

# Ett värdebeständigt svenskt materialsystem

## Appendix



I detta appendix beskrivs metodiken och källorna som använts för analysen som presenteras i rapporten *Ett värdebeständigt svenskt materialsystem – En rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv*.

Projektet har utförts av Material Economics och Återvinningsindustrierna under Innovationsprogrammet RE:Source, i samarbete med Electrolux, McDonalds, NCC, Ragn-Sells, SSAB, Stena Recycling, och Suez. Forskningsvägledning har getts av Professor Göran Finnveden, Professor Mats Eklund, Professor Staffan Laestadius, Professor Anne-Marie Tillman och Professor Karin Markides. En stor mängd aktörer inom svenskt näringsliv och forskning har därutöver gett värdefulla bidrag i form av kunskap, perspektiv och data.



# Innehållsförteckning

1. Appendix: Stål	3
2. Källförteckning	11

# 1. Appendix: Stål

## PRODUKTION, ANVÄNDNING, OCH ÅTERVINNING

Variabel	Metodik, huvudsakliga källor och diskussion
Materialflödesanalys och årtal	Grunden för materialflöden är en materialflödesanalys som genomfördes i projektet <i>Stålkretsloppet</i> <sup>1</sup> . Denna har uppdaterats med data för 2014, som är vårt basår för priser och flöden, och därmed för värdeuppskattning.
Kategorier av stål	Alla flöden (produktion, export, import, förluster, spill, återvinning, mm.) och priser beräknas i kategorierna olegerat (inkl. kolrikt), rostfritt och övrigt legerat. Dessa återfinns även i SCB:s statistik.
Svensk användning / bruttotillförsel	Svensk användning baseras delvis på materialflödesanalysen ovan, delvis på nettot mellan produktion, export och import i statistik från SCB (se ”Svensk export och import av stål och stålskrot nedan”) och Jernkontoret vilket ger en årlig användning på ca 3,3 Mt stål per år.
Svensk produktion	Svensk stålproduktion uppgick till 4,6 Mt råstål per år enligt Jernkontoret. Detta innefattar både skrotbaserad och malmbaserad produktion. <sup>2</sup>
Global skrotbaserad produktion	Andelen skrotbaserad stålproduktion globalt uppskattas bland annat i löpande statistik från Bureau of International Recycling <sup>3</sup> , mer utförligt i en grundlig global MFA för år 2008 <sup>4</sup> , samt i statistik från World Steel Association <sup>5</sup> .
Svensk export och import av stål och stålskrot	Statistiska Centralbyrån (SCB) ger import- och exportdata per KN-nummer (72xxxx för stål) <sup>6</sup> och även Jernkontoret tillhandahåller statistik <sup>2</sup> .
Stål som faller ur användning	Stålet som faller ur användning är ca 3,3 miljoner ton per år, motsvarande ca 3% av stålstocken. Denna uppskattning bygger på ovanstående produktions- och handelsdata, data i ovanstående MFA efter uppdatering till 2014 års data. Detta kompletteras med SCBs <sup>7</sup> statistik över behandlat avfall.
Återvinningsgrad	För Sverige ges återvinningsgraden i ovanstående materialflödesanalys. Internationella tal ger lägre insamlingsgrad mellan 80-90 procent för andra, jämförbara länder <sup>3,8,9</sup> . Vi bedömer den högre insamlingsgraden för Sverige som trolig, bland annat då i) svensk skrotmarknad sedan länge är väldigt utvecklad, ii) svensk stålindustri producerar ovanligt högvärdiga produkter från skrotbaserad produktion, vilket också har skapat stark efterfrågan och incitament för insamling och behandling, samt iii) svensk avfallslagstiftning sedan länge är ovanligt strikt, med höga avgifter för deponi. Intervjuer understödjer också den högre insamlingsgraden, och betonar bland annat att svensk stålindustri har en internationellt ledande förmåga att använda sig av skrotets legeringsämnen i nyproduktion – vilket också bidrar till att öka efterfrågan på skrot och därmed öka insamlingen.

