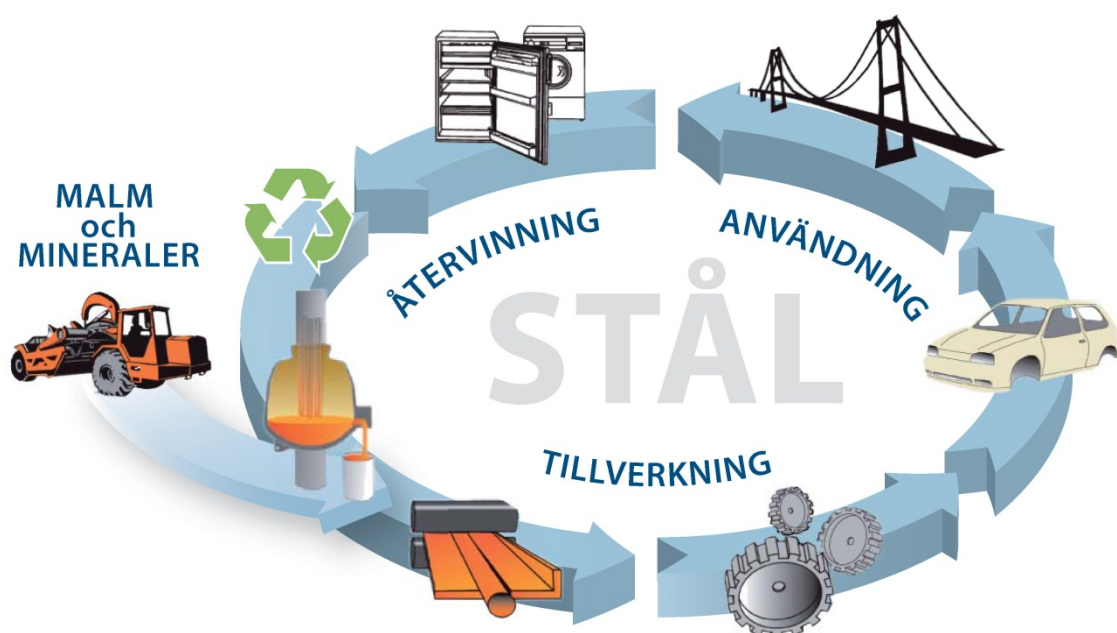
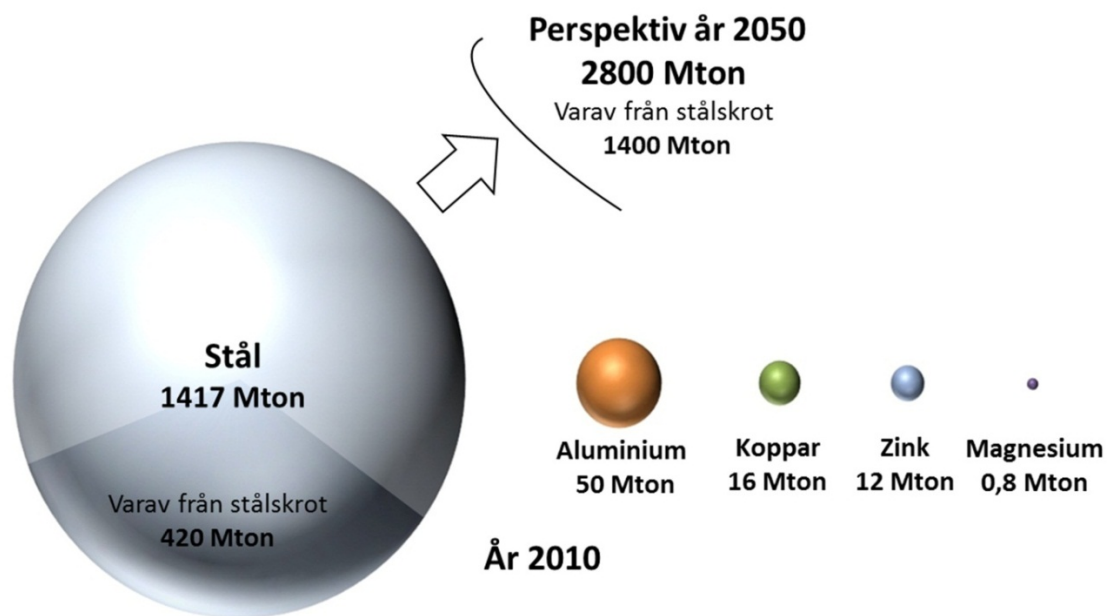


## Metallutredning 2014

För den svenska stålindustrin med världens högsta andel av legerade stål är det avgörande viktigt att försörjningen av metaller och mineraler tryggas under överskådlig tid. En proaktiv förvaltning av svenska naturtillgångar kombinerat med nya potentiella försörjningsvägar och en materialeffektiv hantering under stålets alla livscyklifaser är nödvändigt.



# Stål är världens mest använda och återvunna metalliska material!



## Utredningen i sammandrag

EU har identifierat vilka de kritiska metallerna och mineralerna är för Europa, gjort en genomförandeplan för EU:s innovationspartnerskap för råvaror och knytet an till det totala försörjningsbehovet av metaller och mineral inom Europa. Den svenska regeringen har som underlag till en svensk mineralstrategi gett Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Naturvårdsverket ett uppdrag att identifiera vilka metall- och mineralråvaror som är att betrakta som kritiska för Sveriges försörjningsbehov, visa hur Sverige kan bidra till den Europeiska försörjningssituationen och lyfta fram de möjliga affärsmöjligheter som därigenom kan uppstå. Resultatet ska kunna utgöra en delmängd av de underlag som behövs för att stimulera till en effektivare användning av svenska metall- och mineralresurser man ska också utföra en kartläggning och analys av utvinnings -och återvinningspotential för svenska metall -och mineraltillgångar, och visa det vetenskapliga läget för till exempel återvinning av metaller och lyfta fram de möjliga affärsmöjligheter som därigenom kan uppstå.

Den globala befolkningstillväxten kompletterat med krav på ökad levnadsstandard förutses öka användningen av stål med närmare 100 procent till år 2050. Detta ställer stora krav på att EU-länderna ser över den långsiktiga försörjningen av metaller och mineraler. Som exempel kan nämnas att länderna inom EU använder 25-30 procent av den globala produktionen av järnmalm medan den egna produktionen enbart utgör 3 procent. I detta sammanhang är Sverige i en unik position bland EU-länderna till följd av den svenska järnmalmproduktionen. Förutom ett stort importberoende av järnmalm är stålindustrin inom EU starkt beroende av import av i stort sett alla de legeringar som används vid tillverkning av stål, ett beroende som delas av den svenska stålindustrin. För den svenska stålindustrin är detta särskilt angeläget då ungefär 60 procent av allt stål är legerat, jämfört med 15 procent i övriga EU, 15 procent i Japan och 10 procent i USA. Den svenska stålproduktionen är globalt sett mycket liten, men företagen är världsledande inom många produktionsområden och bidrog under år 2012 med närmare 20 miljarder till Sveriges BNP. För den svenska stålindustrin med världens högsta andel av legerade stål är det avgörande viktigt att försörjningen av metaller och mineraler tryggas under överskådlig tid. En proaktiv förvaltning av svenska naturtillgångar kombinerat med nya potentiella försörjningsvägar och en materialeffektiv hantering under stålets alla livscyklifaser är nödvändigt.

För att få en samlad bild över de metaller och mineraler som är viktiga för att tillverka stålen har användning för år 2013 sammanställts med underlag från de största svenska stålverken.

Resultatet visar att användningen inte avviker nämnvärt från det som gäller inom EU. Det är inte möjligt att peka ut en specifik legeringsmetall eller mineral som skulle vara mer kritisk än andra. Mängder och kvalitetskrav varierar dock från tid till annan med utvecklingen på marknaden men beroendet av inventerade och importerade råvaror kvarstår. För att svensk stålindustri ska fortsätta vara en världsledande leverantör av avancerade stål behöver tillgång på svensk järnmalm och kalk säkras samt tillgång på importerade legeringar noggrant bevakas och initiativ för att motverka detta importberoende uppmuntras. Givetvis finns det en potential i återvinning och materialeffektivisering som redan idag tas tillvara. Denna kan utvecklas ytterligare vilket också redogörs för i denna rapport.

Som underlag till utredningen har ett antal erfarna experter engagerats med att lämna rapporter för respektive område. Dessa rapporter finns som sex stycken bilagor, A-F.

**Bilaga A**, ger en allmän bild över tillverkningsmetoder för stål, stålets utveckling globalt och de utmaningar och möjligheter som svensk stålindustri står inför. För att förstå den svenska stålindustrins marknadssituation är det nödvändigt att ha en bild över den globala och regionala konsumtionen av stål. Stål är och förblir världens mest använda metalliska konstruktionsmaterial. I det perspektivet är det avgörande att stålets hållfasthet och beständighet kan utvecklas på ett sätt som stärker företagets affärsutveckling och tillgodoser samhällets krav på god miljö och

hushållning med resurser. Under år 2010 producerades nästan 1 500 miljoner ton stål i världen. Av denna mängd utgjorde rostfritt stål cirka 32 miljoner ton. Produktionen av alla andra metaller tillsammans var mindre än 80 miljoner ton.

Flera prognoser tyder på att världens stålkonsumtion kommer att öka till i storleksordningen 2 800 miljoner ton år 2050. Konsumtionstillväxten är så stor att tillgången på stålskrot i dagsläget inte räcker till mer än 30 procent globalt och cirka 40 procent i Sverige. För år 2050 räcker återvinningen av stålskrot till cirka 50 procent av världens stålproduktion. För att inte få en brist på stål i samhället måste resterande mängd stål tillverkas av en ökande andel järnmalm även om återvinningen av stålskrot är maximal.

Den stora efterfrågan av stål medför att behovet av legeringsmetaller successivt ökar eftersom metallerna behövs för standarstålen, men också för att producera allt större andel avancerade stålsorter som är starkare och beständigare även om accelererad kylning, härdning och hårdvalsning tillsammans med ny konstruktionsteknologi bromsar mängden legeringselement. Eftersom svensk stålindustri ligger i framkant i att leverera dessa stål är efterfrågan på dessa legeringar särskilt utmärkande för Sverige.

I delutredning, **bilaga B**, redogörs för stålindustrins användning och beroende av legeringsmetaller. Detta ska ses mot att den svenska stålindustrin har världens högsta andel av avancerade stål och är inom många användningsområden världsledande avseende högrena stål, värmereflekterande stål, extremt starka konstruktions- och slitstål, sömlösa rör för extrema miljöer, etc. Stålen har egenskaper som även bidrar till ett mer resurssnålt samhälle. Merparten av det svenska stålet exporteras och under år 2012 bidrog handeln med stålprodukter med närmare 20 miljarder till Sveriges BNP.

Den svenska kalkstenen är en unikt viktig råvara för tillverkning av avancerade stål och har i miljöprövningen ansetts vara en riksangelägenhet för svensk industri. Det är viktigt att brytningen fortsatt medges sådana tillstånd att den kan fortsätta. Sammantaget är det angeläget att Sverige höjer beredskapen och har kontroll över inhemska mineraler- och metallförekomster så att de kan exploateras om det uppkommer en bristsituation eller kostnadsstegringar föranledda av händelser i omvärlden som äventyrar tillgången.

I delutredning, **bilaga C**, framgår det att Sverige har ett väl utvecklat industriellt system för återvinning av stålskrot. Kostnaden för metaller utgör en stor del av tillverkningskostnaden varför allt skrot som lämnas till stålverken används vid tillverkning av nytt stål. Den höga andelen avancerade stålsorter ställer stora krav på klassificering av skrot, dvs. ökad noggrannhet avseende sortering, metallanalys och bearbetning till ”skraddarsydda” fraktioner. Riktade forskningsinsatser på dessa områden leder till ökat utbyte av insatta metaller och ger förutsättningar för att tillverka ännu starkare och beständigare stål.

Studier vid KTH visar att den genomsnittliga användningstiden för stål i samhället är cirka 35 år och att den kan variera stort från några månader för till exempel burkar till sekel för broar. Studierna visar att Sverige har en mycket hög identifierbar återvinning av stål på cirka 90 procent, vilket är nära nog dubbelt så högt som det globala genomsnittet.

**Bilaga D**, ger en översikt av de potentiella tillgångar av metaller som finns i stålindustrins restprodukter och industrideponier. Rapporten beskriver de ansträngningar som svensk stålindustri gör för återtagande av restprodukters materialvärde och undvika deponering. Den anger likaså de betänkligheter som föreligger rörande teknik och miljö men också legalt med återvinning från befintliga deponier. En indikativ bedömning av mängden metaller i några större industrideponier har gjorts vilket tyder på att mängden metaller är låg och motsvarar sannolikt mindre än ett års förbrukning inom svensk stålindustri.

För vanadin i stålverksslagg är det annorlunda och det finns i storleksordningen 4000 ton vanadin per år (räknat som V men i form av oxid) i SSABs slaggar. Det motsvarar ungefär halva Europas årliga behov av vanadin av vilket det mesta är för stålindustrins legeringsbehov. Metod för återvinning har tagits fram men investeringar är inte lönsam då världsmarknadspriset på handelsvaran ferrovanadin idag är för lågt.

I delutredningen, **bilaga E**, lämnas en vetenskaplig översikt av metallers uppträdande vid framställning från malm och/eller metallskrot, hur dessa kunskaper kan nyttjas för att öka utbytet i smältprocessen och hur metaller i restmaterial kan utvinnas. Den samlade kunskapen om metallernas benägenhet för att oxidera har genererat ett antal nya sätt att bibehålla insatta metaller i stålet. Försök i laboriemiljö och i industriell skala visar på ett kraftigt utökad utbyte av till exempel krom och molybden vid ändrad och anpassad processgång. Samma principer gäller för andra metaller/legeringar.

Rörande återvinning av metaller ur restmaterial redogör utredningen för nya metoder för utvinning av till exempel vanadin och mangan ur slaggar eller andra restmaterial som stoft från raffinaderier. Den potentiella mängden vanadin som kan utvinnas ur svenska slaggar är betydligt större än den svenska stålindustrins användning av vanadin på omkring 1 000 ton per år.

Under utveckling är även en ny metod som genom elektrolys av restprodukter kan återvinna många metaller, till exempel nickel, krom, aluminium, vanadin, molybden ur restprodukter såsom slagg, stoft, slam, elektronikskrot, glas, etc. Det har dessutom visat sig möjligt att med samma metod utvinna sällsynta jordartsmetaller, till exempel neodym ur elektronikskrot, bly ur CRT-glas och sannolikt även skadliga metaller i äldre glasdeponier som bly och arsenik. Gemensamt för nämnda tekniker är att de behöver testas i demoskala och anpassas till industriella förhållanden. En kommersialisering av metoderna är beroende av proaktiva forskningsanslag och världsmarknadsprisernas utveckling för aktuella metaller. Gemensamt för de metoder som redovisas ovan är att de bidrar till en ökad försörjningstrygghet och nya affärsmöjligheter.

Bifogad utredning, **bilaga F**, som behandlar användning av avancerade stål för att åstadkomma lättare konstruktioner, visar att det finns en stor potential för effektivare metallanvändning och affärsmöjligheter som inte är till fullo utnyttjade och tyvärr förbisedda i samhällsdebatten. Utredningen redogör för flera möjligheter inom nästan alla användningsområden för stål. Som exempel kan nämnas att för Friends Arena kunde takkonstruktionen i stål göras närmare 500 ton lättare och mer än 20 miljoner kronor billigare genom att använda avancerade stål istället för konventionella stål. Utredningen redogör även för de affärsmöjligheter som finns av att använda 1,3 miljoner ton avancerade stål per år i stället för konventionella inom fordons- och byggsektorn, vilket är en fullt rimlig mängd redan idag. Förutom en ekonomisk fördel på i storleksordningen 11 miljarder kronor per år sparas närmare 500 000 ton metaller per år med åtföljande betydande minskning av koldioxid och användning av energi. Kontentan är att en ökad användning av avancerade stål skulle innebära att stora mängder stål kan sparas direkt istället för att få tillbaka det som uttjänt stålskrot efter i genomsnitt 35 år. Innebörden är att man idag inte tar tillvara en möjlighet som är väl så kraftfull som ”återvinning och återanvändning av material” för att få en ökad trygghet i försörjningen av metaller och mineraler.

Helen Axelsson  
Energi och Miljö  
Jernkontoret

Göran Andersson  
Utredningsledare  
Jernkontoret

Robert Eriksson  
Forskningschef  
Jernkontoret

# Specifika utredningar

## **Bilaga A**

Ger en allmän bild över tillverkningsmetoder, stålets utveckling globalt och de utmaningar och möjligheter som svensk stålindustri står inför.

