värmeåtervinning, med cirka 6.3% av den totala värmeenergin, detta på grund av slaggens låga termiska konduktivitet, och lågvärdiga energi. Maximalt kunde 77 kWh/m<sup>3</sup>, eller 306 kWh totalt, utvinnas ur slaggen från varje gjutning (Ortega-Fernández et al., 2022). En viktig parameter i hur väl värmeenergin togs tillvara är enligt studien den ursprungliga temperaturen på slaggbädden som skyddade vattensystemet (Ortega-Fernández et al., 2022)

I en annan fallstudie undersöktes möjligheten att nyttja en packad stålslaggsbädd, som värms upp av gaser från ljusbågsugn (LB-ugn), som kontinuerlig värmekälla. Materialbädden värms upp av gaserna när LB-ugnen är i drift och släpper sedan ifrån sig värme tillbaka till LB-ugnen för att förvärma materialet inför smältning. Resultaten visar en effektiv användning av värmen från slaggbädden, med effekter mellan 65-85% från den totala värmeenergin i den laddade bädden (Ortega-Fernández & Rodríguez-Aseguinolaza, 2019).

### 3.2.5 CO<sub>2</sub>-fixering

Tidigare forskning har undersökt möjligheten för kolfixering genom nyttjandet av slagg och indirekt förkolning. Slagg har uppvisat effektiv upptagningsförmåga av CO<sub>2</sub> genom karbonatisering under laboratorieförhållanden, en process som visade sig reducera lakning av tungmetaller från slaggen samt underlättade krossning av materialet (Song et al., 2021)

Genom att behandla stålslagg med högt kalciuminnehåll (i detta fall analyserades en kalciumhalt på 48,8%) med ättiksyra erhålls kalcium genom

lakning. Till kalciumlösningen tillsätts sedan CO<sub>2</sub> och bildar utfällt kalciumkarbonat. Litteraturen indikerar att 0.4 miljoner ton stålslagg kan fixera drygt 80 ton CO<sub>2</sub> årligen, och syralösningen från processen kan, med sitt natriuminnehåll, vidare nyttjas inom textil-, kemi-, och matindustrin. Kalciumkarbonatet från processen kan användas som utfyllnad i färg-, plast- och pappersindustrin på grund av sina fysiska egenskaper (Bilen et al., 2017)

### 3.2.6 Mindre utforskade användningsområden

Stålslagg har som nämnts ovan, använts till största del för bygg- och vägkonstruktion samt markstabilisering och värmeåtervinning. Några mindre utforskade områden upptäcktes genom denna litteraturstudie, med endast enstaka studier för vartdera området. Nedan följer en sammanfattning utav litteraturen.

#### Jordbruk

Med inblandning av stålslagg stabiliserades rötslam och användes till att förbättra pH-värdet i sura åkerjordar. Trots att slam- och slaggmixen påverkade och höjde pH-värdet signifikant höll sig värdet under den kritiska nivån om 8.5, en nivå som indikerar en ackumulering av salter i jorden (Samara et al., 2017). Utöver sin effekt på pH ökade tillsatsen även fertilitet och ökat upptag av kväve (N) och fosfor (P) i de undersökta grödorna från åkerjorden, vilket resulterade i ökad biomassa i skörden.

Analys av jorden visade att halter av tungmetaller höll sig under de europeiska gränsvärdena gällande användandet av slam inom jordbruk. Den totala koncentrationen av tungmetaller i jorden påverkades inte heller vid tillsats av det stabiliserade slammet, och även här visades inga gränsvärden överstiga de från lagstiftning. Undersökningar visade att risken för uppbyggnad av tungmetaller i jorden var negligierbar men att risker som bör tas i beaktning vid upprepade slam-applikerings är; försaltning, lakning av nitrater, fosforupplagring samt fytotoxicitet från ämnet bor (Samara et al., 2017).

#### Vattenbehandling

En svensk studie, utförd via samarbete mellan Kungliga tekniska högskolan och naturhistoriska museet, analyserade neutraliseringskapaciteten av EAFs med högt aluminium-innehåll för att undersöka huruvida slaggen kan användas för att behandla avloppsvatten med lågt pH, och ersätta material som kalksten (De Colle et al., 2021). Observationer visade att den testade slaggen höjde pH-värdet i det behandlade avloppsvattnet, men att det krävdes drygt tre gånger viktenheter slaggen för att uppnå samma effekt som en viktenhet kalksten. Litteraturen indikerar dock att slaggen med högt aluminium-innehåll kan användas i vattenbehandlingsprocesser som innehar höga uppehållstider samt där hög basiskhet inte är nödvändigt (De Colle et al., 2021). Om det därför endast handlar om att få hög basiskhet, utan att

ta hänsyn till mängden, kan denna typ av slagg användas med framgång för att neutralisera pH-värdet i avloppsvatten (De Colle et al., 2021).

#### Guldutvinning

I en studie användes skänkgugnsslagg som neutraliseringsmedel i biooxidation för guld, en process inom industriell bioteknologi för utvinning av ädelmetaller som vanligtvis involverar användandet av syror (Rawlings & Johnson, 2007). Behovet av neutralisering i processen står uppskattningsvis för en tredjedel av processkostnaden, och för att hålla pH-värdet i syra-lösningen på en optimal nivå nyttjas vanligtvis kalksten (Rawlings & Johnson, 2007). Resultaten visar att LFs lämpade sig väl för neutralisering och har potential att delvis byta ut kalksten i processen om det blandas till rätt proportioner. EAFs var mindre lämplig på grund av den mängd som krävdes, vilket också orsakade stora mängder rester efter själva oxidationsprocessen. För LFs uppvisades istället snarlika mängder rester som vid nyttjandet av kalksten (Gahan et al., 2011).

#### Gummi och plast

Inblandning av EAFs i polymermatriser reducerade lakning utav tungmetaller som krom (Cr) och molybden (Mo) och resulterade i att olika gummi material kunde klassas som inert avfall (Gobetti et al., 2021).

#### Brikettering

LFs som genomgår korrekt behandling och undviker vittring eller tillsats av vatten kan, beroende på sin mineralprofil, nyttjas som bindemedel för metallurgiska briketter. Briketterna kan sedan användas som tillsatsmedel i ståltillverkning (Adolfsson et al., 2011)

#### Slipmaterial

I en studie jämfördes EAFs med nickelbaserat slipmaterial och uppvisade högre hårdhet. Resultaten visade att, utefter urvalskriterierna för slipmaterial, att EAFs har stor potential att produktifieras<sup>1</sup> som slipmaterial (Polat & Kahrıman, 2015).

#### Keramisk produktion

I en studie fann man att slagg från EAF, blandat med lerhaltigt material, lämpade sig väl för tillverkning av keramiska material. Inblandningen av slagg förbättrade processen kring torkning och eldning av keramiken (Rahou et al., 2022).

---

<sup>1</sup> Produktifiera – processen varigenom ett material konkretiseras till en konkurrenskraftig slutprodukt

### 3.3 Intervjuresultat

Resultaten från studiens intervjuer presenteras nedan. Urval av respondenter har följt studiens frågeställningar, och utgör därför företag vars kärnverksamhet är skrotbaserad ståltillverkning, inklusive två respondenter som även nyttjar järnmalm som råvara.

Från intervjuerna identifierades de tre största restmaterialströmmarna vara; slagg, stoft och glödskal. Även mindre volymer av restmaterial förekommer i varierad mängd, och skiljer sig mellan företagen (Tabell 1).

**Tabell 1. Presentation av restmaterialströmmar som respondenterna uppgav under intervjuerna**

Största volymerna	Mindre volymer
<ul style="list-style-type: none"><li>• Slagg</li><li>• Stoft</li><li>• Glödskal</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tegel</li><li>• Olivinsand</li><li>• Betsyra</li><li>• Hydroxidslam</li><li>• Syrgashyvelgranulat</li><li>• Gjutlådmaterial</li><li>• Tegelinfodring</li><li>• Keramiskt material</li><li>• Sand</li><li>• Sprutmassa</li></ul>

#### 3.3.1 Restmaterialhantering

Av intervjuerna framkom att hantering av restmaterial skiljer sig åt mellan företagen, där endast en av respondenterna uppgav att restmaterial inte återförs i processen. Anledningen sägs bero på att den nödvändiga processen för att behandla restmaterialet saknas men att olika testprojekt har drivits genom åren med externa aktörer; men idag finns inget aktivt pågående samarbete.

Svaren från majoriteten av respondenterna tyder på en varierad avsättning av uppkomna restmaterial, med störst användning som konstruktionsmaterial och metallutvinning (Tabell 2). Deponering förekommer bland alla företag, men i olika former, där majoriteten av respondenterna uppgav att restmaterial skickas för deponering av företaget själva eller via externa aktörer. En liten del svarar att deponering undviks genom att nyttja restmaterialet som täckmaterial i stället.