## URSPRUNGSVÄRDE, VÄRDEFÖRLUSTER, OCH SKROTVÄRDE

### Variabel Metodik, huvudsakliga källor och diskussion

**Stålpriser** Priset på stål baseras i första hand på importdata från SCB (som nämns ovan utgör import en stor del av svensk användning). Tulldata av detta slag kan dock ge opålitliga värden för enskilda år. Vi jämför därför talen med prisriktmärken på olika o- eller låglegerade produkter från bland andra London Metals Exchange<sup>10</sup> och MEPS [ref] för en längre tidsperiod. Jämförelsen ger i allmänhet något högre priser för svensk stålimport, men intervjuer med experter tyder på att detta mycket väl kan stämma då profilen på svensk användning har en högre andel högkvalitativt stål inom verkstadsindustrin, men en lägre andel av enklare konstruktionsstål.

Konkret använder vi nedanstående priser (2014) för de tre kategorierna av stål:

Antaganden - stålpriser			
Kategori	Olegerat stål	Höglegerat stål	Rostfritt stål
Pris (SEK/ton)	7 200	10 400	19 000

- Olegerat: Detta baseras på genomsnittet i SCB:s värde- och volymdata (varuimport och varuexport efter varugrupper, KN 26xx,72xx).
- Höglegerat stål är svårare att uppskatta, inte minst då det omfattar en stor mängd olika och ofta specialiserade verktygsstål och andra kategorier med stor prisspridning. Värdet från SCB:s statistik är drygt 10 kr/kg. Uppgifter från marknadsaktörer tyder på att genomsnittsvärdet från SCB är rimligt.
- För rostfritt stål ger export/import-metodiken som används i kategorin olegerat stål, ett pris på 25 kr/kg. Här är dock import/export-data en mindre tillförlitlig källa. Volymerna är små, och prisvariationen mellan produktgrupper stor. Vi jämför därför även ett värde baserat på en produktionskostnad, i sin tur baserad på råvarukostnader för nickel och krom från bland andra Infomine<sup>11,12</sup> och andra källor, samt ett benchmark för ljusbågsproduktion av rostfritt stål (se nedan), samt priser från MEPS<sup>13</sup>, en konsult till stålindustrin. Sammantaget använder vi ett lägre genomsnittspris på ca 19 kr/kg för att undvika en överskattning av värde. Effekten av denna justering är framförallt att det minskar de uppskattade värdeförlusterna (som i sin tur grundas på priser på stålskrot jämfört med nyvärdet på stål – se nedan).

**Ursprungsvärde** Detta beräknas som produkten av det stål som faller ur användning (summan av volymförluster och uppkommet skrot), och de stålpriser som redovisas i tabellen ovan. I båda fallen beräknas detta för varje underkategori av stål.

## Variabel    **Metodik, huvudsakliga källor och diskussion**

Skrotvärde    Värdet på skrot beräknas vid den punkt det utgör en insats i stålproduktion. Volymerna skrot baseras på uppgifter från Jernkontoret, Jernbruksförnödenheter, SCB:s import/exportdata, samt ett stort antal intervjuer med aktörer aktiva i skrotmarknaden. Detta ger skilda priser dels för de tre kategorierna skrot (olegerat, övrigt legerat, samt rostfritt), dels för export, import, och inhemsk användning.