## **Bilaga B:**

Stålindustrins användning och beroende av legeringsmetaller och mineraler för olika stålgrupper

Utförare: Forskningschef Robert Eriksson, Jernkontoret

## **Bilaga C:**

Hanteringen av skrot inom återvinningsindustrin och stålverken

Utförare: Göran Mathisson, Jernbruksförnödenheter

## **Bilaga D**

En bedömning av potentiell tillgång av metaller i stålindustrins industrideponier.

Utförare: Miljöchef Klas Lundberg, SSAB EMEA

## **Bilaga E:**

Metallernas oxidationsbenägenhet, effektiviseringsmöjligheter och möjligheter till återvinning

Utförare: Professor Seshadri Seetharaman

## **Bilaga F:**

Hushållning av metaller genom lättviktskonstruktioner i avancerade stål

Utförare: Professor Jan-Olof Sperle

## **Övriga referenser**

Nationell samling kring metalliska material. En strategisk forsknings- och innovationsagenda 2013. Jernkontoret, Svenskt Aluminium och Svenska Gjuteriföreningen.

Jernkontoret miljöforskningsprogram "Stålkretsloppet år 2004-2012".

<http://www.jernkontoret.se/forskning/stalkretsloppet>

Stålindustrins vision: "Stål formar en bättre framtid. Jernkontoret 2013"

Stålindustrins visionsrapport: "En rapport om stålets roll för en hållbar samhällsutveckling. Jernkontoret 2013"

Jernkontorets handbok för restprodukter 2012: "Stålindustrin gör mer än stål"

Regeringsbeslut, N2013/4152/FIN, daterat 2013-09-12

**Allmän bild över tillverkningsmetoder för stål, stålets utveckling globalt och de utmaningar och möjligheter som svensk stålindustri står inför.**

Utdrag ur Nationell samling kring metalliska material, en strategisk forsknings- och innovationsagenda 2013. Jernkontoret, Svenskt Aluminium, Svenska Gjuterinföreningen





# Tillverkningsmetoder

## Stål

Stål tillverkas huvudsakligen på två sätt, genom att:

- smälta om stål- och järnskrot till nytt stål eller
- förädla järnmalm till råjärn och sedan färska detta till stål.

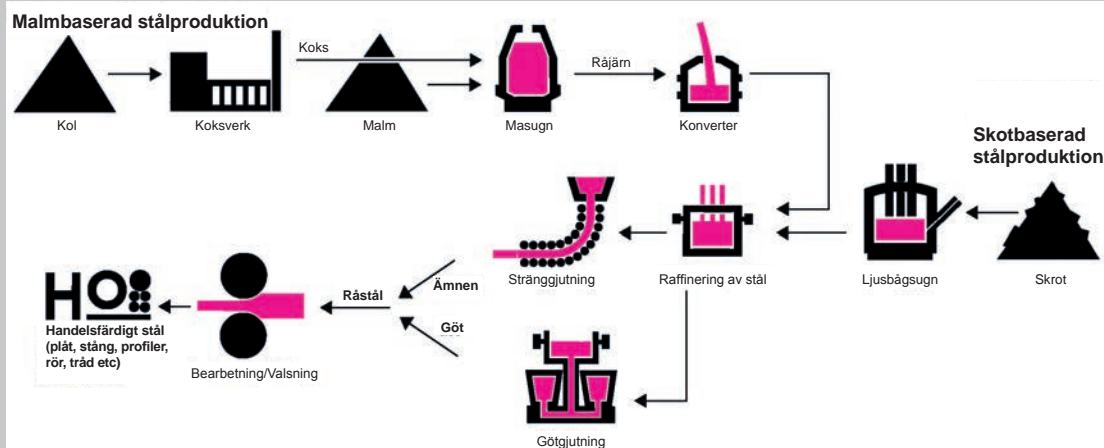
Även i den senare processen används betydande mängder stål- och järnskrot. Förädlingen av järnmalm sker i huvudsak via masugnprocessen, där kol tillsätts för att reducera järnmalmen från järnoxid till rent järn. Syret lämnar då järnet i form av kolmonoxid och koldioxid. Det förekommer också s.k. direktreduktionsprocesser. Dessa kan basera sig på t.ex. kol eller naturgas. I båda processerna används kolmonoxid, i det senare fallet även vätgas för att reducera malmen.

Omkring 450 Mton av världens totala råstålsproduktion (1550 Mton) sker via omsmältning av skrot i elektrostålsugnar. Denna mängd har sedan decennier ökat stadigt år från år, i takt med att tillgången på skrot har ökat. Den relativa andelen har dock sjunkit från cirka 34 % för tio år sedan till knappt 30 % idag, på grund av den snabba tillväxten i stålanvändning under 2000-talet.

Exakt hur mycket av stålet i samhället som återvinns är svårt att få grepp om, eftersom livstiden för det stål som finns är svårt att förutsäga. Men i produkter med jämförelsevis kort omloppstid – t.ex. bilar – har man kunnat konstatera att återvinningen är nära 100 %. En färsk undersökning visar att i Tyskland återanvänds varje järnatom i genomsnitt sex gånger under ett sekel.

I Sverige finns tre masugnar i drift, en vid SSAB:s anläggning i Luleå och två mindre vid företagets anläggning i Oxelösund. Höganäs använder en direktreduktionsprocess för att producera s.k. järnsvamp, som i sin tur används för att tillverka järnpulver. Övriga tio råstållstillverkare i Sverige är helt baserade på skrot.

I samband med stålproduktion produceras också en rad andra s.k. restprodukter såsom slagger, spån, stoft m.m. Efter att metallvärden har återtagits används slaggen på många olika sätt, t.ex. som råvara i stålltillverkningen, vägbyggnationer och spackel. Exempel på andra restprodukter är tjära, bensen, svavel, glödska, ren järnoxid från syraåtervinning m.m. Merparten av dessa säljs externt och blir råvara i annan tillverkning.



## Aluminium

På samma sätt som för stål finns det två huvudvägar att framställa aluminium. Primäraluminium produceras genom utvinning från bauxit som förädlas till aluminiumoxid. En elektrolysprocess reducerar sedan oxiden till rent aluminium. Sekundäraluminium produceras genom att smälta om skrot och uttjänta aluminiumprodukter. Sekundäraluminium delas upp i två undergrupper, omsmält och återvunnet. Omsmält är mestadels processskrot, medan återvunnet är uttjänta produkter.

I Sverige finns en tillverkare av primäraluminium, Kubal i Sundsvall, och en återvinnare, Stena Aluminium i Älmhult.

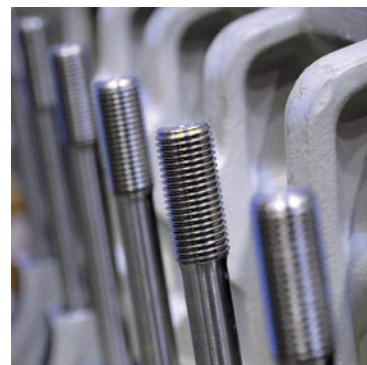
## Komponentgjutning av stål-, järn och icke järnmetaller

De material som är vanligast att tillverka genom komponentgjutning är gjutjärn, gjutstål, aluminium, magnesium, zink och kopparbaserade material.

Generellt utgörs råvaran i huvudsak av metall som återförs till kretsloppet genom återvinning men även av jungfrulig metall. Energikällan till smältprocessen utgörs av el, koks eller gasol.

Sverige har en stark gjuteriindustri med 170 komponentgjuterier, mestadels små- och medelstora företag, men även större gjuterier som Metallfabriken Ljunghäll. Dessutom har flera stora globala företag som AB Volvo, Scania CV, SKF AB och Huskvarna AB, egna komponentgjuterier.

# Nuläge



## Stål

Den svenska stålindustrin har visat en stabil uppåtgående trend i flera decennier. 1980 exporterade Sverige stål för knappt tio miljarder kronor. År 2011 hade siffran stigit till drygt 56 miljarder. Rensat för inflation innebär utvecklingen de senaste 30 åren en värdetillväxt på 2,2 procent per år. Eftersom huvuddelen av insatsvarorna – malm, stål-skrot, kalk och el – kommer från Sverige är det också till stor del fråga om nettoexport. Därutöver ingår svenska stålprodukter i en lång rad andra svenska exportprodukter.

Samtidigt importerade Sverige år 2011 stål för bara 38 miljarder kronor. Importvolymen var nästan exakt lika stor som exportvolymen.

### Världsledande ståltilverknig

Att värdet skiljer med nästan 20 miljarder beror på att Sverige exporterar avancerade stål till utvalda marknadsnischer, medan importen till stor del består av standardvaror. Svenska stålföretag är t.ex. världsledande inom avancerade höghållfasta stål, verktygsstål, järnpulver, sömlösa rostfria rör, högre stålar och annat. De svenska stålföretagen är aktiva i hela världen och har omfattande försäljnings- och servicenät som stödjer försäljningen av de avancerade materialen. Svensk stålindustris långa tradition av att framgångsrikt ha utvecklat och producerat avancerade stålprodukter har bidragit till att Sverige idag har en stark vetenskaplig infrastruktur inom området. Sverige är ett av få länder i Europa som fortfarande har akademiska institutioner inom hela kedjan från gruvbrytning och smältmetallurgi till metallers formning och egenskaper. Starka industriforskningsinstitut, framför allt inom SWEREA-gruppen, ger svenska företag tillgång till tillämpade forskningsmiljöer av internationell toppklass.

### Välutvecklad vidareförädling

Inom Sverige finns också en rad små och medelstora företag som specialiserat sig på att tillverka produkter som drar fördel av de svenska ståls ofta unika egenskaper, liksom företag som levererar produkter och tjänster till industrin eller dess kunder. Exempel på sådana produkter som exporteras är tågkoppel, skivbromsar, kranar, bärgningsaggregat, kardanaxlar och en rad andra applikationer där man konstruerar lättare produkter för att kunna öka nyttolasten. I Sverige finns även exempel på ledande tillverkare av utrustning, t.ex. rullformning och hydroformning som bearbetar och vidareförädlar de avancerade materialen.

För många svenska verkstadsföretag är stål en viktig komponent. Cirka tio procent av de s.k. varumärkesägarnas inköpskostnader utgörs av stål. För komponenttillverkare kan siffran vara 35 procent.

**”...tillgång till tillämpade forskningsmiljöer av internationell toppklass.”**

### Stål skapar sysselsättning

Tillverkning av stål i Sverige sysselsatte år 2010 drygt 17 000 personer direkt i de ståltillverkande företagen, och cirka 28 000 personer indirekt i olika leverantörsföretag, enligt Hagman & Linds sysselsättningsindikator. För tio år sedan var motsvarande siffror knappt 20 000 respektive drygt 24 000. Det betyder att även den totala sysselsättningen i branschen ökar.

### Aluminium

Sveriges aluminiumindustri uppvisar stora likheter men också vissa skillnader jämfört med stålindustrin. Precis som inom stålindustrin har aluminiumindustrin haft en stadig tillväxt i flera decennier. En annan likhet med stål är att importen är ungefär lika stor som den inhemska produktionen. Däremot är exporten av aluminium något mindre än produktionen, vilket beror på att den inhemska användningen är större än produktionen.

Faktum är att den inhemska användningen av aluminium är stor även i ett internationellt perspektiv. Den är t.ex. betydligt större än Norges, trots att Norge i kraft av sin goda tillgång på el är en betydande producent av primäraluminium med tio gånger så stor produktion som Sverige. Det finns ett stort antal svenska aluminiumgjuterier, som även beskrivs nedan, men ännu fler tillverkare av olika produkter för vilka aluminium är det strategiskt viktigaste materialet.

### Hållbara kvalitetsprodukter

Svensk aluminiumindustri kännetecknas av högkvalitativa produkter med lågt miljömässigt fotavtryck och alltmer avancerade produkter och systemleveranser som sträcker sig långt in i användarled. Jämfört med stålindustrin ligger aluminiumindustrins tyngdpunkt lite mera nedströms. Till exempel har världens största producent av aluminiumprofiler, SAPA, sin bas i Sverige. Därutöver finns en rad små och medelstora gjuterier, framför allt inom pressgjutning.

Svensk aluminiumindustri sysselsätter cirka 5 000 personer direkt. Dessutom vidareförädlar som nämnts svensk verkstads- och byggnadsindustri en stor mängd aluminiumprodukter.

### Gjutstål, gjutjärn och gjutna icke-järnmetaller

Metalliska material används ofta i gjuten form. Sverige har en långt framskjuten plats när det gäller gjutgodsanvändningen per capita. Detta beror till stor del på vår stora fordonsindustri – nästan 70 procent av allt gjutgods vi producerar används i fordon. Nationellt tillverkas närmare 350 000 ton gjutna produkter vilket täcker knappt hälften av det svenska gjutgodsbehovet. Exportvärdet är cirka 13 miljarder. En stor del av produktionen exporteras antingen direkt eller indirekt som komponenter i ex. fordon. Andra områden där gjutna komponenter spelar en central roll är vindkraftverk, vattenpumpar, tryckpressar, mobilsändare, hemelektronik, hushållsmaskiner och möbler. Listan kan göras ännu längre. Det finns således en enorm potential för de svenska gjuterierna att expandera. Global statistik visar att användningen av gjutna komponenter ökar stadigt. År 2001 var den globala produktionen 68 miljoner ton för att 2009 vara 80 miljoner ton. Idag är den över 100 miljoner ton. Drivkrafter för denna utveckling är bl.a. nya material med unik prestanda, samt att metall är väldigt lätt att smälta om och återanvända i nya produkter utan någon kvalitetsförsämring hos den nya produkten.

### Efterfrågan ökar ständigt

Flera av Sveriges största exportföretag är beroende av gjutna komponenter, AB Volvo, Scania CV, GKN Aerospace, Ericsson och Atlas Copco för att nämna några. Vi har också flera internationella små- och medelstora företag som utvecklar komplexa gjutna komponenter. Som exempel kan nämnas Indexator och Oldsbergs Hydrauliks.

Inom fordonsindustrin efterfrågas allt lättare, höghållfasta och multifunktionella detaljer, vilka bidrar till minskade koldioxidutsläpp och därmed minskad klimatpåverkan.

**”...metall är väldigt lätt att smälta om och återanvända i nya produkter utan någon kvalitetsförsämring...”**

Stora infrastruktursatsningar i järnväg, vindkraft och mobiltelefoni bidrar också till kraftigt ökad efterfrågan på gjutna produkter.

### **Kunskap – en konkurrensfördel**

Den svenska gjuteriindustrins absolut största konkurrensmedel baseras på förskjutning mot tillverkning av allt mer kunskapsintensiva och högteknologiska produkter, med högt förädlingsvärde och låg priskänslighet. Vår förmåga att ständigt utveckla innovativa produkter och processer är av avgörande betydelse för vår förmåga att behålla ett teknologiskt försprång på en alltmer globaliserad och konkurrensutsatt gjutgods-marknad. Detta kräver stora satsningar på kompetensutveckling av såväl befintlig som ny personal.

Svensk gjuteriindustri har cirka 7 000 anställda fördelat på cirka 170 gjuterier och mångfald fler arbetar med gjutna produkter i svenska värdekedjor.

### **Koppar, zink och bly**

Liksom järn- och stålproduktion har kopparproduktion en lång svensk historia. Idag sker kopparproduktionen, liksom blyproduktionen, i Sverige inom Bolidenkoncernen. Koncernen har också en stor produktion av zinkmalm, men denna vidarebearbetas huvudsakligen vid anläggningar i Norge och Finland. Dessa metaller omfattas inte av denna agenda, utan hanteras av gruvindustrins agenda.

### **Leverantörer till metallindustrin**

Metallindustrin behöver en rad insatsvaror och förnödenheter. De viktigaste är järnmalm och bauxit, skrot (eget fall vid tillverkningen, fall vid vidareförädling samt återvunna produkter), kol, kalk och andra mineraler, legeringar, oljor och gaser för energi och el, samt elfasta material. Därutöver köper industrin tjänster inom service och underhåll, marknadsföring, FoU och annat. Omfattande logistiktjänster ingår också – många halvfabrikat transporteras mellan olika platser och verk.

Flera av stålindustrins leverantörer (och kunder) deltar i Jernkontorets gemensamma forskning som fullvärdiga medlemmar.

**”...konkurrensmedel baseras på förskjutning mot tillverkning av allt mer kunskapsintensiva och högteknologiska produkter..”**

# Läget i världen

**”Tillsammans utgör stål och aluminium mer än 98 % av världens metalliska konstruktionsmaterial.”**

Stål (inkl järn) är världens i särklass mest använda metalliska konstruktionsmaterial. Att hitta av människan tillverkade föremål där stål vare sig ingår eller har varit inblandat i tillverkningen är närmast omöjligt. Världens förbrukning av råstål var 2012 drygt 1,5 miljarder ton. Det är drygt sexton gånger mer än förbrukningen av aluminium och andra metaller tillsammans.