**Tabell 2. Presentation av företagens avsättning för respektive restmaterial**

<b>Restmaterial</b>	<b>Avsättning</b>
Slagg	Konstruktionsmaterial till sluttäckning av deponier Vägbygge Asfaltering Bullervallar Återföring i processen - Grovfraktion Metallutvinning (Extern aktör) – Finfraktion Deponering av slagg-slurry Flussmedel i EAF-ugn
Stoft	Upparbetning och metallutvinning (Extern aktör) Återföring Försäljning
Glödskal	Återföring, materialsättning (syrebärare) Försäljning Deponering
Tegel	Återvinning- Slaggbildare Återanvändning – Eldfast sprutmassa Extern aktör
Olivinsand	Återanvändning (Extern aktör)
Syra	Behandling för återanvändning, filtrering av metaller
Järnsulfat	Försäljning
Järnhaltigt material	Brikettering, återförs sedan i processen

På frågan ”I hur stor utsträckning kan ni återföra restmaterial tills det inte går mer?” gavs spridda svar. En respondent svarade att allt restmaterial går att återföra, och en annan menar på att så länge metallen finns i metallisk form finns det inga hinder att återanvända allt. En större del av respondenterna svarade istället att man produktifierar restmaterialet, eller låter externa aktörer, enligt avtal, upparbeta och förädla materialet för återvinning. Vad som styr mängden av återfört material uppgav sju av nio respondenter vara; kvalitén på slutprodukten, analysavvikelser och risk för kontaminering. Två respondenter uppgav att de är begränsade av tekniken för upparbetning, dels för att den inte räcker till eller inte finns. En annan faktor som lyfts är risken för slitage och skador på ugnsinfodring vid kontinuerlig återföring av restmaterial.



### 3.3.2 Återvinning – inställning och kundpåverkan.

Samtliga respondenter såg positivt på återvinning, och menade att det utgör en naturlig del av verksamheten att hitta fler och bättre användningsområden för restmaterial. Tre respondenter betonade att deponi av RM skall undvikas och en annan menade på att avsättningen inte behöver löna sig ekonomiskt, inom vissa ramar och syftade då på att man måste hitta bra användningsområde för respektive restmaterial.

Respondenterna påverkas på olika sätt av sina kunders krav på återvunnet material i produkterna. Kunder sades ha viss påverkan och det uppfattas som positivt när de visar intresse för ökad andel återvunnet material i slutprodukterna. För de företag som också nyttjar järnmalm i sina processer sades högre krav, på inblandning av återvunnet material i produkten, leda till starkare incitament till att nyttja mer metallskrot istället för malm. Några respondenter uppgav att samarbeten finns mellan slutkunder i syfte att återcirkulera det skrot som uppstår hos kunden, tillbaka till stålverket, och att det intervjuade företaget redan jobbar förebyggande med återanvändning av RM. Detta arbete orsakar därmed inga konflikter med slutkunder, och företagen uppgav att de främst påverkas av krav från myndigheter. Två respondenter förklarade att kunder inte påverkar så mycket. Det uppgavs vara svårt att möta krav på grund av hög konkurrensen på rena skrotklasser, skrot som inte innehåller kontaminerande ämnen, på världsmarknaden.

### 3.3.3 Återföring av restmaterial

Respondenterna svarade på frågor gällande för- och nackdelar, samt utmaningar, kring återföring av restmaterial (Figur 13). En majoritet svarade att resursutnyttjande och ekonomisk vinning var de största fördelarna med återföring. Minskat uttag av JM samt möjligheten att undvika deponiskatt utgjorde de vanligaste argumenten för återföring, följt av förädling av material som klassas som farligt avfall och som efter behandling i stället kan återvinnas. Återföring av RM uppgavs resultera i mindre inköp av legeringar, något som sågs som väldigt positivt ur ekonomisk synpunkt. Ett mindre antal av respondenterna svarade att minskad miljöpåverkan, i form av lägre utsläpp av CO<sub>2</sub> samt kontroll på övriga miljöutsläpp, var en stark fördel som dessutom bidrar till en bättre företagsimage. Miljöprofilering via uppvisandet av innovationskraft och hållbarhet, exempelvis mindre deponering av RM, samt tydliga data för koldioxidavtryck sades stärka företagets image gentemot samhället och kunder.

Bland de utpekade nackdelarna svarade samtliga respondenter att kvalitet och process var de viktigaste parametrarna. En ökad återföring av RM ökar risken för kontaminering, både för produkten och för slaggprodukterna som man hittat



skeptiska till att använda exempelvis slagg istället för traditionella stenmaterial i anläggning och konstruktion, mycket på grund av att slagg som substitut inte utgör norm inom branschen.

Enstaka respondenter identifierade interna processer för sortering och homogenisering av materialet på plats som en utmaning, då det inte alltid är lätt att hålla isär alla typer av RM. Majoriteten av respondenterna uppgav att dessa typer av frågor har hög prioritet idag, jämfört med för några år sedan, men trots detta framkommer det bland ett antal respondenter att en utmaning är prioriteringar hos ledningen. Resursbrist i form av tid, kompetent personal och ekonomi sägs begränsa möjligheten att utveckla tjänster som bara rör sig kring avsättning för RM, och idag har många av respondenterna detta som en sidosyssla.

### **3.3.4 Samarbete med andra företag eller industrier**

Fem respondenter uppgav att de har samarbete med externa aktörer rörande restmaterial (Tabell 3). Det vanligaste samarbetet är att RM skickas för upparbetning, och skickas sedan tillbaka för att användas i processen eller gå till försäljning. Ekonomi beskrevs som en bakomliggande faktor som styr graden av samarbete. Syftet sades vara ett minskat uttag av JM och att slippa deponering, samtidigt som man visar 'Goodwill' och på så sätt förbättra sin miljöprofilering.

Jernkontoret uppgav att mycket av restmaterialet går till anläggningssektorn eller till jordförbättringsmedel. Anledningen sägs vara situationen kring dagens deponier där det blir allt dyrare att deponera, samt kostnaden för att starta upp nya deponier. Man uppgav också att samarbete med andra aktörer är en del av hållbarhetsarbetet.

Respondenterna uppgav att klippskrot och järnbas inhandlas för spädning av stål, samt att slippspån och slipmull från externa aktörer tas emot och briketteras innan det förs in i ståltillverkningen. Ett fåtal av respondenterna har hittat samarbeten med kommunen eller närliggande deponier att nyttja sitt restmaterial som sluttäckningsmaterial.

Tre respondenter uppgav att inga utbyten av RM görs, och att man medverkar i pågående projekt för avsättning av sina restmaterial. Dessa företag sade att erfarenheter och kunskap delas via Jernkontoret istället för att man byter RM med andra aktörer. Att samla kunskap via Jernkontoret anses ledda till ökad förståelse för hur restmaterial-marknaden fungerar, hur övriga företag kan arbeta för att produktifiera sina RM och hur företagen kan konkurrera tillsammans med andra stenmaterial. Ett företag uppgav också att de anser det vara ett gemensamt samhällsansvar att hitta bra avsättning för RM. En respondent svarar att man har samarbete med kommunen inom aktuella områden, vilket har ökat samverkan även inom andra områden. Respondenten uppger att dessa samarbeten ses positivt av

myndigheter eftersom det visar på transparens och öppenhet, samtidigt som möjligheter att nå samhällsnytta ökar.

**Tabell 3. Respondenternas sammanfattade svar på frågan om företaget har något aktuellt utbyte av restmaterial idag. Fem respondenter svarade ja, och 3 respondenter svarade nej.**

<b>Ja (5)</b>	<b>Förklaring</b>	<b>Nej (3)</b>	<b>Förklaring</b>
<i>RM skickas till extern aktör som skickar tillbaka utvunnen del</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minska uttag av JM</li> <li>Att återvinna metaller till egna tillverkningen.</li> <li>Visa Goodwill, att man återvinner</li> <li>Slippa deponering (framgår inte av vilket underliggande skäl)</li> </ul> Ekonomiska skäl	Erfarenheter och kunskap via Jernkontoret (2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ökad förståelse för hur marknaden fungerar</li> <li>Konkurrera tillsammans med stenmaterial</li> <li>Gemensamt samhällsansvar att hitta avsättning för RM</li> </ul>
<i>Anläggningssektorn eller jordförbättringsmedel</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dyrare deponikostnader</li> <li>En del av hållbarhetsarbetet</li> </ul>	Kommunala tjänster (kommunens ingenjörer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bidrar till god kontakt med myndigheter och kommun</li> </ul>
<i>Klippskrot och järnbas inhandlas för spädning av stål</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Restmaterial från bilindustri som nyttjas i processen</li> </ul>		
<i>Slipspån och slipmull blandas ihop till briketter</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Används som råvara i processen</li> </ul>		
<i>Konstruktionsmaterial på deponi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Samarbete med kommun med avsättning av RM för sluttäckning</li> </ul>		

### 3.3.5 Förutsättning, drivkrafter och hinder för samarbeten

Respondenterna såg olika på vilka förutsättningar som krävs för samarbeten med andra aktörer (Figur 14). Ur ett resursperspektiv framkom att det råder brist på tid, personal och ekonomi för att kunna driva fler samarbeten än vad som görs idag. Respondenterna efterfrågade ekonomiska stimulanser från staten, och ett fåtal av företagen sade sig vilja se ett högre engagemang bland företagsledningen. Detta för att driva forskning och hitta lokala lösningar för hantering av restmaterial. För att motivera investeringar riktade mot behandling av RM måste en tydlig koppling kunna ses mellan positiv miljöaktivitet och verksamhetsplan. En respondent menar här att miljöaktivitet kan bidra med en mer attraktiv miljöprofil, sett utåt.