- Olegerat skrot: priset motsvarar det som erhålls från export/import-data. Marknadsaktörer inom skrotmarknaden bekräftar detta som rimligt. Det ligger också väldigt nära det motsvarande benchmark från London Metals Exchange<sup>14</sup> (LME Steel Scrap).
- Övrigt legerat skrot: intervjuer bekräftar att mycket lite av legeringsvärdet reflekteras i skrotvärdet. Export/import-data ger ett något högre värde än för olegerat skrot. För vissa kategorier är detta sannolikt inte korrekt; till exempel handlas manganskrot snarare till ett lägre värde än olegerat skrot i vissa perioder. Vi bibehåller dock den skillnad som ges från import/export-data.
- Rostfritt skrot: import/export-data ger en grov underskattning av priset på skrot, vilket sannolikt beror på databegränsningar (små volymer och många kategorier). Intervjuer med marknadsaktörer indikerade en prissättning där ca 80% av innehållet av legeringsmetaller direkt värdesätts och räknas med i priset för skrot som innehåller minst 1,5% nickel, 10–15% krom, eller över 1% molybden. För den aktuella perioden ger det ett pris på 13,5 kr/kg. Vissa av dem vi intervjuade ansåg att detta var något högt för den aktuella perioden. Konsekvensen av att använda ett för högt värde vore att värdeförlusten underskattas.

I genomsnitt är priserna 2,3 kr/kg för olegerat skrot, 2,7 kr/kg för övrigt legerat stål, och 13,5 kr/kg för rostfritt stål. För volymen 2,8 miljoner ton skrot blir det viktade värdet 8,9 miljarder kr för det stålskrot som faller i Sverige och som används som råvara för ny stålproduktion.

## Variabel    **Metodik, huvudsakliga källor och diskussion**

Kostnader för upp-  
arbetning  
av skrot  
till nytt  
stål

Syftet med att beräkna upp-  
arbetskostnaden är att separera de kostnader som är  
oundvikliga (eller nära oundvikliga) vid om-  
arbetning av skrot till nytt stål, och som  
därför inte är ”värdeförluster” i bemärkelsen vi diskuterar här, från dem som uppstår  
på grund av att skrot tappar egenskaper i handhavandet.

Grunden är därför ett benchmark för ljusbågsproduktion, där vi tar kostnadsposter från  
bl.a. en del offentliga källor<sup>15,16</sup>, men kompletterar med diskussioner med experter  
inom svensk stålindustri. Detta ger ett tal mellan 2–3 kr/kg, exklusive råvarukostnader  
men inklusive energi. Vi använder 2,5 kr per kg som ett genomsnitt mellan olika  
uppgifter. En del av de experter vi intervjuade bedömer detta som högt räknat, vilket i  
så fall skulle ge en underskattning av värdeförlusterna.

Den totala skrotmängd som årligen om-  
arbetas till följd av svensk användning (i  
Sverige och i andra länder) är drygt 2,5 miljoner ton. En ren upp-  
arbetskostnad skulle därför motsvara 6,3 miljarder kr, vid 2,5 kr/kg.

Utöver detta justerar vi även för omsmältningsförluster. För detta använder vi en  
massbalans på 11%. Förlusterna har då ett viktat värde motsvarande 2,3 miljarder kr.  
Sammantaget är därför den totala ”oundvikliga” upp-  
arbetskostnaden 8,6 miljarder kr.

Notera att det faktum att massbalansen räknas med här betyder att även  
omsmältningsförluster klassificeras som oundvikliga. Även om de tas med i  
beräkningen av volymförluster nedan, så nollas de därför i praktiken. Syftet med detta  
är enligt ovan att inte beteckna som värdeförluster de värdeminskningar som beror på  
oundvikliga faktorer.

Volymför luster Volymerna stål som förloras grundas på den materialflödesanalysen gjordes under Jernkontorets satsning *The steel eco-cycle*<sup>1</sup>. Vi har även jämfört dessa med internationella uppskattningar<sup>8,9,17</sup>, men i slutändan accepterat talen från den svenska studien som den bästa uppskattningen för svenska förhållanden.

Syftet med beräkningen är att uppskatta de förluster som uppstår *till följd av svensk användning*. Större delen av förlusterna uppstår i användningsledet, och därför i Sverige. Därutöver uppstår även förluster i produktions-, bearbetnings- samt fabrikationsledet. Vi har dock inte räknat med förluster som uppkommer i svensk produktion för export (runt 90% av total svensk produktion). Istället räknar vi de förluster som uppstår i produktion för att tillgodose svensk användning. En avsevärd del av dessa sker i andra länder utomlands. Vi har inte justerat antagandena för möjligheten att förlusterna är större i andra länder än i Sverige.