Aluminium är klar tvåa, med cirka 50 miljoner ton. Tillsammans utgör stål och aluminium mer än 98 procent av världens metalliska konstruktionsmaterial. Bland konstruktionsmaterial totalt sett dominerar cement (3,3 miljarder ton), med stål på andra plats. På tredje plats ligger trä med omkring 800 miljoner ton. Slagg från ståltillverkning kommer med sina 400 miljoner ton på fjärde plats, närmast före plast (270 Mton).

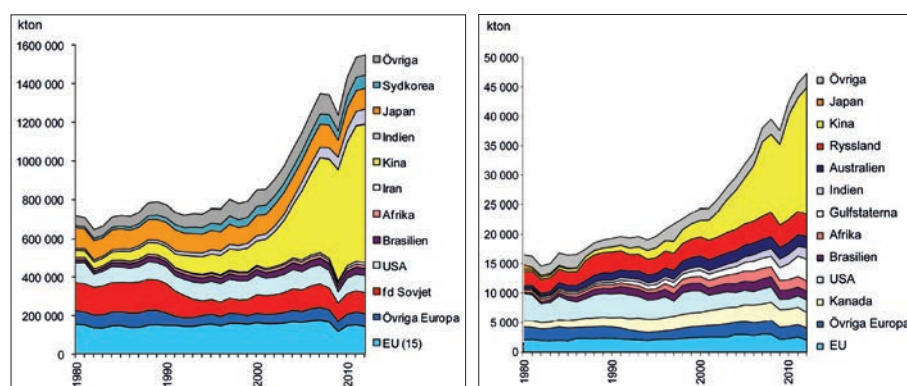


Fig. 1 (t v) Råstålsproduktion olika länder och regioner, 1980-2012. Källa: World Steel Association  
Fig. 2 (t h) Aluminiumproduktion (primär) i olika länder och regioner, 1980-2012. Källa: EAA, AA, JAA, ABAL, RTA, Metallstatistik

Geografiskt sett tillverkas nära hälften av allt stål i Kina, medan Asien utanför Kina, USA plus EU27, och övriga av världen delar på resten i ungefär lika stora delar (Fig. 1). Bilden för aluminium är mycket likartad (Fig. 2). Omkring hälften av allt stål som tillverkas används i byggnationer av olika slag. I figur 3 framgår hur stålanvändningen fördelar sig mellan olika sektorer.

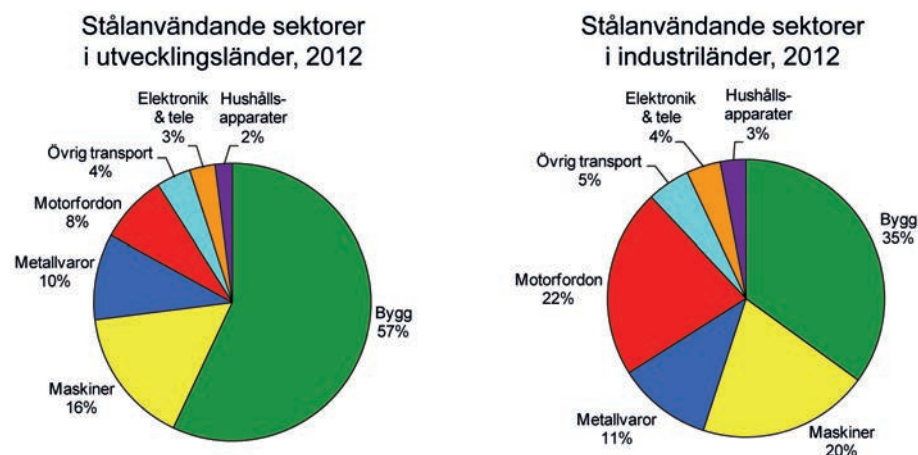
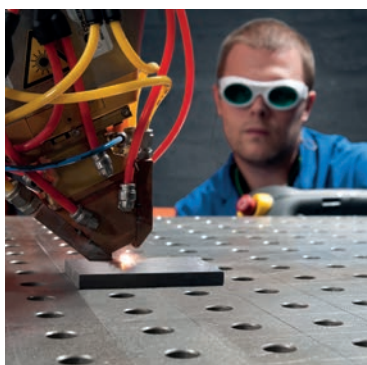


Fig. 3: Fördelningen av stålanvändningen mellan olika sektorer. Källa: Worldsteel Association

# Framtiden



## Stål

Globalt sett kommer stål som konstruktionsmaterial att fortsätta växa under överskådlig tid. Eftersom alla länder har uppvisat ett mycket likartat förbrukningsmönster av stål – vid en BNP per capita om cirka 5 000 USD stiger förbrukningen brant, för att vid en BNP per capita på 15 000 USD plana ut och däröver t.o.m. avta något (figur 5) – kan man förutsäga världens framtida behov av stål med samma noggrannhet som man kan förutsäga den ekonomiska utvecklingen. Motsvarande mönster gäller för aluminium.

### Nya framställningsmetoder

En sammanvägning av olika publicerade prognoser<sup>1</sup>, som i sin tur bygger på olika scenarier för kostnader för och begränsningar av koldioxidutsläpp, förutsäger att stålproduktionen kommer att öka fram till år 2050. Behovet av nytt råjärn kommer dock att toppa kring år 2030, för att år 2050 vara tillbaka på dagens nivåer. Kring år 2090 förväntas i stort sett hela världens behov av nytt stål kunna mötas via omsmältning av skrot.

En ökande del av stålframställningen från malm väntas ske via direktreduktion. Det beror bl.a. på att metoden har koldioxidmässiga fördelar. Dessutom kan processen bygga på naturgas, som till följd av stora, nypptäckta fyndigheter sjunkit i pris de senaste åren medan priset på koksande kol, som behövs i masugnprocessen, väntas stiga.

### Nya marknader

Någon gång mellan 2025 och 2030 spås alltså världens stålproduktion att passera två miljarder ton (figur 4). Byggnadssektorn förväntas samtidigt öka sin andel av förbrukningen. Det är framför allt Indien och de folkrika länderna i Afrika som väntas stå för ökningen, i och med att levnadsstandarden i de länderna nu närmar sig det spann då stålanvändningen ökar kraftigt.

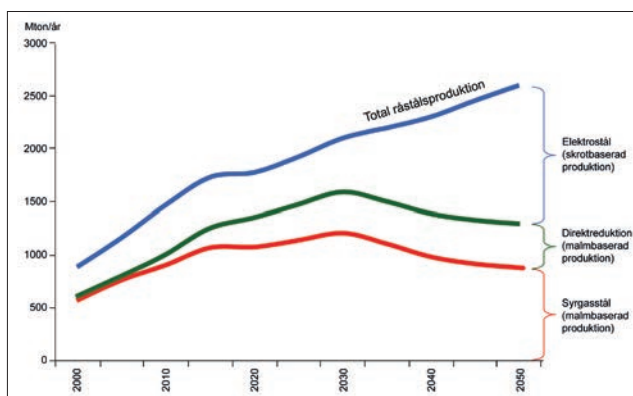


Fig. 4 Prognos för global råstålsproduktion per teknologi. Källa: Global Technology Roadmap for CCS in Industry, Steel Sectoral Report", J.-P. Birat et al

1. Global Technology Roadmap for CCS in Industry, Steel Sectoral Report", J.-P. Birat et al.

**”Kring år 2090 förväntas i stort sett hela världens behov av nytt stål kunna mötas via omsmältning av skrot.”**

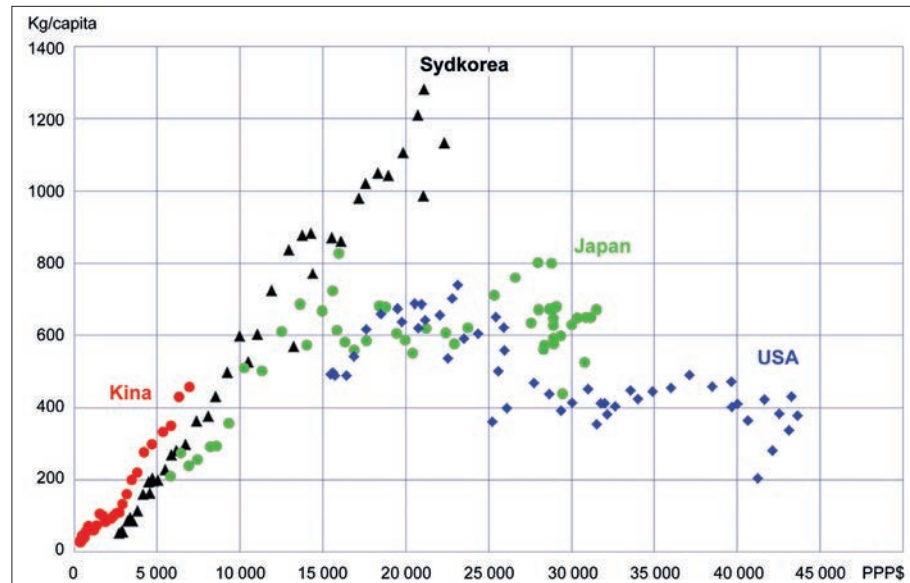


Fig. 5 Stålanvändning per capita i förhållande till BNP per capita i olika länder. Källa: World Steel Association

Det som möjligen skulle kunna förändra bilden är substitution av vissa konstruktionsmaterial. Inom bygg- och anläggningsindustrin, den dominerande avsettningsmarknaden för stål, är trenden för tillfället att stål visserligen ersätts av kompositmaterial i viss utsträckning, men att stål samtidigt ersätter t.ex. betong och trä i ännu snabbare takt. Om denna trend håller i sig kommer därför användningen av stål att öka ännu lite snabbare än förutspått.

## Aluminium

Aluminium står inför en liknande utveckling. Trots finanskrisen har tillverkningen i världen fördubblats under det senaste decenniet, och denna utveckling förväntas fortsätta. T.ex. ökar andelen aluminium stadigt i transportsektorn. I personbilar har den tredubblats sedan 1990-talet. Materialets låga densitet är en viktig möjliggörare för lättviktskonstruktioner. Den höga värmeledningsförmågan gör att alla värmeväxlare i fordon idag tillverkas i aluminium. Den goda elektriska ledningsförmågan har lett till samma utveckling för högspänningsledningar.

## Gjutstål, gjutjärn och gjutna icke-järnmetaller

Även gjutna material såsom gjutstål, gjutjärn och icke järnbaserade material spås en lysande framtid. Den snabba ökningen i globalt behov – mer än 50 procent sedan 2000-talets början – förväntas fortsätta och gå mot alltmer avancerade material. Denna utveckling kommer att påverka svensk industri på ett positivt sätt. Idag arbetar cirka 30 000 personer med gjutna produkter och material men förväntas öka mycket de närmaste decennierna.

**”För Sverige innebär den förväntade utvecklingen stora möjligheter, men också stora utmaningar.”**

## Framtidens utmaningar ger möjligheter

För Sverige innebär den förväntade utvecklingen stora möjligheter, men också stora utmaningar.

# Möjligheter



## Svensk metallindustri skräddarsyr erbjudanderna

En nischaktörs affärsidé är att skräddarsy sitt erbjudande mot de kunder som är beredda att betala för en produkt eller tjänst som sträcker sig utöver vad standardleverantören kan erbjuda. Det kan vara bättre produkttegenskaper, eller samma egenskaper fast i en annan form (t.ex. längre, bredare) eller levererat på ett annat sätt (snabbare, bättre anpassat till kundens önskemål). Det kan också gälla utvecklingsamarbete, t.ex. kring val och applikation av material, för att förbättra kundernas produkter och därmed deras konkurrenskraft. Svensk metallindustri har som tidigare nämnts lång erfarenhet av detta. Den globala konkurrensen och kraftigt skärpta krav på resurseffektivitet kommer att innebära ökande diversifiering och specialisering, vilket kommer att innebära större möjligheter för de leverantörer som kan anpassa sitt erbjudande till kundens behov och därigenom skapa mervärden.

## Resurseffektivitet skapar fördelar

Särskilt behovet av resurseffektivitet skapar nya möjligheter. Resurseffektivitet innebär både att använda mindre resurser med minimal påverkan för att uppnå en given funktion, och att hitta fler funktioner för en given resursanvändning, till exempel ett ökat nyttiggörande av restprodukter. Behov av ökad resurseffektivitet utgör därför en stor möjlighet för svensk produktion av stål, aluminium och de övriga material som uppkommer i processerna. Men framför allt innebär det möjligheter hos användarna. EU har lagt fast medel- och långsiktiga mål för resurseffektivitet i bred bemärkelse. De aktörer som tar ledningen i omställningen skapar fördelar såväl inom EU som globalt. Att använda resurser effektivare är en förutsättning för att nå många av EU:s mål. Det kommer vara avgörande för hur vi lyckas hantera klimatförändringarna och för att skydda värdefulla ekologiska tillgångar samt för att värna livskvalitet för nuvarande och kommande generationer.

## Förbättrade material i framtiden är avgörande

Exempelvis transportsektorn är beroende av förbättrade material för att kunna möta framtidens krav. I The Economist (2010) hävdas, med hänvisning till en studie publicerad i The Shot Peener<sup>2</sup>, att lösningen för transportsektorn ligger till hälften i lättare fordonsvikt, till hälften i reducerade transmissionsförluster. För båda dessa ändamål krävs bättre material, oftast stål och aluminium, ibland i kombination med t.ex. kolfiber eller avancerade ytbeläggningar. Här har svenska landvinningar inom avancerade metalliska material stora möjligheter att skapa avgörande nytta.

Även framtidens byggnader kommer att behöva vara betydligt lättare än i dag för att våra städer ska kunna byggas högre och tätare ovanpå befintlig infrastruktur som tunnelbanor, nedgrävda vägar och andra försörjningssystem. Parallellt behöver byggnadernas uppvärmnings- och kylbehov minska. Det är en kombination som kommer att kräva nya avancerade material som möjliggör nya funktioner.

**”De aktörer som tar ledningen i omställningen skapar fördelar såväl inom EU som globalt.”**

2. The Economist Newspaper Ltd, London, April 9, 2010, med referens till "Unbearable Lightness", in The Shot Peener, Vol 26(1) ISSN 1069-2010 pp 6-8



Den snabba urbaniseringen kommer också att kräva innovationer när det gäller vatten-, livsmedels- och energiförsörjning liksom avlopp och rening. Även här kommer det att finnas goda möjligheter att kommersialisera förbättrade material för att skapa mera ändamålsenliga funktioner.

De ovan nämnda områdena uppmärksammas även i EU:s färdplan för att skapa ett resurseffektivt Europa.

### **Bättre material är grund för ökad energieffektivitet**

Energisektorns utveckling är också beroende av förbättrade material. Bättre material skapar möjligheter att öka resurseffektiviteten, t.ex. genom att öka förbränningstemperaturer och därmed verkningsgraden i kärn-, gas- och kolkraftverk, liksom i överföringen av elkraft. Bättre material krävs också för att kunna bygga högre och större vindkraftverk, kanske till havs eller i arktiskt klimat, eller tåligare solceller. Sammantaget är detta den kanske viktigaste åtgärden för ökad resurseffektivitet globalt sett. Svensk metallindustris satsningar på höghållfasta, värmetåliga rostfria stål, avancerade gjutna komponenter, aluminium- och nickellegeringar spelar här redan en nyckelroll som kan fortsätta utvecklas.

### **Nischerbjudanden stärker konkurrenskraften**

Rent allmänt är det viktigt att svensk metallindustri vågar specialisera sig och utveckla ännu mera avancerade nischerbjudanden. Det finns en stor potential, inte minst inom förädling av gjutna komponenter, och en flexibel och effektiv produktion ger stärkt konkurrenskraft. Produkterna blir mer avancerade och med integrerade funktioner, och "time to market" kommer att fortsätta bli en allt viktigare konkurrensfördel.

### **Användning av råvaror och restprodukter ger möjligheter**

Självklart kommer kraven på ökad resurseffektivitet också att påverka hur metalliska konstruktionsmaterial framställs. Framställningsprocessen i sig behöver minska sitt miljömässiga "fotavtryck", men den kan också bidra till att andra sektorer minskar sitt, t.ex. genom förnuftig och innovativ användning av råvaror och restprodukter. Det finns t.ex. en stor förbättringspotential, både miljömässig och ekonomisk, i att bättre utnyttja slagger.

Den stora efterfrågan på råvaror kan också bli en möjlighet. Den vars processteknik möjliggör snabba omställningar till de för tillfället mest kostnads- och energieffektiva insatsmaterialen kommer att kunna ha ett kostnadsmässigt övertag på sina konkurrenter.