Ett par respondenter lyfte minskad klimatpåverkan som en förutsättning för åtgärder, och andra incitament inkluderar möjligheten att kunna klättra högre på avfallstrappan, undvika deponering och minska transporterna. Samtidigt som lagstiftning ansågs utgöra ett hinder för återföring, nämndes också att hårdare lagstiftning kring deponering var en förutsättning för starkare incitament till samarbete. Detta beror på att deponi är det billigaste alternativet idag för avsättningen av RM. Ett samarbete där möjlighet att kunna uppnå myndighetskrav och krav från lagstiftning anses därför vara en viktig drivkraft. Fyra av respondenterna svarade att deras företag inte kunde driva hela projekt själva, men att de gärna skulle vilja medverka och driva projekt tillsammans med andra aktörer och då göra en del av projektet utan att behöva släppa in personal från andra företag på den egna verksamheten utan uppsyn. Med detta antas respondenten syfta till att den egna verksamheten bör hållas privat och undvika aktörer på området som inte tillhör verksamheten.

Jernkontoret menar att en lösning vore om flera aktörer samlar sina restmaterial. Om tillräckliga mängder finns tillgängliga blir det möjligt att konkurrera med andra material. Om någon betalar för materialet ger det dessutom upphov till ytterligare incitament för framtida återbruk.



**Figur 14. Grafisk sammanfattning över respondenternas identifierade förutsättningar, hinder och drivkrafter för samarbeten med andra aktörer**

Svaren kring hinder visar sig också vara spridda. Många av respondenterna har samarbeten med externa aktörer för utvinning av metaller från RM, men för enstaka företag faller detta samarbete på det faktum att utvinning av metaller från vissa RM är för dyr, samt att transportkostnaden inte gör det ekonomiskt försvarbart att skicka materialet. Tre respondenter svarar att tekniken och infrastruktur är bristande och inte räcker till för effektiv sortering och behandling av RM från andra företag. En respondent säger också att samarbeten avslutas eftersom aktörerna i fråga inte sorterar sitt avfall tillräckligt väl, och att exempelvis slaggsorter skiljer sig för mycket åt mellan företag och processer vilket försvårar användning. Avfallskriterier förhindrar ofta samarbeten, eftersom en klassning av material som avfall också ställer krav på eventuella mottagare att ha tillstånd. Frågor rörande avfallsklassning och tillstånd beskrivs också leda till tidskrävande byråkrati som oftast leder till bristande engagemang att hitta lösningar. Även hindren i

myndighetstolkad lagstiftning minskar engagemanget och viljan till innovation säger en respondent. Tre respondenter säger att det krävs mer prioritering i den egna ledningen och att stålindustrin rent generellt är försiktiga vad gäller samarbeten. Ett högre intresse för RM måste till, i jämförelse med JM, menar en respondent och anför att det måste bli mer intressant för industrier att sluta gräva efter material och istället nyttja det som uppstår från processen. Trots de relativt stora volymerna av RM som uppstår per år är det svårt att hitta avsättning då tonnaget bara räcker till för projekt på försöks-stadiet. En respondent säger att det finns för lite av miljövänliga råvaror för storskalig produktion. Även om företaget hittar en lämplig avsättning för sitt RM och skickar in nödvändig dokumentation till myndigheterna avslås oftast tillståndet på grund av skepticism och rädsla för materialet, säger en respondent. En respondent menar på att samarbeten oftast inte kommer till skott på grund av brist på statligt, ekonomiskt, stöd, och säger att det finns ett för lågt intresse för hållbarhetsfrågor på statlig nivå.

Endast en respondent sticker ut och svarar skriftligt att det inte finns några hinder för samarbeten, men det framkommer inte i svaret varför detta är fallet.

Ekonomi var den vanligaste orsaken bland respondenterna när de tillfrågades om vilka drivkrafter som påverkade graden av samarbete. Samtidigt som ökade deponikostnader är en utmaning agerar de också som en drivkraft för att hitta nya lösningar. Tillsammans med dyrare framställning av produkter i och med högre priser på JM samt skatter på dessa blir det allt mer intressant att återvinna metaller ur RM, samt hitta bättre avsättning för dessa. Hårdare lagstiftning, snävare avfallskriterier och tidskrävande tillståndsansökningar ger starka incitament att investera i samarbeten. En respondent svarar att kunskap är en viktig aspekt, att lära av varandra och dela information ses som en viktig del i att utveckla branschen. Fyra respondenter svarar att miljöprofilen, d.v.s. en bättre image utåt, är en drivkraft då hållbarhet får allt högre prioritet. Genom att se resultat, som att höja sig på avfallstrappan och därmed visa en god miljöprofil mot kunder, är en stark motivation att fortsätta samarbeten.

Två respondenter menar också att ur miljösynpunkt är det bättre att nyttja RM istället för JM. Bland de respondenter som redan har befintliga samarbeten svarar man att logistiken, att det finns en mottagare, ökar chanserna att ingå fler samarbeten. Man utvecklar och säger att det är viktigt att kunna se symbiosen med andra företag och att vårda engagemanget för att fortsätta driva samarbetet.

När respondenterna tillfrågades om hur högre råvarupriser skulle påverka samarbetsgraden uppgav en majoritet att det skulle stimulera fler samarbeten mellan industrier. Möjliga effekter sägs kunna bli lokala alternativ och samarbete för ökad återvinningsgrad.

Tre respondenter uppgav att råvarupriset inte påverkar samarbetsgraden, utan snarare att skatten på JM motiverar bättre avsättning för RM och att samarbeten istället kan komma som en långsam påföljd snarare än direkt effekt.

Jernkontoret svarar att chanserna för samarbete med andra branscher ökar om högre krav ställs på ökad andel återvunnet material, samt att målsättningen inom företagen höjs för att ta emot RM. Högre råvarupris sägs leda till att man letar efter fler alternativ, men att det i dagsläget inte är råvarupriset som driver utvecklingen utan snarare kostnaden för utsläppsrätter och deponiskatt, samt det faktum att dagens deponier snart är fulla.

### 3.3.6 Åtgärder för att främja samarbeten

En majoritet av respondenterna vill se en förändring i lagstiftning, och endast en av respondenterna uppgav att regelverket inte är några problem. Respondenten i fråga säger att så länge papperna sköts så är det byråkratiska inget hinder.

Avfallskriterier upplevs för snäva i sin definition och respondenterna uppgav att industrin behöver en tydligare ledning för avfallsklassificering av material som inert, icke-farligt, eller farligt. Från intervjuerna framkom dock inga exempel på när lagstiftning hindrat åtgärder. Många respondenter ser sitt restmaterial som produkt tills det inte finns en avsättning för det. Det efterfrågas därför mer dialog kring klassning av material som biprodukt respektive avfall. Svaren påvisar en icke enhetlig bild över vilka åtgärder som bör prioriteras där en respondent betonar vikten av att se över mottagningskriterier för att underlätta utbyte av RM. Samtidigt som lagstiftningen ses som en för strikt och tidskrävande process som avskräcker investeringar, och där man uppgav sig hellre vilja se ett större fokus på dialog kring material, egenskaper och möjligheter istället för uppkomst, vill andra respondenter se markant hårdare krav på nyttiggörande. Man menar att hårdare krav skulle ge just deras verksamhet incitament att göra förändringar i sin organisation. En respondent uppgav skriftligt att dagens lagstiftning är för strikt och ineffektivt med få miljövinster.

Samarbete och kunskapsuppbyggnad är åtgärder som de flesta respondenter pekar ut som viktiga åtgärder (tabell 4). Långtgående projekt kring gemensamma frågeställningar, och gärna med tvärfunktionellt stöd via universitet och andra organisationer ses som något önskvärt av flera respondenter. Många betonar samtidigt att branschorganisationen sköter detta väl, men att det kanske behövs en vidareutveckling av pågående projekt. En större dialog mellan myndigheter och industri ses som viktigt av några respondenter, och dessa efterfrågar en gemensam terminologi gällande material som uppkommer i processen. Anledningen sägs vara att myndigheter har olika syn på liknande fall, trots att industrin får till en klassificering enligt REACH, samt andra kriterier. Respondenter uppgav att industrin tvingas använda myndigheters definition på avfall, trots att de själva ser materialet som en produkt. Det sägs samtidigt att det saknas standarder för produktifiering av RM och att gemensamma sådana, för fler industrier hade kunnat



leda till en bättre förståelse från myndigheter. Sektorkonservatism har tidigare lyfts som ett hinder för samarbeten, och respondenter säger att konservatism måste motverkas genom att sprida kunskap om RM samt ge incitament att välja dessa framför JM. Ur ett ekonomiskt perspektiv vill vissa respondenter se statliga stimulanser och stöd för projektsamverkan och utveckling för teknikutveckling, och menar på att alltför stort ansvar ligger på industrin, samtidigt som allt högre krav ställs. En respondent vill se en finansiering av examensjobb, och syftar på samarbete med universitet. Det framkommer dock inte om finansiering skall ske från statligt håll eller som ett resultat av högre prioritet för frågorna hos företagsledningen.

Jernkontoret svarar att det är viktigt att hitta så kallade 'eldsjälar' från olika håll, till exempel tjänstemän på kommunen eller ansvariga på Trafikverket som har ett intresse för denna typen av frågor.