De antaganden som används återges i nedanstående tabell.

Förlust-kategori	Förlust (%)	Relevant kategori	Relevant volym (kt / år)	Förlust av stål (kt per år)
Ej insamlat	11.0%	Skrot som faller	2,875	316
Kvarlämnat / oanvänt	3.5%	Skrot som faller	2,875	101
Förluster vid insamling	1.0%	Behandlat skrot (konsument)	2,511	25
Förluster vid sortering/ behandling	2.5%	Behandlat skrot (konsument och industri)	2,898	72
Förluster vid produktion	2.0%	Råstål för att tillgodose svensk nettotillförsel	4,338	87
Förluster vid bearbetning	3.0%	Råstål efter produktionsförluster	4,251	128
Förluster vid fabrikation	2.0%	Nettotillförsel	3,347	67
<b>Totalt</b>				<b>796</b>

Detta ger en total volymförlust på 800 kt per år med ett värde på 6,9 miljarder kr, efter viktning mellan olika stålkategorier. 65 procent av förlusterna (blåmarkerade) sker under användningen, dvs då stål antingen inte tas till återvinningen eller förloras på vägen mot omsmältning. De resterande 35 procent (gråmarkerade) sker under produktionen av stål och stålprodukter.

Materialflödesanalysen ger ingen information om hur förlusterna fördelas per stålkategori. Marknadsaktörer är dock eniga om att förlusterna av rostfritt stål är långt lägre än för andra kategorier. Detta beror delvis på det högre värdet, som leder till högre insamlingsgrad (trots större svårigheter vid separation av icke-magnetiskt stål), dels på att förluster av kvarstående eller icke insamlat stål är mycket lägre över tid när stålet inte korroderar. Sammantaget minskar vi förlusterna med drygt hälften, och omfördelar den (relativt blygsamma) volymen till de andra stålkategorierna för att inte avvika från antagandena i materialflödesanalysen. Resultatet av denna justering är att avsevärt minska värdeförlusten, då rostfritt stål är mer än dubbelt så värdefullt.

Värdet på dessa beräknas sedan med de stålpriser som anges i tabellen ovan.



## Variabel    **Metodik, huvudsakliga källor och diskussion**

Legeringsvärden    Befintlig forskning bekräftar att stora förluster av legeringsämnen sker när osorterat skrot används i ljusbågsproduktion av stål.<sup>18</sup> Intervjuer visar också att problemet är välkänt bland både stålproducenter och skrothandlare.

Legeringsvärden beräknas olika för övrigt legerat och rostfritt stål:

**Övrigt legerat stål:** värdeförlusten baseras på hur mycket av den ursprungliga värdeskillnaden mellan legerat och olegerat stål som avspeglas i priset för olika skrotkategorier. Medan prispremien för övrigt legerat stål är drygt 3,1 kr per kg relativt olegerat stål, är prispremiet för motsvarande skrotkategori endast runt 0,4 kr per kg. En värdeförlust på 2,7 kr per kg sker därför när mervärdena från legeringar går förlorade. Detta är relevant för drygt 500 kt skrot årligen, vilket ger en värdeförlust på 1,4 miljarder kr per år.

**Rostfritt stål:** vi baserar beräkningen på att 80% av legeringsvärdet bevaras, enligt ovan. Detta ger en värdeförlust på 0,17 miljarder kr per år.

Sammantaget är värdeförlusten 1,6 miljarder kr per år. Detta tal representerar både de rena värdena på legeringsmetaller som förloras till slagg, legeringsmetaller som bevaras i stålet men som inte bidrar till värdefulla egenskaper (som när legeringsämnen tolereras snarare än aktivt bidrar till kvalitén i enklare konstruktionsstål), och det mervärde som finns i materialegenskaper som ursprungligen tillfördes i tillverkningen av legerat stål.