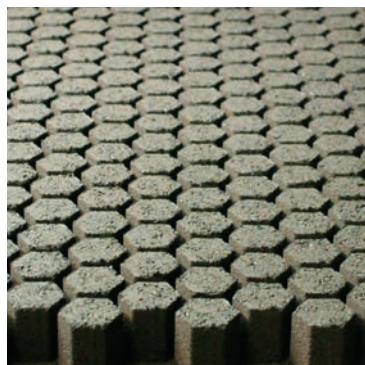
### **Svensk metallindustri utvecklar hållbara samhällen**

Genom att Sverige är ett land med kompletta värdekedjor och så litet att vi kan ha god samverkan mellan olika sektorer har Sverige också unika möjligheter att skapa innovativa, resurseffektiva sätt att nå olika, mera komplexa funktioner. Här finns utvecklings- och tillväxtpotentialer som behöver tas tillvara. En ständig kompetensuppbyggnad inom en stark nationell forskning ger också förutsättningar att kunna medverka, bidra och dra nytta av internationella samarbeten.

Därför är det inte bara försäljningen av själva funktionerna som kan ge intäkter, utan även kunskapen kring hur den uppnås på bästa sätt. Forskningen och metodutvecklingen kring alltifrån koldioxidsnål framställning av råjärn till konstruktion av lätta produkter med resurssnål användning har förutsättningar att bli en viktig exportprodukt, och även stärka Sverige genom att locka utländska företag och forskare att etablera sig här. Kort sagt kan svensk metallindustri positionera sig som en "cleantech enabler" – en pådrivare av kvalificerade ingenjörslösningar för ett hållbart samhälle.

**„..unika  
möjligheter  
att skapa  
innovativa,  
resurseffektiva  
sätt att nå olika,  
mera komplexa  
funktioner.”**

# Utmaningar



## Ligga steget före

För metallindustrin ligger en stor utmaning i att den globala kartan har genomgått betydande förändringar de senaste tio åren. Som en följd av utvecklingen i världens tillväxtekonomier har den globala tyngdpunkten för tillverkning och användning av stål och andra metalliska material flyttat till Asien. Sannolikt kommer denna utveckling att fortsätta och det är exempelvis rimligt att anta att minst hälften av alla bilar i världen kommer att produceras i Kina inom 20 år. En sådan marknadsutveckling ställer stora krav på den svenska metallindustrin som global leverantör. Inte minst det stora avståndet till de växande marknaderna är en utmaning.

I detta ingår att industrin ständigt måste utveckla sina marknadsnischer. Kanske låter det överdrivet att säga att svensk stålindustri förändrar världen. Icke desto mindre finns det en lång rad exempel där svensk stålindustri introducerat avancerade produkter som med tiden blivit standard för en viss tillämpning. Så snart det händer minskar förstås utrymmet för skräddarsydda nischerbjudanden inom just det segmentet. Den snabba utbyggnaden inom branschen har också gjort att antalet konkurrenter med moderna anläggningar och kapacitet att tillverka avancerade material har ökat. Det betyder att det krävs ökade investeringar i både ny teknik och nytt kunnande för att fortsatt ligga i den tekniska framkanten.

**”...det krävs ökade investeringar i både ny teknik och nytt kunnande för att fortsatt ligga i den tekniska framkanten.”**

## Minska kundens avvägningar

En generell utmaning vid kommersialisering av nya material är att ett nytt material alltid innebär svåra avvägningar för användarna, även om fördelarna med att använda det nya materialet är uppenbara. Det beror på att användarnas infrastruktur alltid är anpassad till befintliga material, och att nya material därför kräver investeringar i ny utrustning och ny kompetens.

## Utnyttja restprodukternas potential

I Sverige finns det också ett antal utmaningar att möta när det gäller användning av industrins restprodukter. Försök att öka användningen och därmed minska avfallsmängderna möts av stor försiktighet. Sverige nyttiggör en mindre andel av stålindustrins slagmängder än många konkurrentländer, även inom EU.

## Säkra kompetensförsörjningen, skapa attraktionskraft

Den höga specialiseringen och kraven på ständig förnyelse ställer också krav på kompetensförsörjning. Svag demografisk utveckling och svagt intresse för tekniska yrkesinriktningar är en stor utmaning i Europa som även Sverige känner av. Det faktum att tillväxten i metall- och verkstadsindustrin är lägre i Sverige än i t.ex. Asien innebär dessutom att tillströmningen av ny kompetens och därmed nya idéer är långsammare. Med tanke på att yngre generationer visat sig ha större benägenhet att byta arbete och därmed inte bygga upp den gedigna kunskap som behövs blir också utmaningen särskilt stor för den mycket komplexa metallindustrin, där det kan ta decennier att nå riktig spetskompetens.

## Ta sig an energi- och miljölagstiftning

En annan utmaning är att möta förväntningarna på att samhället ska omvandlas till betydligt högre resurseffektivitet samtidigt som konkurrenskraften bevaras och levnadsstandarden stiger. Lagstiftning inom EU utvecklas för att uppsatta mål stegvis ska kunna nås och innebär att en allt mer komplex miljölagstiftning växer fram. Den gäller för både processerna (utsläpp till luft, vatten och mark) och produkterna. Dessutom finns mål och lagstiftning för energi, resurseffektivitet och minskningar av koldioxidutsläpp (med 80 procent till 2050). Utmaningen ligger särskilt i att lagstiftningen utöver att sätta mål ger direktiv kring hur de ska uppnås, t.ex. via ”förnybara bränslen”. Detta försvårar åtgärder som användning av restenergier som ursprungligen skapats av fossila bränslen. Över huvud taget riskerar kombinationen ”vad” och ”hur” att sätta oavsiktliga gränser för kreativiteten och innovationsförmågan och i det stora perspektivet därmed motverka sitt syfte. Sverige, som skiljer sig från övriga Europa på två avgörande sätt: Vi har stora, jämförelsevis mycket miljövänliga råvarutillgångar och praktiskt taget helt koldioxidfri produktion av el, riskerar att drabbas av lagstiftning som inte är anpassad till våra förutsättningar.

Metallindustrin är energikrävande vilket är en utmaning i sig. Om fokus hamnar isolerat på tillverkningsprocesserna utan ett helhetsperspektiv kan det leda till betydande suboptimeringar, eftersom mer avancerade material och produkter som utvecklas i avsikt att ge reducerad vikt och minskad energianvändning under produktens användningsfas kan kräva mer energi i tillverkningsfasen.

Den svenska miljölagstiftningen, som framför allt i tillståndsprocessen är unik i Europa, medför dessutom att vi står för särskilda utmaningar vid implementeringen av EU:s industriemissionsdirektiv (gäller från 7 januari 2013). Den tid det tar för att erhålla ett miljötillstånd i Sverige är mycket längre än i övriga länder vilket påverkar investeringsviljan i Sverige hos företaget som har alternativa lokaliseringmöjligheter.

## Hantera ökade råvarupriser

Även försörjningen av råmaterial via den globala marknaden har kraftigt påverkats av den i Asien växande stålindustrin. Hög efterfrågan på högkvalitativa material har gjort att priserna på dessa utvecklats snabbare än priserna på stål. En stark konsolidering bland leverantörsföretag inom vissa segment parat med bristsituationer inom andra har gjort att prisbildningen och dess mekanismer är svåra att ens överblicka, än mindre förutsäga.

Denna ökade volatilitet i råvarupriserna har lett till att lagerhållning numera innebär stora finansiella risker. Det innebär att svängningar i efterfrågan inte längre pareras med lagerjusteringar någonstans i kedjan utan måste fångas upp med förändringar i tillverkningskapacitet. Detta är förstas en utmaning för dem som tillverkar material. Men även för svenska användare av metaller innebär dessa förändrade förutsättningar stora utmaningar. Låga lagernivåer gör att ledtiderna till kund blir långa när efterfrågan ökar, vilket kan hämma konkurrenskraften. Långa transportavstånd ökar ledtiderna ytterligare.

## Värna sårbar värdekedja

En annan utmaning är att många aktörer i värdekedjan har begränsat utrymme för egen FoU och därför svårt att hänga med när nya material utvecklas i allt snabbare takt. Detta gäller även service- och tjänsteföretag.

Global konkurrens tvingar också fram en ständigt ökande specialisering av de olika aktörerna i värdekedjan. Detta leder ofta till att kompetensen hos varje aktör smalnar. Det betyder att varje aktör blir mera beroende av att de andra ”länkarna” i kedjan fungerar. Om en länk brister är risken stor att hela kedjan konkurreras ut av andra kedjor. Denna tätt kopplade komplexitet gör att försvagad konkurrenskraft hos enstaka, mindre företag kan få svåra återverkningar i hela den svenska tillverkande industrin. I den svenska verkstadsindustrin finns små, känsliga företag som är specialiserade på vissa förädlingssteg, t.ex. slipning eller polering, som många aktörer är beroende av.

Samtidigt vill kunderna minska antalet leverantörer vilket kräver att varje leverantör måste kunna erbjuda mera omfattande åtaganden.



## **Stålindustrins användning och beroende av legeringsmetaller och mineraler för olika stålgrupper**

**Utförare: Forskningschef Robert Eriksson, Jernkontoret**

### **Sammanfattning**

Den svenska stålindustrin har världens högsta andel av avancerade stål och då är det nödvändigt för en positiv affärsutveckling att tillgången på metaller och mineraler är långsiktigt tryggad. Det kan exemplifieras med att 60 procent av allt stål som tillverkas i Sverige är legerat, jämfört med 15 procent i övriga EU, 15 procent i Japan och 10 procent i USA. Merparten av det svenska stålet exporteras och bidrog under år 2012 med närmare 20 miljarder till Sveriges BNP.

Miljökrav på ökad resurseffektivitet i tillverkning och materialeffektiv användning inom till exempel fordons, bygg och energisektorn kommer succesivt att öka. En ökad utvecklingstakt och användning av avancerade stål som är ännu starkare, ännu mer resistent mot korrosion och slitage är ett för samhället viktigt sätt att möta kraven på god miljö.

Svenska ståltillverkare är inom många användningsområden världsledande avseende högrena stål, värmereflekterande stål, starka konstruktion- och slitstål, sömlösa rör för extrema miljöer, etc.

Med hjälp av legeringar och bearbetning av stålet kan vikten i stålkonstruktioner minskas med upp till 40 procent i förhållande till konventionella stål, skärpta krav på avgasrening och ökad energieffektivitet mötas. Goda exempel på tillämpning finns för alla stålsorter inom rostfritt, kolstål och specialstål.

För att få en samlad bild över de metaller och mineraler som är viktiga för att tillverka de svenska standardstålen och avancerade stål har användning av mineraler och metaller för år 2013 sammanställts med underlag från de största svenska stålverken.

Resultatet visar att användningen av legeringselement inte avviker nämnvärt från det som gäller inom EU. Kompositionen avseende mängdmix och snäva kvalitetskrav avviker dock med anledning av den höga andelen avancerade stål som tillverkas i Sverige.

I praktiken är försörjningssituationen likvärdig inom EU-länderna eftersom det gäller att söka fler vägar till försörjning för kritiska råvaror som motvikt till de dominerande producenterna utanför EU.

Det gäller likaså att slå vakt om inhemska tillgångar som till exempel svensk kalksten som är en unikt viktig råvara för svensk stålindustri då den på grund av sin renhet är en viktig komponent i tillverkningen av avancerade stål. Svenska miljökrav måste här viktas mot en riksangelägenhet så att svenska stålindustrin kan bibehålla sitt försprång med att tillverka avancerade stål.

Sammantaget gäller det att bygga upp en hög beredskap för nyttjande av svenska mineraler och värna om metallförekomster som på relativt kort tid kan aktiveras om marknadspriset på råvaror ger en lönsam brytning och tillverkning eller om det uppkommer en bristsituation på grund av händelser i världen som äventyrar försörjningen.

## Innehållsförteckning

1. Inledning.....	3
2. Exempel på användningsområden för stål.....	4
Högrena stål.....	4
Värmereflekterande stål .....	4
Starka stål .....	4
Extremt hållbara stål.....	4
Lättare tåg med starkare stål.....	5
Sömlösa rör för extrema miljöer .....	5
3. Utvecklingen av stål .....	5
4. Användningen av metall och mineraler inom den ståltillverkande industrin i Sverige.....	7
5. Slutsats.....	15
6. Referenser.....	15

## 1. Inledning

Stål är en legering – eller blandning- av främst järn och kol, men även andra grundämnen. Mängden kol i stål kan variera från några hundradels upp till drygt två procent och betyder mycket för vilka egenskaper stålet får. Stål med ett lågt kolinnehåll är mjukt och böjligt, medan högre kolinnehåll gör stålet hårdare men också sprödare. Detta beror på att kolatomerna påverkar stålets så kallade mikrostruktur.

Moderna stål innehåller oftast andra legeringsämnen vid sidan om kol. Mangan ökar till exempel stålets hållfasthet, också vid högre temperaturer, medan krom och molybden kan förhindra att stålet rostar. Tillsammans med kol bildar krom, molybden och andra legeringsämnen istället karbider som gör stålet beständigt mot nötning, men samtidigt sprödare.

Vilka legeringsämnen som blandas i stålet, och i vilka mängder, beror på vilka egenskaper man vill att stålet ska ha, och vad det får kosta. Ett vanligt rostfritt stål, använt till exempel till diskbänkar, har 18 procent krom och 8 procent nickel men bara omkring 0,05 procent kol.

Ungefär 60 procent av allt stål som produceras i Sverige är legerat, jämfört med 15 procent i övriga EU, 15 procent i Japan och 10 procent i USA. Det stål vi importerar är däremot huvudsakligen av en enklare kvalitet. Flera metaller och mineraler är strategiskt viktiga för svensk stålindustris tillverkning av avancerade stål. Som exempel kan nämnas vanadin där Sverige använder i genomsnitt 0.1-0.15 kg vanadin per ton stål medan USA använder cirka 0.08 kg och i västvärlden används cirka 0.05 kg per ton stål som tillverkas.

Prisskillnaden mellan olika typer av stål är mycket stor. Till exempel kostar Uddeholms dyraste stål 600 kronor per kilo, cirka hundra gånger mer än enkelt stål. Av den anledningen är genomsnittspriset på det svenska exportstålet nästan 50 procent högre än genomsnittspriset på det stål vi importerar, en prisskillnad som motsvarar närmare 20 miljarder kronor per år – ett viktigt bidrag till Sveriges BNP.

Sammanlagt uppgick stålexporten 2012 till 48 miljarder kronor, motsvarande fyra procent av Sveriges totala export. För närvarande producerar Sverige ca 4,3 miljoner ton råstål (grund till stålprodukter) per år. Vår produktion av stålprodukter (till exempel plåt och rör) uppgår till 3,3 miljoner ton – en knapp halv procent av världsproduktionen.

Allt större fokus läggs också på att utveckla stål som ger miljöfördelar ur ett livscykel-perspektiv. Ett exempel är mikrolegerad och snabbkyld plåt som minskar bränsleförbrukningen i bilar tack vare att hög hållfasthet minskar vikten.

För att upprätthålla den svenska stålindustrins konkurrenskraft, exportinkomster och en stabil affärsverksamhet är det av avgörande betydelse att ha en långsiktigt säker tillgång på metaller och mineraler.

Rapporten redogör för stålindustrins viktigaste behov av metaller och mineraler och vilka som är avgörande för en långsiktig utveckling av allt bättre avancerade stålsorter inom rostfritt, kolstål och specialstål.

## 2. Exempel på användningsområden för stål

De svenska stålföretagen forskar kontinuerligt för att ta fram nya legeringar och behandlingar som ger stålet exakt rätt egenskaper för dess avsedda tillämpning. Detta har lett till att inom flera användningsområden har vi över 80 procent av marknaden. Framgångarna har kommit genom en målmedveten satsning på forskning och utveckling där hela värdekedjan från forskning till materialteknik, design och kundkrav sammanförts.

Svensk stålindustri, institut och högskolor har idag en hög förståelse för hur legeringsammansättningar och materialdesign kan nyttjas för att utveckla avancerade stål i applikationer som blir allt starkare, lättare och beständigare. Nedan ges några exempel på stålanvändning och dess möjligheter att nå framgång på marknaden. Gemensamt gäller att för stålens tillverkning krävs en långsiktigt säker försörjning av metaller och mineraler.

### Högre stål

Köper du en TV är den nästan garanterat formad i ett verktygsstål från Uddeholm. Uddeholms stål innehåller en mycket låg grad av föroreningar vilket är viktigt, eftersom minsta lilla förorening i formen ger defekter i den färdiga produkten. Kännetecknande för verktygsstål i övrigt är att de är höglegerade och har hög hårdhet.