**Tabell 4. Sammanfattning av respondenternas svar kring vilka åtgärder man vill se för att underlätta samarbeten med andra aktörer.**

Efterfrågade åtgärder	Orsak till / behov av åtgärd
Lagstiftning <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avfallskriterier</li> <li>• Mottagningskriterier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dagens lagstiftning är strikt, ineffektivt och tidskrävande</li> <li>• Markant hårdare krav ger fler incitament</li> </ul>
Samarbete och kunskapsuppbyggnad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Långtgående projekt</li> <li>• Gemensamma frågeställningar</li> <li>• Tvärfunktionellt stöd via universitet och organisationer</li> <li>• Vidareutveckling av pågående projekt</li> <li>• Större dialog mellan myndighet och industri</li> <li>• Gemensam terminologi och standard</li> </ul>
Motverka konservatism	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationsspridning för att minska rädsla för RM hos potentiella mottagare</li> </ul>
Ekonomi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statliga stimulanser</li> <li>• Projektsamverkan</li> <li>• Teknikutveckling</li> <li>• Finansiering av examensjobb</li> </ul>

### 3.3.7 Resursnätverk och online-plattformar för restmaterial

Respondenterna tillfrågades om deras syn på olika typer av resursnätverk för restmaterial, samt om de hade egna tankar kring sådana typer av system.

Samtliga respondenter såg resursnätverk som något positivt, och såg en stor fördel med att vara samlade och kunna dela lösningar. Nätverk ansågs kunna bredda diskussionen mellan branscher och myndigheter och bidra till en större dialog för mer samsyn. Genom en sådan dialog, anförde en respondent, kan man undvika skilda bedömningar vid liknande fall eftersom bedömningsgrunderna skiljer sig åt från myndighet till myndighet. Respondenterna pekade inte ut några nackdelar med resursnätverk men man ville inte se ett strikt myndighetsdrivet nätverk, utan snarare att det skall drivas i samråd med dessa, samt generera egna pengar. Tre respondenter menade att resursnätverk redan existerar via Jernkontoret, som agerar projektsamordnare mellan företag, universitet, politiker och organisationer. Man menar dock att nätverket behöver nischas och integreras mer med slutanvändare, samt att denna typ av samarbeten skall drivas mellan branschorganisationer för bästa effekt.

Ett nätverk, i form av online-plattform, sågs som positivt av samtliga respondenter. En sådan plattform skulle kunna agera handelsplattform, för alla eller vissa typer av RM, med en sändare och mottagare. Denna typ av system sågs som ett bättre alternativ till deponi och man sade att det skulle kunna optimera avsättningen av RM. En respondent uppgav att sådana möjligheter finns mellan exempelvis trä- och pappersindustrin, och menade att detta skulle kunna kvalitetssäkra flödena av RM. Samtidigt som frågan om resursnätverk och plattformar mottogs positivt märktes även en viss återhållsamhet bland respondenterna. Man sade sig vilja se en extern aktör bygga och driva plattformen. En respondent betonade vikten av att kunna få ett kvitto på slutprodukten, med möjlighet att följa upp flödet för att undvika suboptimering. Man menar att RM inte får utgöra ett problem som man kan göra sig av med via en plattform, som sen orsakar skada någon annanstans. Flera respondenter ville se specifikationer och certifikat för restmaterial, såsom grundspecifikation, kvalitetsstämpel och avfallskoder. Samtidigt sade man att en förutsättning för att ett sådant system ska funka är att personal har tid att granska systemet efter material. En respondent svarade att det finns en risk för oseriösa aktörer som gärna utnyttjar ett sådant system, och att avfallskoder förutsättning för att det ska fungera.

Jernkontoret sade att denna typ av plattform kan lämpa sig för mindre mängder av RM, men inte för de stora volymerna. Detta förklarades bero på processen kring upphandling, men utvecklas inte vidare. Vidare såg inte Jernkontoret sig själva kunna axla rollen som ansvarig för en sådan plattform då man anser sig ligga för långt ifrån det praktiska. Man sade sig dock kunna hjälpa till med till exempel regelverksbeskrivningar, men ser helst att rollen sköts av aktörer som Stena Recycling, som har detta som kärnverksamhet.

Respondenterna hade många egna förslag på hur man ska hitta avsättning för sina RM. Några lyfte olika typer av samarbetsforum för utbyte av RM, såsom basindustrins energisamarbete (SKGS), samt det holländska 'Excess Materials Exchange'. En respondent utvecklade idén kring en extern aktör och föreslår att Stena Recycling skulle kunna agera som en central för slaggmängder, men sade att organisationen hittills inte uppvisat ett intresse för en sådan roll. Somliga respondenter lyfte återigen vikten av att hitta en gemensam terminologi och sade att man arbetar aktivt för att höja kunskapen kring slaggar och RM genom lobbying och interna nätverk. En respondent sade att det är viktigt att jobba internt, att inte bara sprida kunskap utåt men även inom den egna organisationen för att på så sätt bygga upp den egna kompetensen. Ett fåtal respondenter svarade att man ämnar utvidga samarbete med universitet och organisationer för att möjliggöra forskning och dialog. Även samarbeten med andra sektorer, som skog- och pappersindustrin, byggsektorn, gruv- och cementindustrin uppgavs vara under utveckling.

## 4 Diskussion

I denna studie genomfördes en fallstudie på Uddeholms AB, en litteraturstudie med slagganvändning i Europa som fokus, och sist semi-strukturerade intervjuer med aktörer för den svenska, skrotbaserade, stålindustrin. I detta kapitel diskuteras resultaten utifrån studiens frågeställningar, och sammanställs sedan i slutsats och rekommendationer.

### 4.1 Användning av slagg i Europa

Från litteraturstudien gavs värdefull inblick om användningsområden för stålslag, och visar en hög potential att nyttja detta material inom ett flertal områden. Majoriteten av litteraturen var fokuserad på bygg- och vägkonstruktion samt markstabilisering, vilket i stort motsvarar användningen i Sverige i dag.

Att nyttja slagg i betongmixar visar sig, enligt litteraturen, inte vara problemfritt. Expanding av slaggen, samt risken för lakning av tungmetaller var två faktorer som belystes i de utförda studierna. Genom att lagra slaggen lyckades man minska sprickbildningen i betongen samt även lakningen av tungmetaller. Förutsatt att det endast är dessa faktorer som kräver särskild hänsyn vid nyttjandet av slagg utgör de dock väldigt viktiga faktorer för att undvika skada på eventuell infrastruktur och på miljön. Försiktighetsprincipen är därför ett rimligt tillvägagångssätt, framför allt om materialet skall användas i närheten av känslig natur samt i samhällsviktiga konstruktioner. Detta gäller även antagandet att ett materials egenskaper kan ändra sig under hela dess livslängd. Innan beslut tas om att använda slagg i större konstruktioner bör således långvariga undersökningar och observationer, motsvarande konstruktionens förväntade livslängd, utföras.

Det tål lyftas att EAFs-betong uppvisar förstärkta egenskaper jämfört med vanlig betong, med högre tålighet mot syra, slitage och kyla. Om långvarigt nyttjande kan garanteras utan sprickbildning eller lakning har EAFs-betong en stor potential att bidra till ett minskat uttag av jungfruligt material inom byggsektorn. En annan miljömässig vinning sågs vid tillsats av LFs i klinkertillverkning som därmed sänkte sintringstemperaturen, och därmed även CO<sub>2</sub>-utsläppen från cementtillverkning. Vid en sådan användning kan ett element av industriell symbios bildas mellan stål- och cementindustrin, där restmaterial blir till produkt.

För anläggning av asfalt visade litteraturen en hög potential för LF-slagg, med hög nötningsbeständighet och bra bindning till ämnet bitumen. Med en andel om uppemot 75% är det tydligt att slagg kan utgöra ett hållbart alternativ för anläggningsindustrin. Den höga nötningsbeständigheten kan också tänkas ge upphov till mindre slitage, och medföljande luftföroreningar, än den som sker på vanlig asfalt.

Slaggens expansiva egenskaper diskuteras i litteraturen kring markstabilisering, och jordens mineralprofil uppmannas tas i beaktande innan inblandning av slagg. Trots att endast små mängder av slagg rekommenderas tycks det ändå innebära en kostnadseffektiv lösning för stålindustrin. De svenska företagens uttryckta strävan efter mindre deponering rimmar väl med att få till även mindre avsättningar för slagg.

Litteraturen kring värmeåtervinning visar lovande resultat för minskad energiförbrukning i stålprocessen, där värmen från slaggbäddar förvärmer materialet som skall smältas i ljusbågsugnen. Likt andra värmeutnyttjande system i andra industrier har denna typ av värmeåtervinning en ekonomiskt fördelaktig potential även för stålindustrin. Det är dock oklart vilka åtgärder som skulle krävas, i form av ombyggnation och annan konstruktion, för att nyttja överskottsvärmen samt om detta är ekonomiskt gynnsamt.