Metoden är till stor del top-down. En förenkling är att den bortser från att det finns vissa mängder legeringsämnen även i skrot som klassas som ”olegerat”. Det antar också att allt skrot klassats korrekt. I båda fallen finns det en risk att värdeförlusten underskattas.

Ett värdefullt nästa steg, som också skulle ge mycket större insikt i hur mycket av denna värdeförlust som kunde åtgärdas vore att direkt modellera massbalansen för legeringsvärden i ett representativt urval av produktkategorier, och direkt uppskatta vilka värden som skulle bevaras genom ett mer finsorterat skrotflöde (med bättre matchning mellan skrotets och produktens legeringsinnehåll). Detta vore ett intressant uppföljningsprojekt.

## Variabel    **Metodik, huvudsakliga källor och diskussion**

Ned-  
gradering  
av  
kvalitet

Svensk stålindustri tillverkar högvärdiga produkter från skrotråvara, och det sker mycket litet nedgradering i skrotbaserad produktion i Sverige. Vi beräknar ingen värdeförlust för skrot som används i Sverige, utan sätter den till noll.

Detta är dock mycket ovanligt sett i ett internationellt perspektiv. I de flesta länder är skrotbaserad produktion istället inriktad mot långt lägvärdigare produkter, och särskilt mot enklare konstruktionsstål som armeringsjärn. Ett av skälen till detta är att dessa stål ofta är mindre krävande vad gäller den exakta sammansättningen, och därför kan produceras även från sammanblandade skrotflöden.

Ett lägre värde på stål leder också till ett lägre värde på skrotet som används som insats i produktionen (skrot prissätts i praktiken också ofta relativt priset på stål). Det svenska skrot som säljs till skrotbaserad produktion är därför också mindre värt, än det hade varit i en situation där nedgradering inte hade ägt rum.

Vi baserar uppskattningen av värdet på armeringsjärn mot andra kategorier på tidsserier för olika internationella benchmarks, inklusive London Metals Exchange, MEPS, och personlig kommunikation med konsulter till stålindustrin. Prisskillnaden varierar över tid, men är lågt räknat runt 1 kr/kg för den relevanta tidsperioden. Denna skillnad appliceras på volymen av olegerat och övrigt legerat (inte rostfritt) stålskrot som exporteras, totalt 1,45 Mt. För att undvika dubbelräkning med volymförluster i omsmältning justeras den volymen till 1,3 Mt per år, och den totala förlusten är således 1,3 miljarder kr per år.

Andra  
värde-  
förluster

Denna post beräknas som en residual, det vill säga skillnaden mellan det totala ursprungsvärdet och de övriga posterna: uppdragskostnaden, förlorade legeringsvärden, värdeförluster från nedgradering av kvalitet, samt det bevarade värdet på skrot. Totalt uppgår residualen till 2,2 miljarder kr, eller motsvarande 0,8 kr per kg skrot.

Intervjuer med stålproducenter och experter på stålskrotmarknader bekräftar att en rad olika handhavande kan försvåra ståltillverkning och leda till antingen dyrare eller mindre värdefull produktion. Exempel är bland andra förorening med andra ämnen, korrosion, sammanblandning, svårhanterliga format, osäkerhet eller opålitlighet i sammansättning m.m. Vi har inte prissatt dessa olika poster, vilket vore ett möjligt tema för ytterligare forskning.

## KOPPARINBLANDNING

### Variabel

### Metodik, huvudsakliga källor och diskussion

Kopparinnehåll i svenskt och globalt skrot

I *Handbook of Recycling* uppges kopparinnehållet i svenskt skrot vara 0,22%<sup>19</sup> och på nedåtgående. Anledningen till nedgången anses vara att värdet på koppar har gått upp och därmed ökat insamling och separering.

Studier gjorda för andra länder bekräftar bilden av en kopparinblandning på ca 0,2-0,25% för andra OECD-länder<sup>20</sup> men ger inte en lika lugnande bild av framtiden som *Handbook of recycling* utan menar att nivåerna kan komma att stiga.