### Värmereflekterande stål

Facebooks första serverhall i Europa byggs i Luleå, av svenskt stål. Det är SSAB, en av världens ledande producenter av höghållfasta stål, som levererar 50 000 kvadratmeter plåt till väggpaneler, tak och bjälklager. Det kalla klimatet i Luleå passar Facebook perfekt, eftersom datorer lätt blir överhettade. Dessutom är stålet som SSAB levererar av typen Prelaq Energy, en höghållfast färgbelagd förzinkad tunnplåt, som reflekterar värmestrålning, och därmed minskar energiförbrukningen vid både uppvärmning och kylning med upp till 10 procent.

### Starka stål

Vindkraftverk utsätts för enorma påfrestningar, och därför är materialkraven höga när det gäller hållfasthet och korrosionsbeständighet. Starkare stål förlänger vindkraftverkens livslängd, och leder till minskad materialåtgång och energianvändning – vilket minskar vindkraftverkens miljöpåverkan över livscykeln.

Ovako är en ledande producent av specialstålprodukter till den tunga fordons-, bil- och verkstadsindustrin. Men de är också specialister på stål för vindkraftskomponenter som cylindrar, axlar, svängkransar, bultar, lager och kopplingar som används i verken.

### Extremt hållbara stål

När ett buddistiskt tempel inklusive en chedi, skulle uppföras i Thailand 2010 valdes duplex rostfritt stål från Outokumpu i de mest krävande delarna. Chedin som är en klockformad byggnad där man förvarar relikier är nämligen tänkt att stå i över tusen år. Duplex stål används normalt till krävande konstruktioner så som broar och annan väginfrastruktur, då det har både hög hållfasthet och hög korrosionsbeständighet – det håller under lång tid utan att tappa mekanisk styrka. Outokumpu är världskänt för sina rostfria stål.



## Lättare tåg med starkare stål

Samtidigt som flygplatsen Gardemoen i Oslo byggdes om passade man på att dra en snabbtågslinje från flygplatsen till staden. För att minimera restiden försökte man göra de nya tågen så lätta som möjligt. Genom att tillverka sätena i ett höghållfast stål från SSAB fick man ner stolsvikten från 72 till 30 kilo, vilket innebar att tågets totala vikt minskade med sju ton. Slutresultatet var snabbare acceleration och minskad energiåtgång.

## Sömlösa rör för extrema miljöer

Så kallade umbilicalrör används vid utvinning av till exempel olja och gas. Eftersom de ofta ligger på vattendjup upp till tre kilometer, där trycket är extremt och miljön mycket tuff, måste umbilicalrör tillverkas av stål med en unik hållfasthet och motståndskraft mot havsvatten.

Sandvik är det enda företaget i världen som kan producera och leverera umbilicalrör på en rulle i en kontinuerlig längd på upp till 30 kilometer. Totalt har Sandvik levererat mer än 7000 mil – nästan två varv runt jorden – umbilicalrör till olje- och gasindustrin under de senaste 16 åren.

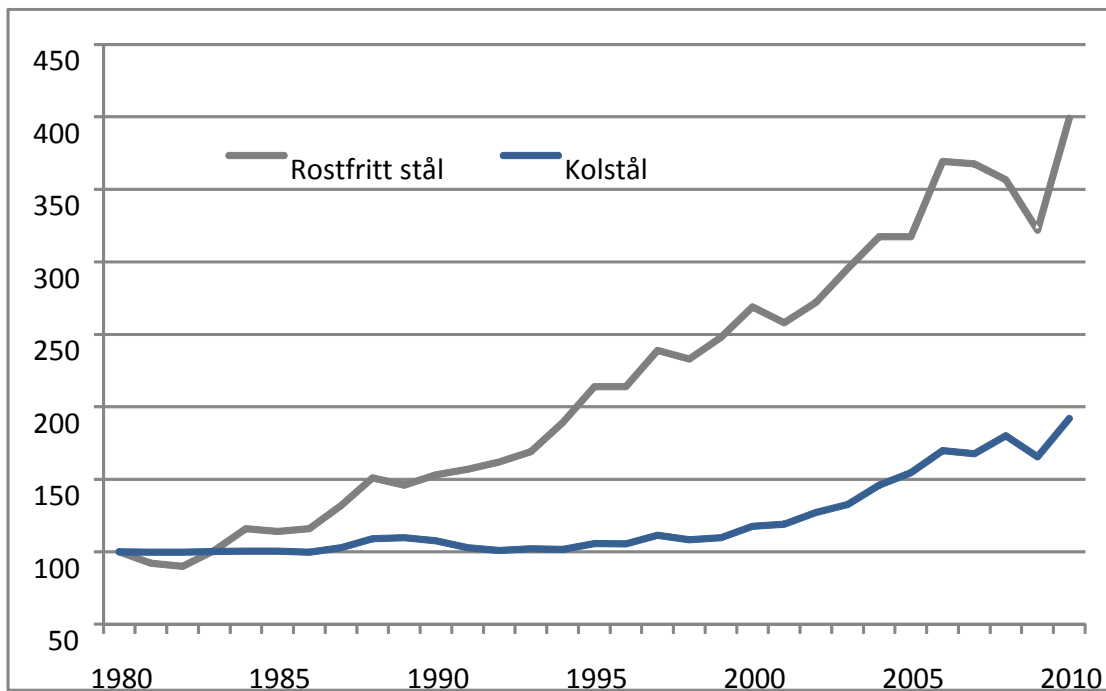
Gemensamt för ovan givna exempel på användning av stål är att nyttan kan åstadkommas genom den svenska stålindustrins unika förmåga att tillverka högpresterande kolstål, rostfria stål och specialstål.

## 3. Utvecklingen av stål

Stål är världens mest använda metalliska konstruktionsmaterial. Under år 2010 användes cirka 1 500 miljoner ton stål i världen. Flera prognoser tyder på en dubblering till omkring 2 800 miljoner ton stål år 2050. Utan tvekan leder det till ett stort behov av legeringsmetaller som gör att tillgången kan befaras bli knapp, särskilt för Europa som importerar merparten av metaller för ståltillverkning.

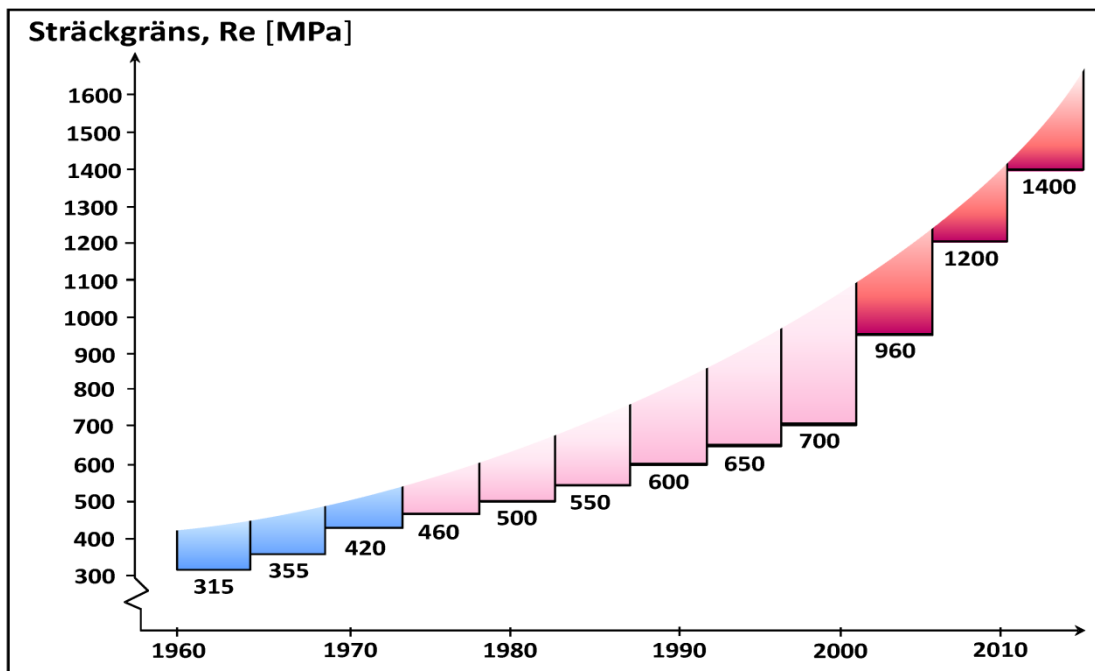
Ett sätt för att undertrycka en metallbrist är att stålet får egenskaper som hela tiden ökar resurseffektiviteten. Sverige har här en särställning genom att vara världsledande på stål med mycket hög hållfasthet och beständighet mot till exempel förslitning. Starkare stål innebär i praktiken möjlighet till stora materialbesparingar i stålkonstruktioner på ända upp till 50 procent och beständigare stål kan användas för till exempel avgasrening och förlänga livslängden hos komponenter som utsätts för nötning. Gemensamt för stålen gäller att egenskaperna framställs med hjälp av legeringsämnen, vilket kräver en långsiktigt tryggad försörjning om utveckling ska fortgå.

Svensk stålindustri är idag en liten producent av stål på världsmarknaden men i ett 30-års perspektiv har volymen ökat betydligt. Även om volymen av rostfria stål, utgör cirka två procent av stålproduktionen i Sverige så är tillväxttakten dubbelt så hög som för låglegerade stålsorter-ofta kallade för kolstål. Figur 1 visar utvecklingen under de senaste 30 åren.



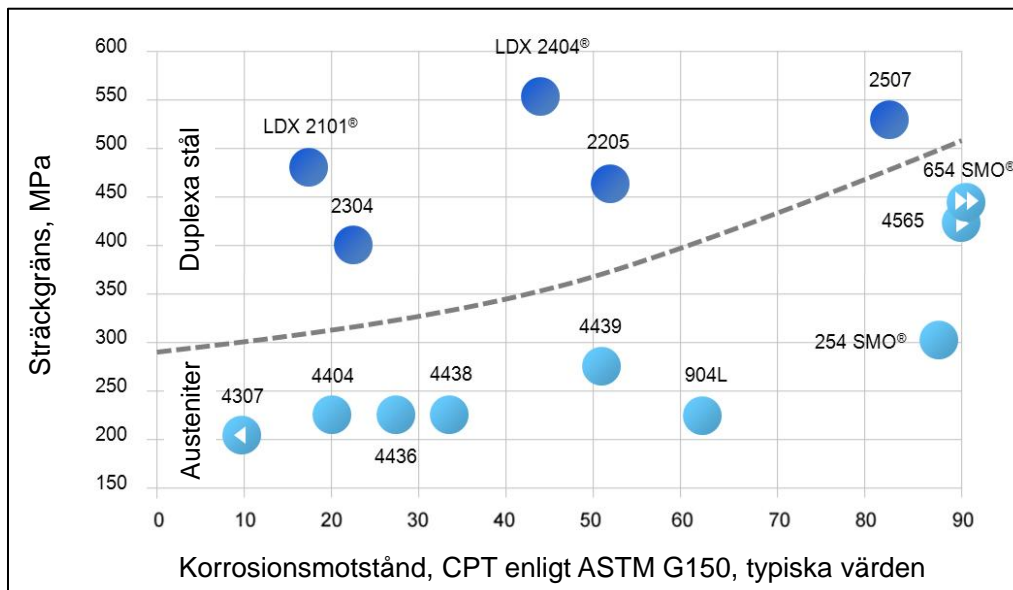
**Figur 1.** Tillväxt av svensk stålproduktion för rostfria stål jämfört kolstål.

När det gäller tillverkningen av kolstål så har hållfastheten genom mikrolegering med främst niob, vanadin och titan i kombination med vattenkylning och härdningsprocesser kunnat ökas till mycket höga hållfasthetstal. Figur 2 visar hur stålets hållfasthet, uttryckt som sträckgräns hos varmvalsat stål, har utvecklats det senaste halvsekllet. De starkaste stålen är i världsledande position.



**Figur 2.** Utveckling av varmvalsade kolståls hållfasthet under det senaste halvsekllet.

På samma sätt som för kolstål har även hållfastheten för rostfria stål ökat. De rostfria stål har utvecklats så att de austenitiska stål fått ett höghållfast duplext komplement inom varje korrosionsmotståndsområde, Figur 3.



**Figur 3.** Duplexa höghållfasta rostfria stål kompletterar de austenitiska stål

Också för rostfritt stål utnyttjas hållfastheter på sträckgränser över 1000 MPa genom möjligheten att hårdvalsa. Tekniken är applicerbar på alla stål men är mest vanlig för låglegerat austenitiskt rostfritt stål eftersom det där är möjligt att kombinera mycket hög hållfasthet med god formbarhet.

Ser man på framtiden så kan man förvänta sig att allt starkare och beständigare stål tillverkas vilket medför att behovet av legeringar och mineraler ökar.

#### 4. Användningen av metall och mineraler inom den ståltillverkande industrin i Sverige

Jernkontoret har i samråd med stålindustrin sammanställt användningen av metaller och mineraler för år 2013 och analyserat beroendet av de viktigaste ämnena för att kunna fortsätta en utveckling mot allt mer högpresterande stål. I detta syfte har en enkätundersökning genomförts för att kartlägga användningen av legeringsmetaller, slaggbildare och andra insatsmaterial inom den svenska stålindustrin. Denna enkät utsändes till inköpare av legeringar och andra insatsmaterial på sex stycken svenska ståltillverkande företag. De företag som deltagit i denna enkät finns listade nedan.

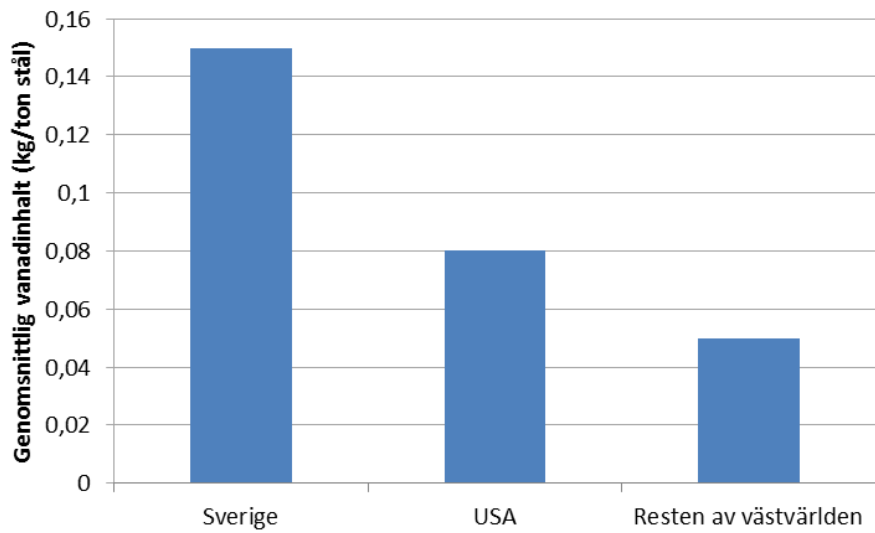
- Ovako
- SSAB Europe
- Outokumpu Stainless
- Höganäs
- Uddeholm
- Sandvik Materials Technology

I den enkät som sändes ut till de inköpsansvariga på ovan nämnda företag efterfrågades information om vilka legeringsmetaller och andra insatsmaterial som används av respektive företag. Dessutom ställdes ett antal frågor angående respektive material. En sammanställning över de frågor som ingick i denna enkätundersökning finns beskrivet nedan.

- Företag
- Legering/insatsmaterial
- Produktform
- Leverantör(er)
- Tillverkare
- Mängd (ton)
- Tillverkat från
- Prisbild
- Användning
- Kommentar

Då den information som insamlats via denna enkätundersökning till viss del är av känslig natur har den sammanställts på ett sådant sätt att det inte går att identifiera svaren från de enskilda företagen som deltagit i undersökningen. Genom att sammanställa den insamlade uppgifterna skapas en i stort heltäckande bild över de legeringsmetaller och insatsmaterial som används av den ståltillverkande industrin i Sverige. Man kan konstatera att de legeringsmetaller som används av den ståltillverkande industrin i Sverige i stort överensstämmer med vad motsvarande industri använder i övriga delar av världen. Det bör dock noteras att sammansättningen av den ståltillverkande industrin i Sverige till viss del skiljer sig från genomsnittet i t.ex. Europa. Den stora skillnaden i detta avseende är att den ståltillverkande industrin i Sverige sedan 1980-talet drivits mot en hög grad av specialisering där utvecklingen har gått från tillverkning av bulkprodukter i stora volymer till tillverkning av avancerade stål för nisch tillämpningar.