Resultaten för CO<sub>2</sub>-fixering verkar inte peka mot betydande mängder jämfört med vad stålsektorn ger upphov till på årlig basis. Det kan dock konstateras att karbonatisering kan ge upphov till andra ämnen, såsom kalciumkarbonat och kvarvarande syra-lösningar

Resultaten visade även ett färre antal studier på slagg-användning inom jordbruk och vatten-behandling. Med allt mer sinande resurser av näringsämnen för jordbruk ökar också behovet av alternativa lösningar. Försiktighet bör iaktas för att undvika riskerna kring försämrad jordkvalitet och näringsupplagring. Även för neutralisering av avloppsvatten med högt pH-värde ses potentialen i att använda slagg och minska nyttjandet av kalk. Denna typ av neutraliserande effekt kunde även ses i studier för guldutvinning. Slagg uppvisar därmed användning inom områden som står långt ifrån den tidigare nämnda byggsektorn, vilket kan motivera fortsatta studier för optimerad användning.

Stålslagg tycks, utifrån litteraturen, även kunna nyttjas i varierande sammanhang. Egenskaper som att stabilisera gummimaterial för inert klassificering, agera bindemedel för metallurgiska briketter samt kunna produktifieras som slipmaterial tyder på att materialet har stor potential att nyttjas inom flera industrier.

## 4.2 Restmaterialflöden och nuvarande avsättning

Resultaten från fallstudien och de semistrukturerade intervjuerna har gett insikt i den svenska stålindustrin och hur man hanterar avsättning av restmaterial. Från intervjuerna pekades slagg, rökgasstoft och glödskal ut som de största restmaterialflödena för alla aktörer. Detta stämmer väl överens med resultaten ifrån fallstudien från Uddeholm, där slagg står för det största, volymmässiga, restmaterialflödet.

Inom branschen används slaggen i huvudsak som konstruktionsmaterial, men även metallutvinning av externa aktörer är vanligt förekommande för att få tillbaka metallen i form av legeringar som kan nyttjas i processerna. Från intervjuerna gavs intrycket att någon uppenbar avsättning för slagg inte fanns i dagsläget och majoriteten av respondenterna uppgav att slagg deponeras, antingen direkt via företaget eller av extern aktör efter utvinning av metall.

Samtidigt som respondenterna anger att restmaterial deponeras i varierande grad säger Jernkontoret att slagg inte produceras i tillräcklig utsträckning för att kunna konkurrera med andra material. Under intervjuerna framkom att trots stora volymer av restmaterial räcker tonnaget bara till för projekt på försöksnivå. En möjlig lösning på detta sägs vara att samla alla aktörers restmaterial för att uppnå konkurrenskraftiga mängder. Från respondenterna märks dock en tydlig återhållsamhet kring vem som ska axla rollen att koordinera denna process, och samtliga respondenter säger sig vilja se en extern aktör för detta. På grund av att slagg skiljer sig mycket i sin kemiska sammansättning, beroende på från vilken process de uppstår, är det svårt att göra en bedömning av om det råder brist på materialet i sig eller bara en lämplig kvalitet utav det. En faktor som återkom under intervjuerna var den ekonomiska, vilket också kan avgöra huruvida materialet är konkurrenskraftigt eller inte på grund av transportkostnaden, och även här kan det finnas potential att samla restmaterial vid en enda aktör.

En minoritet av respondenterna uppgav att deponi inte förekommer eftersom materialet används som täckmaterial. Med denna typ av diskurs kan sagda företag hävda en starkare miljöprofil och påstå sig stå högre på avfallshierarkin än andra aktörer, även om slaggen ändå hamnar på samma område som det annars skulle deponeras på. Samtidigt som en risk alltid föreligger med nyttjandet av restmaterial som slagg kan en stor nytta ses i besparandet av jungfruligt material som skulle krävts om slagg inte hade använts i konstruktionen.

Uddeholm har hittat en resurseffektiv och ekonomisk avsättning för sin slagg genom sitt samarbete med Hagfors kommun för sluttäckning av den lokala deponin Holkesmossen. Slaggen har visat sig nå upp till miljökrav för vattengenomsläpplighet och lakning av tungmetaller, och lämpar sig därför väl som konstruktionsmaterial vid deponisluttäckning. Uddeholm åtnjuter stora ekonomiska fördelar genom denna avsättning eftersom slagg tekniskt sett inte

deponeras, då det i stället används i tät- samt dräneringsskiktet. Uddeholm säger sig leta efter framtida alternativ när Holkesmossen väl är helt och hållet sluttäckt, och har påbörjat dialog med Sunne kommun och deras lokala deponi för användande av gråslagg till vägkonstruktion inom deponin. Från intervjuerna kan man dra slutsatsen att Uddeholm tillhör ett av de få företag som hittat en annan avsättning för sin slagg, än majoriteten som till största del deponerar materialet. Förbättringspotentialer är därför svåra att identifiera i just Uddeholms fall, då det verkar som att företaget redan ligger i framkant.

### 4.3 Samarbeten – barriärer och förutsättningar

Från intervjuerna framgick att en majoritet av företagen har samarbeten med externa aktörer för hantering och behandling av sina restmaterial.

Den vanligaste formen av samarbeten var att RM genomgick behandling för metallutvinning, som företaget sedan köper tillbaka i form av legeringar för att nyttja i processen. När respondenterna tillfrågades om vart restmaterialet tar vägen efter behandling uppgav man att den processade slaggen skickas på deponi av samma företag som utvinnet metallen. Att respondenterna säger sig värna om att minska mängder deponerat restmaterial, och helst se en optimerad användning av dessa tycks inte gå hand i hand med hur det går till i praktiken. Tilläggas bör att respondenter indikerat under intervjuernas gång att Jernkontoret utgör knutpunkten för projekt som syftar till att optimera restmaterialen, och att det därför är svårt att bedöma hur väl företagen arbetar med att optimera avsättningen. Med utgång i EU:s avfallshierarki kan det däremot konstateras att företagen står inför utmaningar för att kunna klättra högre och bort från deponering.

Den främsta faktorn för vad som styr graden av samarbete sades vara ekonomi, och man syftar då på deponeringsavgiften. Detta stämmer överens med de faktorer som identifierades av Golev (2014), även om ekonomi inte märktes ut som en essentiell faktor återfanns den bland de observerade barriärerna. Denna aspekt sägs dock väga lika tungt som chansen att förbättra företagets miljöprofil, för att inneha en slags konkurrenskraft gentemot andra företag. Respondenterna uttryckte ofta en vilja att göra investeringar för behandling av sina restmaterial, men att en tydlig koppling måste kunna ses mellan verksamhetsplanen och miljöarbetet för att kunna bygga en mer attraktiv miljöprofil.

Över lag visade intervjuerna att intresset är högt bland företagen att få chansen till att bedriva forskning och hitta lokala lösningar för hantering av restmaterialen. Respondenterna säger samtidigt att branschen tvingas stå för orimligt mycket av ansvaret kring detta, och vill se ekonomiska stimulanser från staten. Gemensamma krafttag, mellan staten och basindustrin, kan vara en intressant satsning för att driva på denna utveckling. Det verkar inte råda konsensus kring vem som ska finansiera

lösningar, och stålindustrin står inför dilemmat att effektivisera sina processer, optimera avsättningen för sina restmaterial och samtidigt producera varor till skäliga priser. Det kan därför tyckas rimligt att stålindustrin efterfrågar statligt stöd för att bredda dialogen och kompetensen kring restmaterial för att lyfta dess samhällsnytta, i stället för att diskussionen alltid ska handla om uppkomst och risk. Likt de erfarenheter från Filippinerna av Bacudio et al. (2016) ses här även i svensk kontext vikten av stöd från ledningsnivå, i form av stat och myndigheter, för branschens aktörer.

Synen på lagstiftning var spridd bland de intervjuade företagen, där somliga ansåg regelverket vara för hårt men även en förutsättning för att samarbeta kring denna typ av frågor. Samtliga företag vill se en förändring av lagstiftningen, men delade meningar rådde huruvida kraven borde vara hårdare eller om fokuset istället borde skiftas till mer lösningsorientering, som ovan nämnt, i form av en verksamhet för restmaterial samt diskussioner kring samhällsnytta istället för risk och uppkomst. Samtidigt förutspåddes lagstiftningen bli än hårdare i framtiden, och samarbeten för att kunna undvika deponering – samtidigt som myndighetskrav uppnås - sades utgöra en viktig drivkraft.

En annan aspekt som agerar barriär för samarbeten var mottagarkriterier. När företag klassar restmaterial som till exempel avfall ställer detta krav på mottagaren att inneha motsvarande tillstånd. Detta sades vara en tidskrävande, byråkratisk, process. Även i denna fråga skulle en förbättrad dialog mellan myndighet och industri möjliggöra en mer effektiv process som kan underlätta för företag att samarbeta för avsättning av restmaterial.

#### 4.4 Framtida åtgärder för den svenska stålindustrin

Framställning av stål leder oundvikligen till uppkomsten av restmaterial som även framöver kommer kräva avsättning. Förutsatt en ihållande trend där deponier sluttäcks, samt där det blir allt svårare att konstruera nya, står det klart att alternativa användningsområden måste utvecklas för bland annat slagg. Från intervjuerna kan en tydlig vilja ses bland respondenterna att hitta en gemensam väg framåt tillsammans med myndigheter och statliga organ för optimerad avsättning av restmaterial.