Vi använde en modell av den globala produktmixen och historisk stålproduktion för att uppskatta en genomsnittlig global kopparhalt på 0.15%, baserat på kopparnivån i skrot som går in i systemet samt de kopparnivågränser som finns för olika produkter idag.

Tolerans för koppar i stål

Gränsvärdena för koppar i olika stål i Figur 22 visar att för flera produkter är dagens kopparnivå redan för hög för att kunna ha skrot som råmaterial, vilket baseras på en nyligen publicerad forskningsrapport<sup>21</sup> och litteraturöversikt<sup>22</sup>. Koppar gör materialet och svärbearbetat<sup>20</sup> under upphettning.

Problemet med kopparinblandning är välkänt, men ses ofta på olika sätt i akademisk forskning och i näringslivet.<sup>18,21,23,24</sup> Forskningen tenderar att belysa problemet, och peka på vikten av att åtgärder vidtas i ett tidigt skede medan producenterna fortfarande har möjlighet att hantera höga kopparnivåer – t ex, genom att använda skrotet till konstruktionsstål som har mycket högre tolerans för koppar än andra stål, eller genom utspädning med antingen primärstål eller med mindre kopparhaltigt skrot. Från ett enskilt bolags perspektiv är dock kopparproblemet mer begränsat, just eftersom det finns sätt att hantera det.

Källor till kopparinblandning

Intervjuer med experter belyser framförallt elmotorer, viss elektronik så som högtalare, och kablage som källor till kopparinblandning i stålskrot<sup>20</sup>. Att kopparhalten kan gå upp till 0,7% eller mer i skrot från bilar baseras på ett exempel från Storbritannien<sup>15</sup>. Intervjuer gjorda under projektet visade dock att halten ofta är långt lägre i Sverige, och att flera initiativ pågår för att minska problemet. Samtidigt erfor vi att skrothandlare ofta fördelar skrotpartier med hög kopparhalt i andra fraktioner, för att hamna under de gränsvärden som stålproducenter kräver (se figur 22 i rapporten).

Balans mellan skrot- och malmbaserad stålproduktion

Den framtida efterfrågan på stål som visas i figur 23 är baserad på en studie av Pauliuk et.al från 2013<sup>17</sup> som har gjort en omfattande och heltäckande framtidsmodellering över stålefterfrågan. Modelleringen bygger på antaganden om gradvis mättnad av stålbasen i olika regioner, samt på tillgången av skrot utifrån olika livslängd för olika produktkategorier. Behovet av att i framtiden möjliggöra större andel högkvalitativ produktion av sekundärstål diskuteras även i övrig litteratur<sup>15</sup>.