Denna utveckling mot mer och mer nischade stålprodukter gör att fördelningen av de legeringsmetaller som används av den ståltillverkande industrin i Sverige kan skilja sig i en jämförelse med andra länder och regioner. Det har vid ett antal tillfällen konstaterats att det stål som tillverkas i Sverige innehåller högre halter av vissa legeringselement i jämförelse med andra jämförbara marknader. Ett exempel på denna skillnad visas i en sammanställning som gjorts inom det Mistra-finansierade miljöforskningsprogrammet Stålkretsloppet där vanadinhalten i det stål som tillverkas i Sverige i genomsnitt konstaterats vara högre än i det stål som tillverkas i USA och "resten av västvärlden", se Figur 4.



**Figur 4.** Genomsnittligt vanadinnehåll i olika regioner.

Utifrån de svar som inkommit från den enkätundersökning som skickats ut till inköpare av legeringsmetaller och andra insatsvaror i den svenska stålindustrin har ett antal sammanställningar gjorts. I Tabell 1 framgår det vilka material (legeringsmetaller, slaggbildare, etc.) som användes, antalet företag som svarat att de använder respektive material samt vilken typ av stål dessa material används till.

**Tabell 1.** Sammanställning av legeringsmetaller och insatsmaterial.

Material	Antal företag	Användningsområde
Aluminium	5	Rostfritt/Specialstål
Bor	5	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Dolomit (slaggbildare)	5	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Flusspat (slaggbildare)	4	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Fosfor	1	Rostfritt
Kalcium	2	Rostfritt/Specialstål
Kalksten (slaggbildare)	5	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Kisel	6	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Kobolt	4	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Kokskol	3	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Koppar	3	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Krom	6	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Mangan	6	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Molybden	6	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Nickel	6	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Niob	3	Rostfritt/Specialstål
Olivin (slaggbildare)	2	Rostfritt/Specialstål
Sällsynta jordartsmetaller	2	Rostfritt
Titan	5	Metallpulver/Rostfritt/Specialstål
Vanadin	4	Rostfritt/Specialstål
Zink (ytbeläggning)	1	Specialstål

Det kan konstateras att ett antal av de material som finns listade i Tabell 1 används av alla sex företag svarat på enkätundersökningen medan andra material endast används av ett eller två företag. Denna spridning beror dels på att de företag som svarat på enkäten använder sig av olika metoder för tillverkning av stål, malmbaserad respektive skrotbaserad tillverkning, men också på att det är olika typer av stål som de olika företagen tillverkar. Det kan vidare konstateras att kisel, krom, mangan, molybden och nickel är de huvudsakliga legerings-elementen vid ståltillverkning. Det går dock inte att säga att dessa legeringsmetaller skulle vara de mest kritiska för den svenska stålintustrin är utan det är ett antal andra överväganden som behöver göras för att kunna göra ett sådant uttalande.

Vidare har en sammanställning av de olika produktformer som de olika de olika materialen som behandlas av de svenska stålföretagen. Detta finns sammanställt i Tabell 2.

**Tabell 2.** Sammanställning av produktform för respektive material.

<b>Material</b>	<b>Produktform</b>
Aluminium	tråd, granuler, dabs, tackor
Bor	FeB (pulver)
Dolomit (slaggbildare)	Fines och stycke
Flusspat (slaggbildare)	Pulver
Fosfor	FeP
Kalcium	CaSi-tråd
Kalksten (slaggbildare)	mjöl, sten, bränd kalk, soft lime, hard lime, stycke
Kisel	FeSi, FeSi 65% special, FeSi 75%, SiCr
Kobolt	Pulver/Co-metall
Kokskol	Pet-koks, Breeze, fines, Coaking coal in bulk
Koppar	Pulver/Granulat/Kopparskrot (rent)
Krom	FeCr HC, FeCr MC, FeCr LC, FeCr charge 55%, SiCr, NFeCr
Mangan	FeMn MC, FeMn HC, Mn Pulver, FeMn, FeSiMn, FeMnN, Mn-metall, MnN-tråd
Molybden	Mo, FeMo 60%, FeMo 70%, Molybdenoxid
Nickel	Ni (pulver, metall)
Niob	FeNb
Olivin (slaggbildare)	Sand, massa
Sällsynta jordartsmetaller	Mischmetal, Cerium
Titan	FeTi (pulver/stycke/tråd)
Vanadin	FeV
Zink (ytbeläggning)	SHG 99,995% Zn samt CGG 99,6% Zn +0,4% Al

Enligt de svar som framkommit i enkätundersökningen så är det ett antal av materialen som förekommer i olika produktform och specifikationer. Man kan till exempel se att mangan och krom levereras och används enligt ett antal olika produktspecifikationer med bland annat varierande kolhalt och renhetsgrad.

Om man har ambitionen att bilda sig en uppfattning om försörjningssituationen av legeringsmetaller och andra insatsvaror till den Svenska stålindustrin är det av intresse att identifiera ursprungsländer för dessa material. I Tabell 3 har en sammanställning gjorts med avseende på tillverkningsländer utifrån de svar som framkommit i den enkätundersökning som gjorts. Man kan, utifrån detta, konstatera att det är ett fåtal legeringsmetaller och insatsmaterial som har sitt ursprung i Sverige. Ett av de få material i denna sammanställning som har sitt ursprung i Sverige är kalksten. Man bör dock vara uppmärksam att de länder som finns angivna i Tabell 3 i de flesta fall representera ursprungslandet där tillverkningen har skett men i vissa fall är det land från vilket själva inköpet har skett. För att få en än tydligare bild av ursprungslandet för respektive material behöver man göra en djupare analys. Det kan dock konstateras att det

finns ett antal olika sammanställningar som gjorts av bland annat Jernkontoret<sup>1</sup> och EU<sup>2</sup> där de största producentländerna för olika legeringsmetaller framgår.

**Tabell 3.** Sammanställning av tillverkningsländer.

Material	Tillverkningsländer
Aluminium	Österrike, Luxemburg, Tyskland, Finland, Norge, Frankrike, Sverige
Bor	Storbritannien, Frankrike, Tyskland, Kina
Dolomit (slaggbildare)	Storbritannien, Sverige, Belgien
Flusspat (slaggbildare)	Kina, Mongoliet, Mexiko
Fosfor	Kina
Kalcium	Frankrike, Brasilien
Kalksten (slaggbildare)	Sverige
Kisel	Norge, Spanien, Ukraina, Ryssland, Polen, Island, Brasilien
Kobolt	Belgien, Belgien
Kokskol	Polen, Australien, USA
Koppar	Storbritannien, USA, Italien, Frankrike, Norge, Sverige
Krom	Sydafrika, Finland, Turkiet, Kazakstan, Sverige, Ryssland, Tyskland, Mexiko
Mangan	Sydafrika, Kina, Norge
Molybden	Storbritannien, USA, Chile, Armenien, Tyskland, Belgien, Holland, Österrike
Nickel	Ryssland, Kanada, Australien, Madagaskar, Nya Kaledonien, Finland, Brasilien, Grekland, England, Sydkorea, Norge, Schweiz
Niob	Kanada, Brasilien
Olivin (slaggbildare)	Norge
Sällsynta jordartsmetaller	Kina, Österrike
Titan	Storbritannien, Sverige, Frankrike, Tyskland, Ryssland
Vanadin	Kina, Österrike, Australien, Ryssland, Tjeckien, Sydafrika
Zink (ytbeläggning)	Finland, Norge

I Tabell 4 har en sammanställning gjorts över de svar angående prisbilden på respektive produkt som framkommit i samband med enkätundersökningen. Prisbilden på legeringsmetaller och andra insatsmaterial bestäms på världsmarknaden och kan variera kraftig från tid till annan beroende på bland annat efterfrågan och politiska omständigheter. Det är därför mycket svårt att ha någon uppfattning om hur priset på ett enskilt material kommer att utvecklas i framtiden. Det kan dock konstateras att flera inköpare har uttryckt att det tycker att det är problematiskt att det finns få leverantörer/tillverkare för flera av de legeringsmetaller och insatsvaror som används.



**Tabell 4.** Sammanställning av prisbild och övriga kommentarer.

<b>Material</b>	<b>Prisbild</b>	<b>Kommentar</b>
Aluminium	Stabil/Volatil	Få tillverkare/Leveranskritisk
Bor	Stabil/Volatil	Få tillverkare/Leveranskritisk
Dolomit (slaggbildare)	Stabil/Volatil	Få tillverkare (i närområdet)/Energikostnader
Flusspat (slaggbildare)	Stigande/Stabil	Få tillverkare i närområdet
Fosfor	Volatilt	
Kalcium	Stabil	
Kalksten (slaggbildare)	Stabil/Volatil	Få tillverkare i närområdet/transportkostnader
Kisel	Stabil/Stabilt hög pga. AD-tull/Volatil	AD-tull, allt färre tillverkare/leveranskritisk
Kobolt	Indexbaserad/Volatil	Leveranskritisk
Kokskol	Stabil/Avtagande/Volatil	Råvaran till koksverken är föremål för kvoter och tullar från vissa länder/Leveranskritisk
Koppar	Indexbaserad/Stabil/Volatil	Leveranskritisk/Få tillverkare
Krom	Stabil/Stabilt hög pga. AD-tull/Volatil	EU-tull/allt färre tillverkare/Leveranskritisk
Mangan	Indexbaserad/Stabil/Volatil	100 % Kina = risk/Få tillverkare/Leveranskritisk
Molybden	Indexbaserad/Volatil/Volatil med efterfrågan	Få tillverkare/Kritisk/Leveranskritisk
Nickel	Indexbaserad/Volatil	Leveranskritisk/Kritisk
Niob	Stabil/Volatil	Oligopol - Få tillverkare/Leveranskritisk
Olivin (slaggbildare)	Stabil/Volatil	
Sällsynta jordartsmetaller	Volatilt	Få tillverkare mestadels i Kina
Titan	Stabil - men volatil vid incidenter/Volatil	Få tillverkare/Leveranskritisk
Vanadin	Stabil/Volatil	Leveranskritisk/Få tillverkare
Zink (ytbeläggning)	Volatil	Leveranskritisk

Dessutom bör man beakta att många av de legeringsmetaller och insatsvaror som har behandlats i denna undersökning förekommer i en mängd olika leveransformer och materialspecifikationer. De olika materialspecifikationerna gör, till exempel, att en specifik legeringsmetall inte kan betraktas som en homogen produktgrupp utan man måste titta på varje materialspecifikation för sig för att bilda sig en uppfattning om hur försörjningsläget ser ut vid en viss tidpunkt. Den allmänna trenden tycks dock vara att renare material med snävare kemiska analyser och lägre halter av olika spårelement tenderar att vara både högre prissatta och vara svårare att uppbringa på marknaden. Detta gör att tillgången på dessa speciella varianter av renare produkter med snävare analyser lättare kan bli en bristvara på marknaden.

Det är inte heller ovanligt att det är just den typen av produkter som behövs vid tillverkningen av de högt specialiserade stålsorter som tillverkas av den svenska stålindustrin. Det bör nämnas att utvecklingen av de processer som används i stålindustrin hela tiden strävar efter att möjliggöra användningen av en flexibel mix av råmaterial så som legeringsmetaller men att det trots detta i vissa fall krävs att man använder sig material med väldigt snäva kemiska analyser.

En grov uppskattning av den totala förbrukningen av respektive material för 2013 baserat på de uppgifter som insamlats genom enkätundersökningen finns presenterad i Tabell 5. Man bör vara uppmärksam på att de siffror som presenteras i Tabell 5 är grova uppskattningar då de företag som medverkat i enkätundersökningen inte har lämnat ifrån sig exakta uppgifter. De uppgifter angående förbrukning av legeringsmetaller och andra insatsmaterial ska ställa i relation till den samlade stålproduktionen i Sverige som 2013 uppgick till cirka 4,3 Mton.

**Tabell 5.** Uppskattad förbrukning i den svenska stålindustrin.

Material	Uppskattning av total förbrukning (ton)
Aluminium	10000
Bor	500
Dolomit (slaggbildare)	100000
Flusspat (slaggbildare)	10000
Fosfor	250
Kalcium	500
Kalksten (slaggbildare)	300000
Kisel	25000
Kobolt	500
Kokskol	1000000
Koppar	1000
Krom	100000
Mangan	50000
Molybden	10000
Nickel	25000
Niob	1000
Olivin (slaggbildare)	5000
Sällsynta jordartsmetaller	500
Titan	5000
Vanadin	1000
Zink	15000

Det är från den genomförda enkätundersökningen svårt att peka ut en specifik legeringsmetall eller annan insatsvara som mer kritisk än andra för den svenska stålindustrin. Det förekommer säkert fall där ett företag köper en eller flera väldigt specifika produkter som har strikta krav på kemisk analys vilket gör att just dessa produkter kan vara svåra att få tag på i ett längre perspektiv. Om man ändå ska göra ett försök att peka ut en specifik råvara som är kritisk för svenskt vidkommande så bör kalksten lyftas fram.

Kalksten är en viktig råvara för tillverkning av avancerade stål. Den svenska kalkstenen har en unikt hög renhet och är här en viktig komponent i utveckling av ståls egenskaper. Det är viktigt att brytningen av kalksten får fortsätta i Sverige och klassas som ett riksintresse för att förse den svenska stålindustrin med kalk.

## 5. Slutsats

Det är från den genomförda enkätundersökningen inte möjligt att peka ut en specifik legeringsmetall eller mineral som skulle vara mer kritisk än andra för den svenska stålindustrin försörjning. Mängderna varierar från tid till annan men beroendet av inventerade råvaror kvarstår.

Det är viktigt att se denna slutsats mot bakgrunden av att svensk stålindustri trots sin specialisering av stål och i högre grad än omvärlden, har ett brett sortiment av stålsorter och konstruktioner som skräddarsys tillsammans med kunderna.

Det är ett avgörande konkurrensmedel att långsiktigt kunna förse marknaden med allt mer kunskapsintensiva och högteknologiska produkter.

Det är viktigt att alternativa försörjningsvägar utreds och kan öppnas om tillgången på råvaror skulle begränsas. Detta gäller inte bara för svensk stålindustri utan även det europeiska behovet av råvaror för ståltillverkning som uppvisar samma konsumtionsmönster.

## 6. Referenser

1. Guide för legeringsmetaller och spårelement i stål (Jernkontorets rapport D811)
2. [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm)



## Hantering av skrot inom återvinningsindustrin och stålverken

Utförare: Göran Mathisson, AB Järnbruksförnödenheter

### Sammanfattning

Sverige har ett väl utvecklat industrisystem för återtagande av järnskrot för tillverkning av nya stål- och gjutgodsprodukter. I elektrostålverken används järnskrot som huvudråvara och som råvara för kylning av råstål i de malmbaserade stålverken.

Den svenska stålindustrin inkl. gjuterierna använder totalt något mer än 2,5 Mton järnskrot per år som råvara för tillverkning av nytt stål. Stålverken köper in ca 1,5 Mton järnskrot från återvinningsindustrin i Sverige men även som import och återanvänder allt fallande skrot från sin egen tillverkning, ca 1 Mton för tillverkning av nya stålprodukter. Järnskrot utgör en stor del av stålets tillverkningskostnad och allt skrot som lämnas till stålindustrin används därför så effektivt som möjligt vid tillverkning av nytt stål.

Den svenska återvinningen av järnprodukter är hög ur ett internationellt perspektiv. Studier på KTH visar att dagens återvinning av järn från produkter och anläggningar är närmare 90 procent. Sverige har nära nog dubbelt så hög återvinning som det globala genomsnittet. Dock finns områden där det återstår att göra förbättringar bl.a. för metaller i hushållssopor som förbränns i kommunala förbränningsanläggningar.

Den genomsnittliga användningstiden för järnskrot i samhället är 35 år men varierar stort från några månader för t.ex. konservburkar till sekel för större konstruktionsanläggningar. Totalt återvinns för närvarande cirka 2,4 Mton järnskrot årligen i Sverige.

Den svenska stålindustrin har av marknads- och konkurrensskäl inriktats på att tillverka alltmer avancerade stålqualiteter inom alla kategorier av handelsstål, rostfritt stål och specialstål såsom bl.a. kullager och verktygsstål.

Detta ställer mycket höga krav på järnskrotets kvalitet avseende såväl sorteringsgrad, analys som styckebråk. Skrotet måste därför vara "skräddarsytt" för respektive stålqualität.

För att klara utvecklingen krävs tillgång på allt bättre klassificerat skrot, dvs. ökad noggrannhet avseende sortering, metallanalys och bearbetning till rätta fraktioner.