Resursnätverk sågs som något positivt, med fördelen att samla företag samt bjuda in till en bredare diskussion kring restmaterialflöden mellan industrier och branscher. En del av respondenterna förklarade att materialströmmar, till exempel från trä- och pappersindustrin, utforskas och att denna typ av branschsamarbeten kan bredda dialogen med myndigheter för mer samsyn kring restmaterial.

Dialog med myndigheter torde leda till mer samlade bedömningsgrunder för restmaterial, till skillnad från dagens hantering där tillstånd oftast får avslag, trots



att nödvändig dokumentation och identifiering av lämplig avsättning finns, på grund av myndigheternas skepticism kring materialet.

Införandet av en online-plattform för restmaterial, med potential att agera handelsplattform för fler branscher, kan utgöra ett effektivt verktyg för industriell symbios för Sveriges industrier. Från respondenternas håll märktes en tydlig efterfrågan av en extern aktör som ansvarig för den typen av plattform, och Stena Recycling föreslogs som en möjlig kandidat för detta. Som tidigare nämnts ses ingen större ekonomisk vinning i slagg på grund av höga transportkostnader. En samordning och fysisk plats för lagring av slagg från stålindustrin måste således placeras geografiskt nära de aktörer som slaggen kommer ifrån, en faktor som tidigare identifierats av Mirata (2018) och Chertow (2000). Ett större samarbete mellan stålindustrin och återvinningsföretag som Stena kan ha stor potential för att lösa utmaningarna som råder kring restmaterial och dess avsättning. En sådan plattform bör kvalitetssäkras, något som respondenterna betonade i sin efterfrågan av bland annat grundspecifikation, kvalitetsstämpel och avfallskoder.

Från denna studie framkommer det att behovet av en gemensam terminologi är stor, och för detta arbete har definitionerna från EU:s avfallsdirektiv använts. I fallstudien gjordes ett försök att koppla samman den vardagsterminologi som används på Uddeholm, med den som används i tidigare rapporter från Jernkontoret. I intervjuerna framkom att lobbying, för att höja kunskapen kring slagg, är viktig för att säkerställa en gemensam terminologi både inom det egna företaget och bland myndigheter samt andra företag. Denna form av kunskapsspridning skulle även kunna leda till en tydligare dialog mellan företag och myndigheter.

En problematik stod att finna i skillnaden mellan företagens och myndigheternas syn på när restmaterial inte kan ses som produkter längre. Trots att företag klassificerar ett material enligt riktlinjerna i REACH tvingas man använda myndigheters definition på avfall, även om materialet ses som en produkt. I samband med en breddad dialog kring terminologi bör därför också en dialog föras kring en gemensam klassning, och standard för produktifiering, av restmaterial som biprodukt respektive avfall.

Företagen uttryckte en vilja att driva långtgående projekt kring gemensamma frågeställningar, och då gärna med tvärfunktionella stöd mellan universitet och myndigheter. En förutsättning för detta sades vara ett högre intresse för restmaterial från statligt håll för att initiera projekt och samarbeten. En starkare koppling mellan basindustrin, universitet och myndigheter är en typ av samarbete som har stor potential att lyfta samhällsviktiga lösningar på utmaningar som idag ses som endast industrins ansvar.

## 4.5 Metoddiskussion – förslag på vidare studier

I denna studie nyttjades ett antal metoder, samt ett samarbete med Uddeholms AB, för att bidra till en samlad kunskapsbild över vilka utmaningar den svenska stålindustrin står inför gällande restmaterialhantering. Processen kring detta har inte varit linjär, och har kompletterats av otaliga samtal och diskussioner längs med vägen. Lärdomarna från detta arbete är att en djupgående kunskap kring ståltillverkningen krävs för att kunna föra en rättvis diskussion utefter det satta syftet och frågeställningarna. Intervjuer genomfördes inom en rimlig tidsram för detta arbete, samt med aktörer från stålindustrin. En lämplig uppföljning vore att intervjua återvinning-branschen, som Stena Recycling AB, samt myndigheter som behandlar ärenden relaterade till avfall och restmaterial. Detta skulle kunna möjliggöra att åsikter och synpunkter från båda sidorna kopplas samman.



## 5 Slutsatser

Stålindustrin framställer produkter som används i en mängd branscher och varor, med stor utsträckning i alla samhällsskikt, från kraftindustrin till småkomponenter i mobiler. I detta arbete har utmaningar för samarbeten inom den svenska stålindustrin studerats, samt avsättning för stålslagg i Europa. Denna studie kan dra följande slutsatser:

- Från den svenska stålindustrin uppstår en mängd olika restmaterial, varav stålslagg, glödskal och rökgasstoff står för de tre största flödena. Det volymmässigt största flödet, stålslagg, genomgår i dagsläget behandling för metallutvinning för att sedan skickas vidare för deponering. En liten del av de svenska stålindustrierna har hittat en kostnadseffektiv avsättning för sin slagg, i form av konstruktionsmaterial i sluttäckning av lokala deponier.
- Stålindustrin i Sverige upplever att ett orimligt högt ansvar ställs på branschen när det kommer till att hitta avsättning för sina restmaterial, och efterfrågar statliga ekonomiska stimulanser. Förändringar i lagstiftningen ses som både en barriär och en drivkraft för samarbete, med klassificeringar, mottagningskriterier och tidskrävande byråkrati som utpekade utmaningar. Samtidigt förväntas mer komplex lagstiftning i framtiden, vilket motiverar samarbete och dialog kring avsättning för att undvika den kostnad som följer med deponering.
- Slagg från stålindustrin utgör idag värdeskapande materialströmmar som med lämplig avsättning kan användas för samhällsnytta. Ett tydligt exempel av symbios kan ses i samarbetet mellan Uddeholms AB och den lokala deponin Holkesmossen, där slagg nyttjas i sluttäckningen och därmed sparar in på stora mängder jungfruligt material.
- Studiens litteraturstudie visade ett flertal användningsområden för stålslagg, där bygg- och vägkonstruktion utgjorde den största användningen, följt av markstabilisering, värmeåtervinning och CO<sub>2</sub>-fixering. Ett mindre antal studier hittades för bland annat slamstabilisering inom jordbruk samt pH-neutralisering av avloppsvatten. Variationen av användningsområden tyder på en stor potential för svensk stålindustri att utforska alternativa avsättningar, tillsammans med andra branscher och sektorer, men att användningen av slagg i Sverige matchar den i övriga Europa.

## 6 Tack

Att skriva ett exjobb är, som min handledare Carl Dalhammar uttrycker det, ”som att äta en elefant. Man tar en sked i taget”. Jag kan inget annat än, efter drygt 18 veckor, instämma i det påståendet och tacka för det outtröttliga arbete Carl utfört som handledare för denna uppsats.

Mitt arbete utfördes i samråd med Uddeholms AB, som trots fullspäckade scheman har uppvisat exemplariskt bemötande och gästfrihet. Jag vill därmed rikta ett stort tack till Cecilia Johnsson, för sitt engagemang och kommunikation, och Jan Hedlund för sin kunskap och stora tålamod samt ett öga för ’petitesser’.

Observationer från Uddeholm hade inte kunnat genomföras utan personalen som avsatte sin tid för detta. Härmed riktas ett stort tack till Magnus och Daniel på avdelningen pressmedjan, för gott tålamod trots hög arbetsbelastning. Tack till Roland på ESR för ett nästan överväldigande engagemang och kunskapsdelande. Tack till personalen på pulveravdelningen som tålmodigt besvarade mina frågor. Tack till Ulf och Per-Erik på miljöavdelningen för ett väldigt trevligt bemötande och god guidning.

Inga arbeten är ett ’one man job’, och det är min fasta övertygelse att inget har blivit gjort i den här världen utan stöttning och backning av vänner och familj. Tack, Natalie Varady, för alla timmar på Eslövs bibliotek och prat om träning, politik och ryggproblem för oss ’långskankar’. ”Jag andas ju in luft...som att det skulle va ett problem” – Natalie, 2022.

Engagemang och eldsjälur uppmärksammas inte så ofta i dagens nyhetsflöden, men från denna tid har jag blivit glatt överraskad att framsteg görs tack vare att just engagemang och eldsjälur existerar. Det får mig att tänka på ett par ord från pastor Thomas Dexter Jakes: ”If you always do what you’ve always done, you’ll always be where you’ve always been”.