## 2. Källförteckning

1. Jernkontoret Research. The steel Eco-Cycle - Environmental Research programme. Closing the loop in the manufacture and use of steel in society. (2004). Available at: <http://www.jernkontoret.se/en/publications/steel-research/open-reports-serie-d/d-853/>. (Accessed: 25th October 2017)
2. Fakta och nyckeltal - Jernkontoret. Available at: <http://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/fakta-och-nyckeltal/>. (Accessed: 24th October 2017)
3. Bureau of International Recycling. World steel recycling in figures 2012-2013, Steel Scrap - a Raw Material for Steelmaking. (2017).
4. Cullen, J. M., Allwood, J. M. & Bambach, M. D. Mapping the Global Flow of Steel: From Steelmaking to End-Use Goods. *Environ. Sci. Technol.* **46**, 13048–13055 (2012).
5. Steel Statistical Yearbook. Available at: <http://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook-.html>. (Accessed: 7th March 2018)
6. Varuimport och varuexport efter varugrupp KN 2,4,6-nivå, bortfallsjusterat, sekretessrensad. År 2000 - 2016. *Statistikdatabasen, Statistiska Centralbyrån* Available at: [http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_HA\\_HA0201\\_HA0201B/ImpExpKNTotAr/](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_HA_HA0201_HA0201B/ImpExpKNTotAr/). (Accessed: 8th November 2017)
7. Statistiska Centralbyrån (SCB). Behandlat avfall efter behandlingstyp, avfallsslag, tabellinnehåll och vartannat år. *Statistikdatabasen, Statistiska Centralbyrån* (2017). Available at: [http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0305/MI0305T02N/table/tableViewLayout1/?rxid=e06f8cd9-6aa0-45af-9136-614e621b3bde](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0305/MI0305T02N/table/tableViewLayout1/?rxid=e06f8cd9-6aa0-45af-9136-614e621b3bde). (Accessed: 19th December 2017)
8. Milford, R. L., Allwood, J. M. & Cullen, J. M. Assessing the potential of yield improvements, through process scrap reduction, for energy and CO<sub>2</sub> abatement in the steel and aluminium sectors. *Resour. Conserv. Recycl.* **55**, 1185–1195 (2011).
9. Pauliuk, S., Kondo, Y., Nakamura, S. & Nakajima, K. Regional distribution and losses of end-of-life steel throughout multiple product life cycles—Insights from the global multiregional MaTrace model. *Resour. Conserv. Recycl.* **116**, 84–93 (2017).
10. London Metal Exchange: LME Steel Rebar. Available at: <https://www.lme.com/Metals/Ferrous/Steel-Rebar#tabIndex=0>. (Accessed: 7th March 2018)
11. Nickel Prices and Nickel Price Charts - InvestmentMine. Available at: <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/nickel/>. (Accessed: 24th October 2017)
12. Chromium Prices and Chromium Price Charts - InvestmentMine. Available at: <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/ferro-chrome/>. (Accessed: 24th October 2017)
13. steel prices, 2018, world, steel, price forecasts, 2019, benchmark, index, costs, market, data, stainless steel prices, history, latest, current, pricing, trends, mild, steel price charts, world steel prices. Available at: <http://www.meps.co.uk/world-price.htm>. (Accessed: 7th March 2018)
14. London Metal Exchange: LME Steel Scrap. Available at: <https://www.lme.com/Metals/Ferrous/Steel-Scrap#tabIndex=2>. (Accessed: 7th March 2018)
15. Allwood, J. M. A bright future for UK steel - A strategy for innovation and leadership through up-cycling and integration. (2016).
16. steel cost electric arc furnace 2017 steelmaking economics. Available at: <http://www.steelonthenet.com/cost-eaf.html>. (Accessed: 24th October 2017)
17. Pauliuk, S., Milford, R. L., Müller, D. B. & Allwood, J. M. The Steel Scrap Age. *Environ. Sci. Technol.* 130307142353004 (2013). doi:10.1021/es303149z
18. Ohno, H., Matsubae, K., Nakajima, K., Nakamura, S. & Nagasaka, T. Unintentional Flow of Alloying Elements in Steel during Recycling of End-of-Life Vehicles. *J. Ind. Ecol.* **18**, 242–253 (2014).
19. Björkman, B. & Samuelsson, C. Chapter 6 - Recycling of Steel. in *Handbook of Recycling* 65–83 (Elsevier, 2014). doi:10.1016/B978-0-12-396459-5.00006-4

20. Savov, L., Volkova, E. & Janke, D. *Copper and tin in steel scrap recycling*. (2003).
21. Daehn, K. E., Cabrera Serrenho, A. & Allwood, J. M. How Will Copper Contamination Constrain Future Global Steel Recycling? *Environ. Sci. Technol.* **51**, 6599–6606 (2017).
22. Pretorius, E., Oltmann, H. & Jones, J. *EAF Fundamentals*. (Process Technology Group - LWB refractories, Nupro Corporation).
23. Houpert, C. *et al.* Influence of tramp elements in the production of high quality steels using the scrap/electric arc furnace route. *Rev. Metall. Cah. Inf. Tech.* **94**, 1369–1384 (1997).
24. Nakajima, K., Takeda, O., Miki, T., Matsubae, K. & Nagasaka, T. Thermodynamic Analysis for the Controllability of Elements in the Recycling Process of Metals. *Environ. Sci. Technol.* **45**, 4929–4936 (2011).