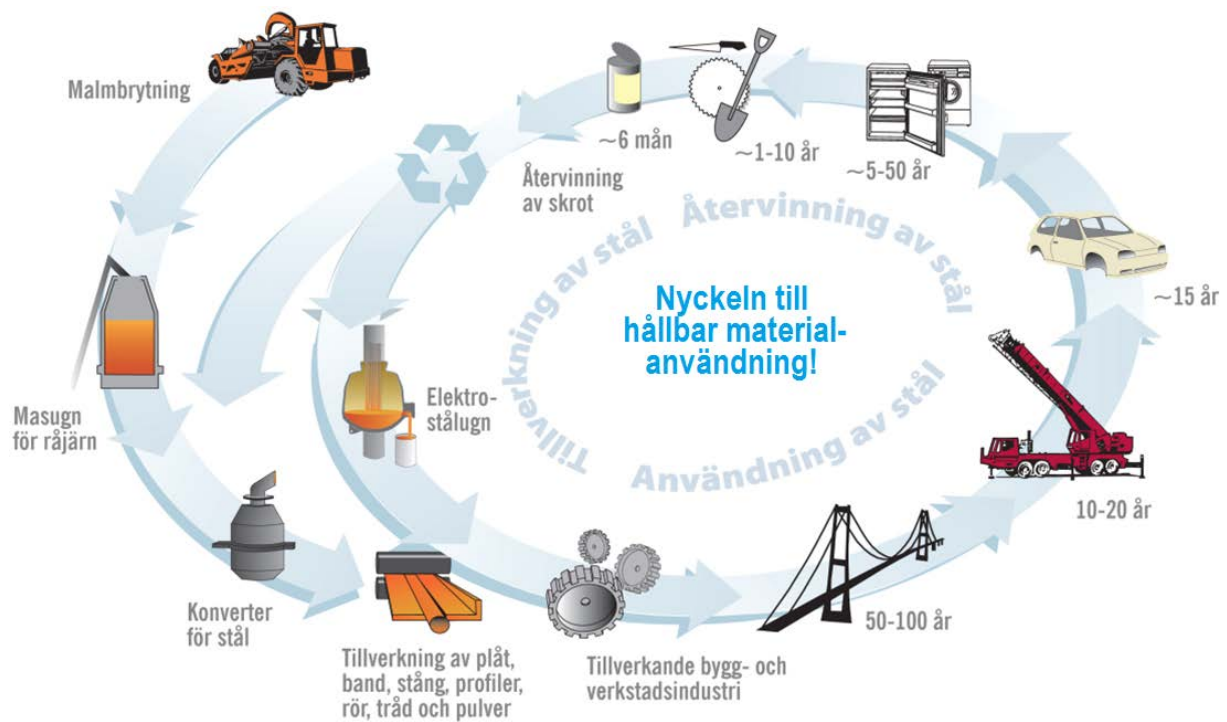
Genomförd forskning visar att det finns möjligheter att utveckla till exempel laserinstrument för on-line analys av järnskrotets metallinnehåll inkl. olika legeringsinnehåll. Likaså att det går att vidareutveckla modeller som kan prediktera den nya stålmältans analys. Riktade forsknings- och demoinsetser på sådana områden leder till ökat utbyte av insatta råvaror och ger förutsättningar för att tillverka ännu starkare och beständigare stålqualiteter.

## Innehåll

1. Inledning.....	3
2. Processvägar och råmaterial för ståltillverkning .....	5
3. Stålkonsumtionen i samhället.....	6
4. Generering och förbrukning av stålskrot i Sverige.....	9
5. Kvalitet och specifikationer för järnskrot.....	10
6. Framtida utveckling.....	12
7. Slutsatser .....	13
Referenser.....	13

## 1. Inledning

Rapporten avser att ge en översiktlig beskrivning av hur stålskrot uppstår och hanteras i samhället av återvinningsindustrin och inom stålverken samt vilka förbättringsmöjligheter och potentialer som föreligger inom detta område. I figur 1 ges en schematisk illustration av stålets kretslopp från tillverkning via användning till återvinning.



**Figur 1:** Illustration av stålets cirkulation i samhället.

I Sverige är idag sju stålbolag verksamma med anläggningar för smältmetallurgi på nio orter. Dessa framgår av nedanstående bild. Till detta kommer några större gjuterier tillhörande bl.a. fordons- och verkstadsindustrin samt ett antal fristående mindre gjuteriföretag.

	Anläggningar i Sverige	Prod kap	Skrot %
	Luleå Masugn, LD	2,5 mton/år	18
	Oxelösund Masugn, LD	1,6 mton/år	19
	Hagfors EAF	90 kton/år	100
	Hofors EAF	550 kton/år	100
	Smedjebacken EAF	650 kton/år	100
 	Avesta EAF	450 kton/år	100
	Sandviken EAF	350 kton/år	100
	Björneborg	100 kton/år	100
	Halmstad	160 kton/år	100

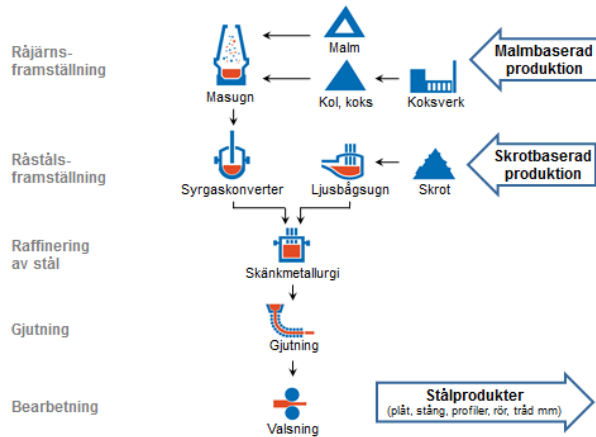
Inom återvinningsindustrin finns en stor mängd företag, som har verksamhet på i stort sett alla större och mellanstora orter. Några av de större aktörerna finns i nedanstående lista

- Skrotcentralen i Uppsala AB
- Hans Andersson Metal AB
- IL Recycling Metals AB
- Skrotfrag AB
- Kuusakoski Sverige AB
- Lantz Järn & Metall AB
- Lindberg & Son AB
- Ragn-Sells Metall AB
- Stena Recycling AB
- Svenska Metallkretsen AB (FTI)



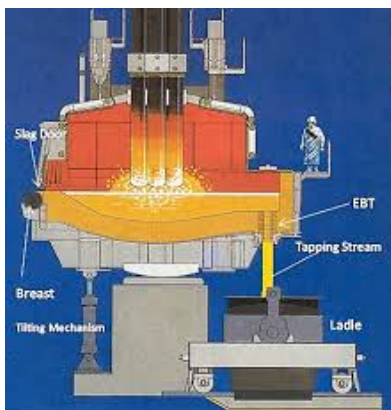
## 2. Processvägar och råmaterial för ståltillverkning

I princip finns idag två processvägar att tillverka stål: järnmalms- eller stålskrotbaserat enligt figur 2, nedan:



**Figur 2.** Översikt av produktionsvägar och flöden av stålskrot

Inom EU-28 tillverkas det under 2013 strax över 166 Mton råstål (ref 1) varav cirka 40 % av denna produktion är skrotbaserat. Motsvarande siffror globalt för 2013 är 1.582 Mton råstål (ref2) varav 33 % är skrotbaserat. I den skrotbaserade processerna är smältugnen den centrala enheten. Skrotet insätts uppifrån i ugnsfaten via en skrotkorg. Skrotet smälts därefter med genom att leda elektrisk energi genom grafitelektroder där elektriska ljusbågar tillför smältenergin, därav namnet ljusbågsugn, som illustreras i figur 3.



**Figur 3.** Elektrisk smältugn- ljusbågsugn-för stålskrot och charging av ugn med stålskrot

I vissa länder, såsom i Turkiet, uppgår den skrotbaserade andelen till mer än 80 % medan i andra länder, såsom i Kina, är andelen endast 10 %. Eftersom Kina tillverkar mer än hälften av allt stål i världen blir behovet och mängden skrot ändå betydande. Turkiet är en stor ståltillverkare och mycket beroende av skrotimport främst från EU och USA.

Av dagens tillverkningskapacitetsnivå i Sverige på ca 4,3 Mton stålprodukter/år är ca 3 Mton malmbaserat och resterande 1,3 Mton skrotbaserat, ca 30 %. Även de malmbaserade stålverken konsumerar dock en del skrot, men då främst internt cirkulerande skrot.

Användningen av skrot i Sverige hänger ihop med den allmänt ökande tillgången på skrot i samhället mot slutet av 1800-talet samt utvecklingen av stålframställningsprocesserna som medgav möjlighet att omsmälta skrotet och på så sätt vidareförädla järnet. Den smältprocess som tidigt dominerade var den så kallade Martinprocessen, där värmningen utfördes med ved, gas eller olja men som senare ersattes med elenergivärmda ljusbågsugnar, som idag är den helt dominerande processväg som används för omsmältning av återcirkulerat skrot.

Tillverkning av stål genom återsmältning av skrot medför en rad fördelar. Många olika stålkvaliteter kan tillverkas i ganska små serier och med varierande halter av legerings-element. Råmaterialåtgången halveras genom mindre behov av reduktionsmedel och slaggbildare. Genereringen av koldioxid blir försumbar, liksom att totala energiförbrukningen av kol och elkraft reduceras till en tredjedel. En nackdel kan vara att det kan vara svårt att tillverka vissa kvaliteter av stål på grund av att föroreningar av bland annat koppar och tenn anrikas i stålet vilket är tekniskt svårt att raffinera bort vid omsmältningen.

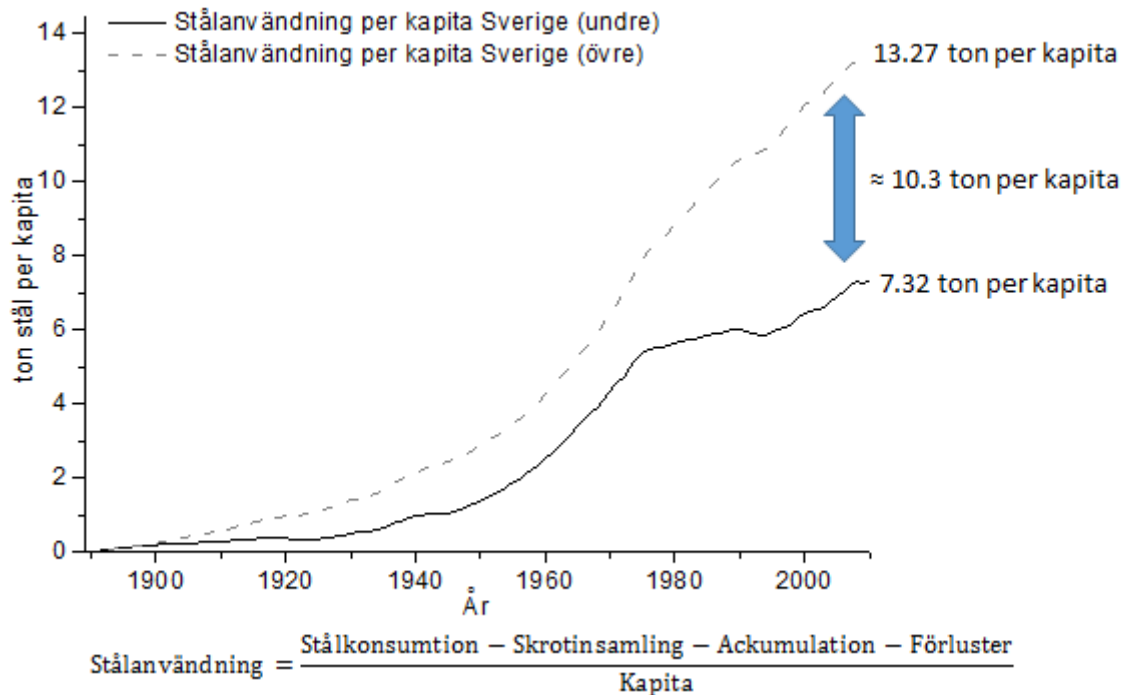
Generellt gäller att andelen skrotbaserad ståltillverkning i ett land beror på bland annat var i utvecklingskedjan som landet befinner sig, inhemsk tillgång på stålskrot, malmtillgång samt behov av stål för uppbyggnad av samhället och inte minst på kunskapen att tillverka stål.

Sverige har under århundraden utvecklat en situation där man succesivt övergått till att vara i världsklass när det gäller avancerade stålqualiteter från såväl för malm- som skrotbaserad ståltillverkning.

### **3. Stålkonsumtionen i samhället**

Användningen av stål per capita har vuxit i Sverige och tillväxten har ökat som mest perioden efter Andra Världskriget. Idag konsumeras i dagsläget produkter som innehåller stål, i en mängd som årligen motsvarar ca 4,3 Mton järn.

Nedanstående figur 4 visar hur användningen av stål i Sverige växt under de senaste 100 åren upp till dagens nivå, ca 10 ton per capita. Motsvarande siffra globalt är ca 2 ton per invånare.



**Figur 4.** Användningen av stål i Sverige per person under åren 1889-2009

Den största andelen stål används som konstruktionsmaterial i olika byggnationer och infrastruktur, därefter kommer tyngre maskiner, fordon och förpackningar m.m.

Beräkningar har visat att av konsumtionen i Sverige ackumuleras ca 1 Mton årligen och att totalt nästan 100 Mton järn finns ackumulerat i samhället.

Eftersom järnatomerna i produkterna inte kan förstöras, är i teorin allt järn som finns i samhället återvinningsbart. Detta gäller likaledes för alla metaller.

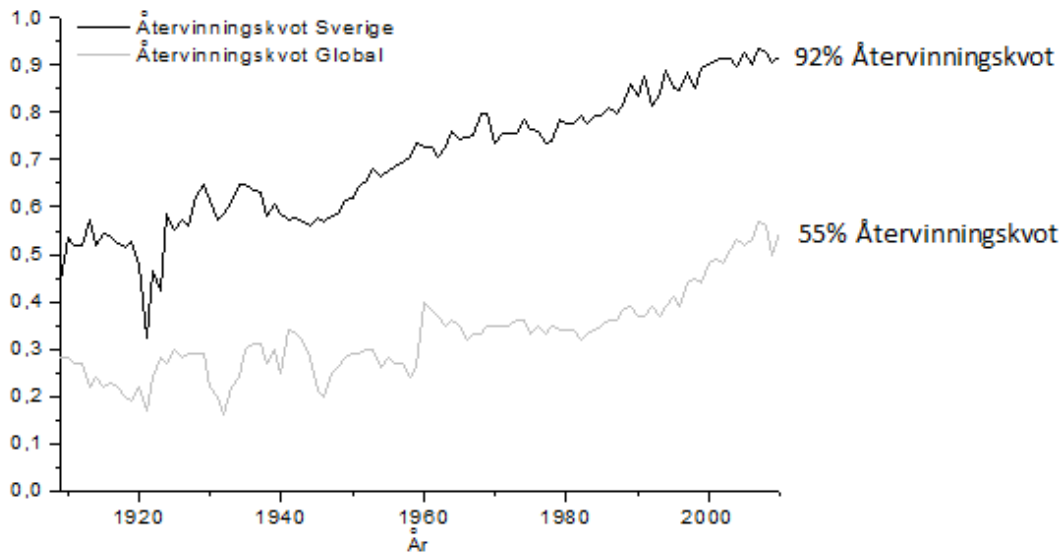
Cirkulationstiden för stål varierar i praktiken stort beroende på användning. Den genomsnittliga cirkulationstiden för stålskrot i Sverige är cirka 35 år. Hur den fördelas på olika användningsområden framgår av tabell 1.

Stålanvändningssektor	Livstid	Stålanvändning
Byggnadsstål	80	26%
Maskinverk	30	17%
Elektroniska varor	10	5%
Varvindustrin	40	1%
Fordon	18	17%
Metall varor	25	6%
Förpackningar	1	4%
Kokkäril	20	4%
Andra industrier	15	20%
<b>Medellivslängd:</b>	<b>35</b>	

Tabell 1. Genomsnittliga livscykelstider för olika produktslag i Sverige

I länder som är i en utvecklingsfas beträffande infrastruktur, bl.a. MENA-länderna, är genomloppstiden något längre, medan i länder som passerat utvecklingsfasen har kortare genomloppstid (EU, USA, Japan). Det gäller även typ av skrot som genereras.