## 7 Referenser

- EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2008/98/EG av den 19 november 2008 om avfall och om upphävande av vissa direktiv, (2008).
- Adolfsson, D., Engström, F., Robinson, R., & Björkman, B. (2011). Cementitious Phases in Ladle Slag. *steel research international*, 82(4), 398-403. <https://doi.org/10.1002/srin.201000176>
- Alakangas, L., Maurice, C., Macsik, J., Nyström, E., Sandström, N., Andersson-Wikström, A., & Hällström, L. (2014). *Kartläggning av restprodukter för efterbehandling och inhibering av gruvavfall: Funktion, tillgång och logistik*. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-24560>
- Andreas, L., Björkman, B., Engström, F., Diener, S., & Yang, Q. (2012). Konstruktionsprodukter baserade på slagg – Construction materials based on slag. *TEKNISK SLUTRAPPORT*. 52.
- Andreas, L., Diener, S., & Lagerkvist, A. (2012). Rekommendationer för användning av slagg i deponikonstruktioner Krav, lämplighet, materialhantering och utläggning
- Exemplet HAGFORS KOMMUNALA DEPONI. 46.
- Andreas, L., Diener, S., & Lagerkvist, A. (2014). Steel slags in a landfill top cover--experiences from a full-scale experiment. *Waste Manag*, 34(3), 692-701. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.003>
- Arribas, I., Santamaría, A., Ruiz, E., Ortega-López, V., & Manso, J. M. (2015). Electric arc furnace slag and its use in hydraulic concrete. *Construction and Building Materials*, 90, 68-79. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.003>
- Autelitano, F., & Giuliani, F. (2016). Electric arc furnace slags in cement-treated materials for road construction: Mechanical and durability properties. *Construction and Building Materials*, 113, 280-289. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.054>
- Baas, L., & Boons, F. (2007). The introduction and dissemination of the industrial symbiosis projects in the Rotterdam Harbour and Industry Complex. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 7(5/6). <https://doi.org/10.1504/ijetm.2007.015630>
- Backman, J. (2016). *Rapporter och uppsatser* (Vol. 3). Studentlitteratur AB.
- Bacudio, L. R., Benjamin, M. F. D., Eusebio, R. C. P., Holaysan, S. A. K., Promentilla, M. A. B., Yu, K. D. S., & Aviso, K. B. (2016). Analyzing barriers to implementing industrial symbiosis networks

- using DEMATEL. *Sustainable Production and Consumption*, 7, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.03.001>
- Beaucour, A. L., Pliya, P., Faleschini, F., Njinwoua, R., Pellegrino, C., & Noumowé, A. (2020). Influence of elevated temperature on properties of radiation shielding concrete with electric arc furnace slag as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119385>
- Bilen, M., Altiner, M., & Yildirim, M. (2017). Evaluation of steelmaking slag for CO2 fixation by leaching-carbonation process. *Particulate Science and Technology*, 36(3), 368-377. <https://doi.org/10.1080/02726351.2016.1267285>
- Bondrea, I., Abbà, A., Sorlini, S., Collivignarelli, M. C., Simion, C., & Ință, M. (2017). Research experiences on the reuse of industrial waste for concrete production. *MATEC Web of Conferences*, 121. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712110001>
- Bryman, A. (2018). *Samhällsvetenskapliga metoder* [Social Research Methods Third Edition] (3 ed.). Liber AB.
- Chatzopoulos, A., Sideris, K. K., & Tassos, C. (2021). Production of concretes using slag aggregates: Contribution of increasing the durability and sustainability of constructions. *Case Studies in Construction Materials*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00711>
- Chertow, M. R. (2000). "Uncovering" Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1).
- De Colle, M., Kielman, R., Karlsson, A., Karasev, A., & Jönsson, P. G. (2021). Study of the Dissolution of Stainless-Steel Slag Minerals in Different Acid Environments to Promote Their Use for the Treatment of Acidic Wastewaters. *Applied Sciences*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/app112412106>
- Denscombe, M. (2018). *Forskningshandboken : för småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna* (4 ed.). Studentlitteratur AB.
- Development, W. C. o. E. a. (1987). Our Common Future.
- Dougherty, L. (1997). *Denmark Shows the Way*. <http://www.dollarsandsense.org/archives/1997/0597dougherty.html>
- EC. (2018). *Industrial Symbiosis*. Retrieved Mars 04 from [https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2018/05/Industrial\\_Symbiosis.pdf](https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2018/05/Industrial_Symbiosis.pdf)
- Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1907/2006 av den 18 december 2006 om registrering, utvärdering, godkännande och begränsning av kemikalier (Reach), (1907/2006). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj/swe>
- Faleschini, F., Bragolusi, P., Zanini, M. A., Zampieri, P., & Pellegrino, C. (2017). Experimental and numerical investigation on the cyclic behavior of RC beam column joints with EAF slag concrete.

- Engineering Structures*, 152, 335-347.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.09.022>
- Frosch, R. A. (1992). Industrial ecology: A philosophical introduction. 89, 800-803.
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144-153.
- Fuente-Alonso, J. A., Ortega-López, V., Skaf, M., Aragón, Á., & San-José, J. T. (2017). Performance of fiber-reinforced EAF slag concrete for use in pavements. *Construction and Building Materials*, 149, 629-638. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.174>
- Gahan, C. S., Sundkvist, J.-E., Engström, F., & Sandström, Å. (2011). Utilisation of steel slags as neutralising agents in biooxidation of a refractory gold concentrate and their influence on the subsequent cyanidation. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(5), 541-547. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.01.005>
- García-Cuadrado, J., Santamaría-Vicario, I., Rodríguez, A., Calderón, V., & Gutiérrez-González, S. (2018). Lime-cement mortars designed with steelmaking slags as aggregates and validation study of their properties using mathematical models. *Construction and Building Materials*, 188, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.093>
- Gencil, O., Karadag, O., Oren, O. H., & Bilir, T. (2021). Steel slag and its applications in cement and concrete technology: A review. *Construction and Building Materials*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122783>
- Gobetti, A., Cornacchia, G., & Ramorino, G. (2021). Innovative Reuse of Electric Arc Furnace Slag as Filler for Different Polymer Matrixes. *Minerals*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/min11080832>
- Golev, A., Corder, G. D., & Giurco, D. P. (2014). Barriers to Industrial Symbiosis: Insights from the Use of a Maturity Grid. *Journal of Industrial Ecology*, 19(1), 141-153. <https://doi.org/10.1111/jiec.12159>
- Herrero, T., Vegas, I. J., Santamaría, A., San-José, J. T., & Skaf, M. (2016). Effect of high-alumina ladle furnace slag as cement substitution in masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 123, 404-413. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.014>
- Hewes, A. K., & Lyons, D. I. (2008). The Humanistic Side of Eco-Industrial Parks: Champions and the Role of Trust. *Regional Studies*, 42(10), 1329-1342. <https://doi.org/10.1080/00343400701654079>
- Iacobescu, R. I., Angelopoulos, G. N., Jones, P. T., Blanpain, B., & Pontikes, Y. (2016). Ladle metallurgy stainless steel slag as a raw material in Ordinary Portland Cement production: a possibility for industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 112, 872-881. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.006>



- Inno4sd. (2019). *One company's waste is another's raw material: National Industrial Symbiosis Programme (NISP)*. Retrieved Mars 04 from <https://www.inno4sd.net/one-companys-waste-is-anothers-raw-material-national-industrial-symbiosis-programme-nisp-551>
- Jernkontoret. (2018). Stålindustrin gör mer än stål. Handbok för restprodukter
- Jernkontoret. (2021). *Företag och anläggningar*. Retrieved Mars 04 from <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/foretag-och-anlaggningar/>
- Jernkontoret. (2022). *Processernas miljöpåverkan*. <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processernas-miljopaverkan/>
- Johannessen, A., Tuft, P. A., & Christoffersen, L. (2020). *Introduktion till samhällsvetenskaplig metod* [Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode] (Vol. 2). Liber AB.
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2014). *Den kvalitativa forskningsintervjun* (3 ed.). Studentlitteratur AB.
- Manso, J. M., Rodriguez, Á., Aragón, Á., & Gonzalez, J. J. (2011). The durability of masonry mortars made with ladle furnace slag. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3508-3519. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.044>
- Merriam, B. S. (1993). *Fallstudien som forskningsmetod* (1 ed.). Studentlitteratur AB.
- Miljöbalk, SFS, (SFS 1998:808). [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808\\_sfs-1998-808](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808)
- Mirata, M. (2018). International and Swedish State of Play in Industrial Symbiosis
- A review with proposals for scaling up industrial symbiosis in Sweden.
- Montenegro, J. M., Celemin-Matachana, M., Cañizal, J., J. Setién. (2013). Ladle Furnace Slag in the Construction of Embankments: Expansive Behavior. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Article 979. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000642](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000642)
- Moura, C., Nascimento, L., Loureiro, C., Rodrigues, M., Oliveira, J., & Silva, H. (2022). Viability of Using High Amounts of Steel Slag Aggregates to Improve the Circularity and Performance of Asphalt Mixtures. *Applied Sciences*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/app12010490>
- Naturvårdsverkets författningssamling. Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall, (NFS 2004:10).
- Naturvårdsverket. (u.å-a). *Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta*. Retrieved Mars 04 from

- <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin- visar-stegen-vi-behover-ta>
- Naturvårdsverket. (u.å-b). *Industri, utsläpp av växthusgaser*. Retrieved March 04 from <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/>
- Naturvårdsverket. (u.å-c). *Lagar och regler om avfall*. Retrieved Mars 04 from <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/lagar-och-regler-om-avfall/>
- Nebreda-Rodrigo, F. J., Terrones-Saeta, J. M., Suárez-Macías, J., Moreno-López, E. R., Corpas-Iglesias, F. A., & Martínez-García, C. (2021). Utilisation of Mining Waste from the Steel Industry, Ladle Furnace Slags, as a Filler in Bituminous Mixtures of Continuous Grading. *Metals*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/met11091447>
- Nguyen, H., Adesanya, E., Ohenoja, K., Kriskova, L., Pontikes, Y., Kinnunen, P., & Illikainen, M. (2019). Byproduct-based ettringite binder – A synergy between ladle slag and gypsum. *Construction and Building Materials*, 197, 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.165>
- Ortega-Fernández, I., Arribalzaga, P., Bielsa, D., Fernández, L., & Unamuno, I. (2022). Potential Waste Heat Recovery Analysis From Molten Steel Slag: The Case Study of Sidenor Steelworks in Basauri (Spain). *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 14(1). <https://doi.org/10.1115/1.4050986>
- Ortega-Fernández, I., & Rodríguez-Aseguinolaza, J. (2019). Thermal energy storage for waste heat recovery in the steelworks: The case study of the REslag project. *Applied Energy*, 237, 708-719. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.007>
- Ortega-López, V., Fuente-Alonso, J. A., Santamaría, A., San-José, J. T., & Aragón, Á. (2018). Durability studies on fiber-reinforced EAF slag concrete for pavements. *Construction and Building Materials*, 163, 471-481. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.121>
- Ortega-López, V., Manso, J. M., Cuesta, I. I., & González, J. J. (2014). The long-term accelerated expansion of various ladle-furnace basic slags and their soil-stabilization applications. *Construction and Building Materials*, 68, 455-464. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.023>
- Pachta, V., & Anastasiou, E. K. (2021). Utilization of Industrial Byproducts for Enhancing the Properties of Cement Mortars at Elevated Temperatures. *Sustainability*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132112104>
- Peck, P., Richter, J. L., Delaney, K., Dalhammar, C., Peck, D., Orlov, D., Machacek, E., Gillabel, J., Nußholz, J. L. K., Wrancken, K., Whalen, K., Modis, K., Milios, L., Messing, M., Bocken, N., Tojo, N., Davris, P., Manshoven, S., Sfez, S., . . . Voytenko Palgan, Y. (2020).

- Management: A compendium by the International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE) at Lund University.
- Pisciotta, M. (2020). The volume expansion of artificial road aggregates derived from steelmaking slags. *European Transport*(75).
- Polat, Ş., & Kahrıman, F. (2015). Microstructural and mechanical characterization of electric arc furnace (EAF) slag for use as abrasive grit material. *Materials Testing*, 57(3), 245-251. <https://doi.org/10.3139/120.110704>
- Rahou, J., Rezqi, H., El Ouahabi, M., & Fagel, N. (2022). Characterization of Moroccan steel slag waste: The potential green resource for ceramic production. *Construction and Building Materials*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125663>
- Rawlings, D. E., & Johnson, D. B. (2007). The microbiology of biomining: development and optimization of mineral-oxidizing microbial consortia. *Microbiology (Reading)*, 153(Pt 2), 315-324. <https://doi.org/10.1099/mic.0.2006/001206-0>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). *CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Samara, E., Matsi, T., & Balidakis, A. (2017). Soil application of sewage sludge stabilized with steelmaking slag and its effect on soil properties and wheat growth. *Waste Manag*, 68, 378-387. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.016>
- Santamaría, A., García-Llona, A., Revilla-Cuesta, V., Piñero, I., & Ortega-López, V. (2021). Bending tests on building beams containing electric arc furnace slag and alternative binders and manufactured with energy-saving placement techniques. *Structures*, 32, 1921-1933. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.003>
- Santamaría, A., González, J. J., Losáñez, M. M., Skaf, M., & Ortega-López, V. (2020). The design of self-compacting structural mortar containing steelmaking slags as aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103627>
- Santamaría, A., Orbe, A., San José, J. T., & González, J. J. (2018). A study on the durability of structural concrete incorporating electric steelmaking slags. *Construction and Building Materials*, 161, 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.121>
- Skaf, M., Ortega-López, V., Fuente-Alonso, J. A., Santamaría, A., & Manso, J. M. (2016). Ladle furnace slag in asphalt mixes. *Construction and Building Materials*, 122, 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.085>
- Song, Q., Guo, M.-Z., Wang, L., & Ling, T.-C. (2021). Use of steel slag as sustainable construction materials: A review of accelerated carbonation treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105740>

- Sosa, I., Tamayo, P., Sainz-Aja, J. A., Thomas, C., Setién, J., & Polanco, J. A. (2021). Durability aspects in self-compacting siderurgical aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102268>
- Symbiosis, I. (u.å-a). *Exempel på IUS-nätverk i Sverige*. <https://industrialsymbiosis.se/case.html>
- Symbiosis, I. (u.å-b). *Industriell och social symbios i Sotenäs*. Retrieved Mars 04 from <https://industrialsymbiosis.se/sotenas-sv.html>
- Symbiosis, I. (u.å-c). *Industriell och urban symbios i Norrköping*. Retrieved Mars 04 from <https://industrialsymbiosis.se/norrkoping.html>
- Symbiosis, K. (2021). *Surplus from circular production*. Retrieved Mars 04 from <http://www.symbiosis.dk/en/>
- Tamayo, P., Pacheco, J., Thomas, C., de Brito, J., & Rico, J. (2019). Mechanical and Durability Properties of Concrete with Coarse Recycled Aggregate Produced with Electric Arc Furnace Slag Concrete. *Applied Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/app10010216>
- Terrones-Saeta, J. M., Suarez-Macias, J., Moreno-Lopez, E. R., & Corpas-Iglesias, F. A. (2021). Determination of the Chemical, Physical and Mechanical Characteristics of Electric Arc Furnace Slags and Environmental Evaluation of the Process for Their Utilization as an Aggregate in Bituminous Mixtures. *Materials (Basel)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/ma14040782>
- Tudor, T., Adam, E., & Bates, M. (2007). Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): A literature review. *Ecological Economics*, 61(2-3), 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.010>
- Uddeholm. (2021). Hållbarhetsrapport Uddeholm 2020/2021. Hur drivs hållbarhetsarbete inom Uddeholm? .
- Uddeholm. (2022a). In.
- Uddeholm. (2022b). *Om Uddeholm*. Retrieved Mars 04 from <https://www.uddeholm.com/sweden/sv/om-uddeholm/>
- UNDP, F. s. u. (u.å). *OM GLOBALA MÅLEN*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>
- Yu, Y., Yazan, D. M., Bhochhibhoya, S., & Volker, L. (2021). Towards Circular Economy through Industrial Symbiosis in the Dutch construction industry: A case of recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126083>

## Bilaga 1 – Söksträng Web of Science

Söksträng WoS					
Avgränsning: 2008-2022					
	Block 1 (Topic)	Block 2 (Topic)	Block 3 (Topic)	Block 4 (Topic)	Antal träffar
Boolean:		AND	AND	NOT	
Sökord:	"steel industry*" OR "steel sector" OR "steelwork" OR "steel-plant" OR "steelmaking" OR "steel-making" OR "scrap-based steelmaking" OR "European steel industry" OR "electric arc furnace steelmaking" OR "metallurgical industry"	"metallurgic slag OR" "slag" OR "steel slag" OR "hot slag" OR "steelmaking slag" OR "EAF slag" OR "slags"	"material exchange" OR "material flow" OR "recycling" OR reuse OR "resource conservation" OR "industrial symbiosis" OR "waste management" OR management OR utilisation OR utilization OR use OR application OR productization OR "recycle options" OR "re-distribution" OR "material recovery" OR "material extraction" OR "slags utilisation" OR "metals recovery" OR potential	"basic oxygen furnace" OR "pig iron" OR iron OR "blast furnace"	201

## Bilaga 2 – Tematiserade intervjufrågor

### Restmaterialhantering

- Vilka material använder ni i processen
- Vilka huvudsakliga restmaterial uppstår inom er verksamhet? (3 största)
- Hur återförs restmaterialna som uppstår hos er?
- Vilken är den främsta orsaken till att ni inte nyttjar restmaterial i processen efter en viss punkt?
- I hur stor utsträckning kan ni återföra restmaterial / använda dem tills det inte går mer?

### Återvinning – inställning och kundpåverkan.

- Vilken inställning har ni, generellt, till återvinning?
- Hur påverkas eran verksamhet om era kunder vill upphandla fler produkter med återvunnet material?
- Samarbete med andra företag eller industrier
- Utbyter ni restmaterial med andra företag?
- Vad är det huvudsakliga syftet med det resursutbyte ni redan gör?

### Återföring av restmaterial

- Vilka fördelar ser du med att återföra restmaterial i processen?
- Vilka nackdelar ser du med att återföra restmaterial i processen?
- Vad anser du vara den största utmaningen kring att utnyttja restmaterial i processen idag?

### Förutsättning, drivkrafter och hinder för samarbeten

- Vad skulle få er att ingå (fler) samarbeten av denna typ?
- Finns det aspekter som utgör ett hinder för samarbete med andra industrier?
- Finns där någon/några aspekter som agerar en drivande faktor för samarbeten?
- Hur tror du ett högre råvarupris skulle påverka samarbete mellan industrier?

### Åtgärder för att främja samarbeten

- Hur ser ni på resursnätverk för restmaterial, mellan industrier?
- Vad tänker du om införandet av online-plattformar, där aktörer med behov av material kan möta aktörer med restmaterial?
- Har ni tänkt på andra, liknande, förslag på åtgärder?

### Resursnätverk och online-plattform för restmaterial

- Vilka åtgärder tror ni kan hjälpa industrin att samarbeta mer med andra företag för ett bättre nyttjande av restmaterial?
- Behövs förändring i lagstiftning för restmaterial?