I de undersökningar som genomförts så framgår det att Sverige har en långt driven återvinning av stålskrot (> 90 %) och som är nära dubbelt så hög som den globala återvinningen, enligt figur 5, nedan



$$\text{Återvinningskvot} = \frac{\text{Insamlat skrot}}{\text{Tillgängligt skrot} + \text{Förluster}}$$

**Figur 5.** Återvinningskvot (Recirkulationsgrad) i Sverige och globalt (ref 3)

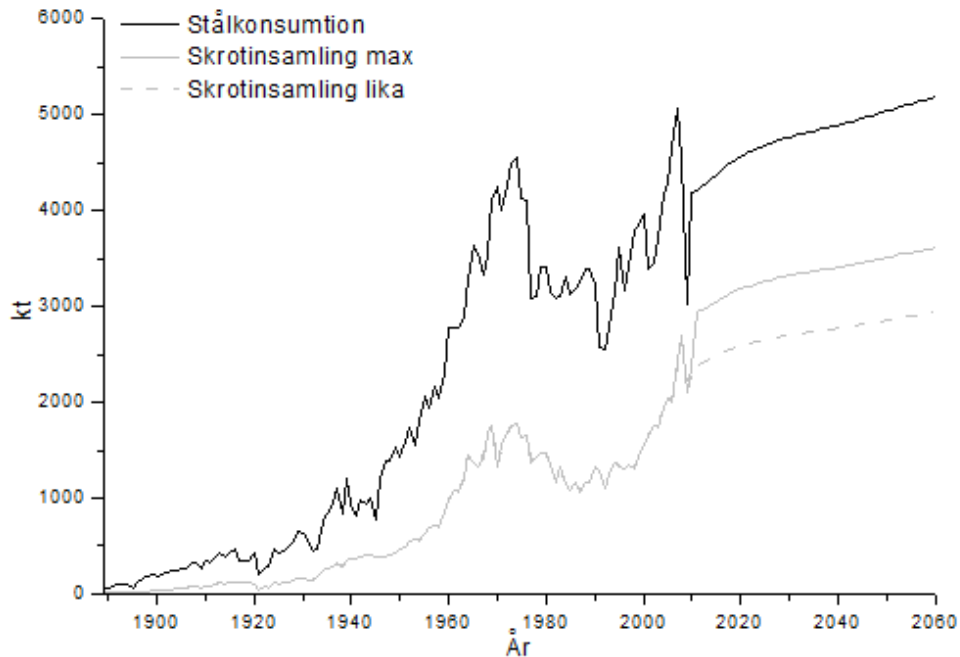
De svenska stålverken är idag helt inriktade på att tillverka specialstålprodukter och för en global marknad. Det innebär att vår stålindustri inte har någon omedelbar koppling till de produkter som innehåller stål som vi konsumerar och förbrukar i Sverige.

Av det stål som tillverkas i Sverige avsätts endast ca 20 % på den svenska marknaden vilket resulterar i att det mesta stålskrotet som genereras i Sverige kommer via stål som tillverkats i andra länder.

En inte oväsentlig del stål- och metallprodukter hamnar idag i askan hos kommunala förbränningsanläggningar för hushållsavfall. Mängden metallskrot uppskattas till cirka 50-70 000 ton per år. Detta skrot som kallas brännskrot förloras till en del genom deponering på kommunernas tippområden eller exporteras ut ur landet. Det finns möjlighet att öka återvinningen av dessa metaller genom att fortsätta att förbättra möjligheterna till nära källsortering i de existerande insamlingssystemen. Detta tillsammans med att utveckla bättre processer för omhändertagande och separering av metaller i förbränningsaskan skulle medföra ytterligare ökad recirkulationsgrad i Sverige.

#### 4. Generering och förbrukning av stålskrot i Sverige

Genereringen eller återvinningen av stålskrot i Sverige beräknas till mellan 2,3-2,4 Mton årligen med en stigande trend upp mot som mest ca 3 Mton år 2020 för att därefter plana ut något, enligt grafen i figur 6, (ref 3).



**Figur 6.** Prognos för stålkonsumtion och skrotgenerering i Sverige (ref 3)

Dock består denna volym av olika sorters stålskrot och med olika kvalitetsnivåer och renhet. Speciellt är det brist på legerat, rent och tyngre styckeskrot. De temporära och geografiska variationerna är också betydande samt följer av den allmänna och globala ekonomiska utvecklingen. Figur 7 visar grovt skrot av god kvalitet.



**Figur 7.** Stålskrot av god kvalitet

De svenska stålverken och gjuterierna förbrukar ca 1,1 Mton av det insamlade svenska skrotet vilket är ca 40 % av den totala tillgängliga volymen. Resterande volym 1,0 - 1,3 Mton exporteras. Mottagare av det svenska exportskrotet är främst Danmark, Tyskland, Spanien och Turkiet, men även USA.

Även om vi har ett generellt överskott av skrot i Sverige uppstår dock temporära och lokala brister i systemet samt att vissa kvaliteter kan vara svåra att uppbringa för stålverken. Detta innebär att det även sker en viss import till Sverige.

Balansen och behovet av råmaterial och skrot för de svenska stålverken inkl. gjuterier kan generellt se ut som i tabell 2, nedan:

Internt cirkulerande skrot hos stålverken	1.100 kton
Råjärn vid malmbaserade verk	3.000 kton
Svenskt olegerat köpskrot	900 kton
Svenskt legerat köpskrot	200 kton
Legerat importskrot	200 kton
Tillkommande i legeringar	140 kton
Summa metalliskt råmaterial	5,6 Mton

Tabell 2. Exempel på råmaterial och skrot.

Den resulterande utgående stålproduktproduktionen är ca 4,3 Mton. Differensen till ingående råmateriealet består i internt cirkulerande skrot samt ej återvinningsbara förluster i främst slagger och oxiderat stoft och slam.

## 5. Kvalitet och specifikationer för järnskrot

Det svenska järnskrotet uppdelas i cirka 30 olika klasser som återvinningsindustrin och stålverken kommit överens om. Kvalitetsvillkoren som i grova drag är uppdelade i form, densitet och kemisk analys (ref4).

Vidare har branschen överenskommelser beträffande föroreningar, miljöfarliga och explosiva material samt radioaktiva komponenter.

Marknaden är uppdelad så att stålverken upphandlar skrotet färdigbearbetat för direkt nedsmältning, så kallat chargerbart skick.

Återvinningsindustrin samlar ihop och bearbetar skrotet och levererar det fritt stålverken med bil eller järnväg.

Skrotet levereras in till återvinnarna från olika källor. Som exempel kan nämnas verkstads-skrot från tillverkningsindustrin, insamlingskrot från kommuner, bildemonteringsanläggningar, rivningar och andra utrangeringar med mera. Figur 8, visar skrot under bearbetning.



**Figur 8.** Skrot under bearbetning.

Återvinningsindustrin har en viktig uppgift i att separera stålskrotet från andra metaller, ovidkommande eller annat miljö- eller hälsofarligt material.

Figur 9, visar en modern anläggning för återvinning av stålskrot.



**Figur 9.** En modern anläggning för återvinning av stålskrot.

Klassning och verifiering, det vill säga kontrollen av att leveranserna stämmer överens med överenskommen kvalitet och vikt sker hos stålverken för varje leveranspost om ca 30 ton.

En hel del skrot genereras inom stålverkens egen förädlingskedja. Beroende på stålqualität och produktområde består denna returskrotsvolym av mellan 15-50 % av den tillverkade mängden stål. Störst mängd retursskrot har specialstålverken med stor andel legerade stål och långtgående egen förädlingskedja. I hanteringen av detta skrot är det ytterst viktigt att hålla isär skrotkvaliteterna med hänsyn till värdet av legeringsinnehållet. Kännedomen om olika skrotsorters analys är därför en allt viktigare parameter i skrothanteringen.

Sofistikerade beräkningsprogram finns numera installerade för att optimera mixen av skrot-sorter för att minimera behovet av tillsats av dyrbara legeringar.

Likaså är kännedomen och detekteringen av för stålet skadliga ämnen, som t.ex. koppar och tenn, väsentlig.

## **6. Framtida utveckling**

Inom ramen för Jernkontorets forsknings- och utvecklingsverksamhet bedrivs ett flertal framåtriktade projekt gemensamma med återvinningsindustrin. Vissa projekt bedrivs även inom branschens EU-organ Eurofer och RFCS.

En förhoppning är att de svenska specialstålverken ska kunna använda större andel material som idag inte är möjligt till rimliga kostnader på grund av föroreningar. Bland annat dessa kan nämnas:



- Skrot ur aska från förbränningsanläggningar som idag är för komplext sammansatta.
- Slipmull från verkstadsindustrin som idag delvis deponeras.
- Metoder för att bra och snabbt kunna klassificera och verifiera skrotkvalitet och skrotanalys.
- Snabba analysmetoder för att fysiskt bestämma kemisk analys i skrotdetaljer.

Lyckade projekt kommer att leda till högre återvinningsgrader samt bättre hushållning med legeringsmetaller. Bättre kontroll på nedsmält material leder till mindre risk för utskrotningar och omsmältning av material med onödig material- och energiåtgång som följd.

## 7. Slutsatser

En positiv framtid för svenska stålverken hänger intimt samman med förbättrad lönsamhet och mer sofistikerade stålegenskaper. För att uppnå detta måste återvinningsidan förse stålverken med råmaterial med än mer preciserade specifikationer samt möjlighet till kostnadsbesparingar.

Sverige har en mycket hög återvinning av stålskrot men den kan ökas och ges ett ökat ekonomiskt värde genom noggrannare sortering och detektering av ämnen i stålskrotet. För att få till stånd en ökad returnering av stålskrot krävs insatser i hela återvinningsledet med t.ex. bättre källsortering hos hushållen och hos kommunerna samt mer tillämpad forskning för utökad sortering, analys och kvalitetssäkring.

Det MISTRA-finansierade miljöforskningsprogrammet, Stålkretsloppet, har visat vilka möjligheter som föreligger med t.ex. on-line analys med laserteknologi och andra incitament för ökad klassificering av stålskrot och därmed precisions rikta stålskrot till önskad stålsort.

Eftersom järnskrot är en global handelsvara måste kostnadsincitament skapas för både återvinnings- och stålverkssidan, dvs. merkostnader för återvinningsidan måste matchas med kostnadsfördelar på stålverkssidan.

## Referenser

1. <http://www.eurofer.org/Facts%26Figures/Crude%20Steel%20Production/All%20Qualities.rpg>
2. <http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/steel-stats/2013/Crude-steel-pdf/document/Crude%20steel%20December%202013.pdf>
3. Alicia Gauffins avhandlingar (ref 3)
4. Skrotboken 2012 (ref 4)
5. Stålkretsloppet. <http://www.jernkontoret.se/forskning/stalkretsloppet/index.php>



## En bedömning av potentiell tillgång av metaller i stålindustrins restprodukter och industrideponier.

Utförare: Klas Lundberg, Jernkontoret

### Bakgrund

Inom den svenska metallproducerande industrin uppkommer restprodukter som till största delen omhändertas. En mindre del deponeras. Denna rapport har tagits fram på uppdrag av Jernkontoret som underlag till SGUs regeringsuppdrag ”Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar”.

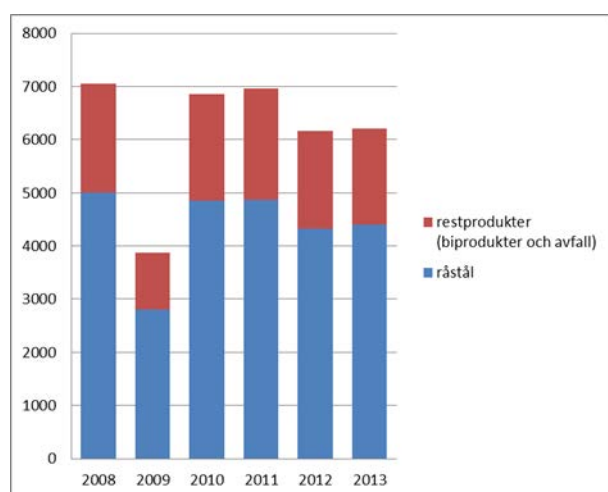
Intresset i rapporten har inriktats på metallmängder, då främst legeringsmetaller, som kan finnas i deponier inom svensk metallindustri. Avgränsningen i rapporten har varit en inriktning på legeringsmetaller och svensk metallproducerande industri det vill säga ståltillverkning samt produktion av icke-järnmetaller (t.ex. Boliden). Svensk gruvverksamhet ingår inte i rapporten.

### Vad gör industrin idag – hur löses hanteringen av restprodukter.

Allt material som inte är huvudprodukten stål/metall kallas restprodukt. Restprodukten kan sedan delas upp i biprodukt eller avfall. Termen restprodukt är inget legalt ställningstagande. Biprodukt är en produkt som tillverkas i samband med produktion av huvudprodukten och som kan säljas på en marknad. Biprodukterna ska bedömas i enlighet med biproduktsartikeln och i så fall lyda under produktlagstiftningen REACH.

Om en restprodukt klassas som avfall kan den gå till återvinning eller deponeras. Materialet lyder då under avfallslagstiftningen.

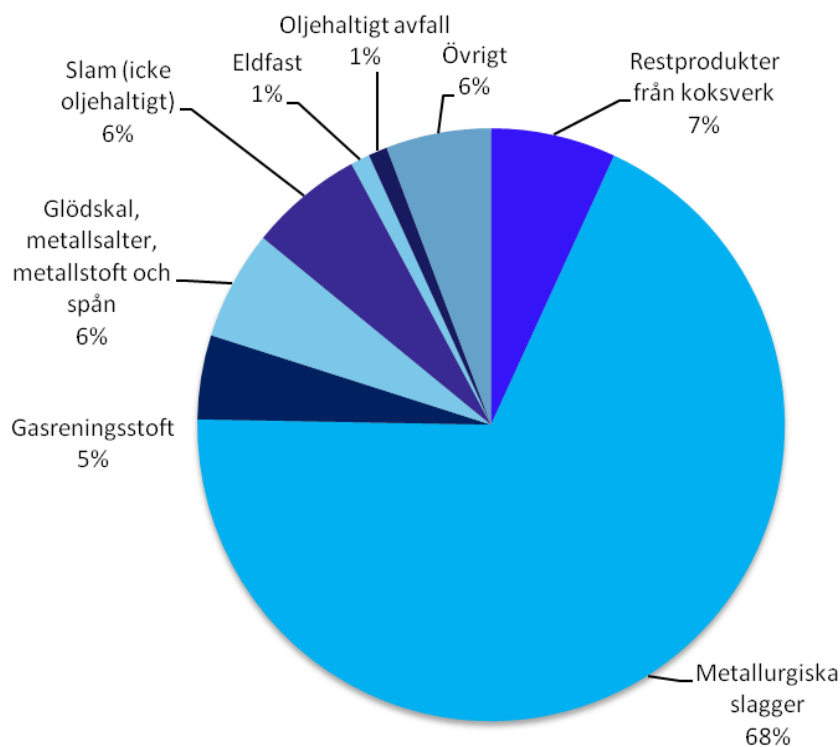
Inom svensk stålindustri produceras årligen relativt stora restproduktmängder, exempelvis ger en produktion av 5 Mton stål per år i Sverige en restproduktmängd på ca 2 Mton per år. Restproduktmängden är direkt kopplad till produktionsvolymen. Merparten av mängden restprodukter är biprodukter men en mindre del deponeras.



Figur 1. Totala mängden råstål och restprodukter i stålindustrin 2008-2013 (kton)

Inom svensk metallindustri finns ett väl utvecklat arbetssätt där syftet är att ta tillvara metallinnehållet till så stor del som möjligt med avancerade processer inom varje tillverkningssteg.

De metallurgiska slaggerna innehåller rester av stål. För att tillvarata metallvärden (järn och legeringselement) är det vanligt med olika typer av metallutvinning i slagghanteringskedjan. På en del verk görs detta redan i smält tillstånd där slaggen försiktigt hålls ur slaggrytan och den sista metallrika delen förs tillbaka till stålproduktionen. Vid de flesta anläggningar görs en operation i kallt tillstånd där stål och slagg separeras antingen med hjälp av magneter eller med gravimetriska metoder, som ofta föregås av krossning eller liknande.



**Figur 2.** Restprodukter från svensk stålindustri (2010)

Stoft bildas i de flesta av stålindustrins varma processer och tas om hand i gasreningsanläggningar. Mångårig utveckling av reningsteknik, filter och fläktsystem har medfört att stoftutsläppen minskat radikalt. Installerade filter skiljer i regel bort över 99 procent av de stoftpartiklar som följer med de utsugna ugnsgaserna. Ur det stoft som avskiljs nyttiggörs det ingående metallinnehållet (t.ex. järn, zink, nickel, krom och molybden). Beroende på om gasreningen är torr eller våt bildas gasreningsstoft eller gasrenings slam. Stoft som uppstår vid tillverkning av rostfritt stål innehåller förutom järnoxid även oxider av bl.a. krom och nickel. Stoft från framförallt de skrotbaserade verken som tillverkar låglegerat stål innehåller ofta en hög zinkhalt. I båda dessa fall återvinns de värdefulla metallerna vid externa anläggningar. Från malmbaserad ståltillverkning har gasreningsstoft och -slam ett relativt högt innehåll av järnoxid och kol och ofta mycket lågt innehåll av andra metaller. Därför är dessa material värdefulla att återanvända i de egna processerna, eller som produkter på en extern marknad i form av råmaterial för t.ex. cementtillverkning.

I slutändan uppkommer dock vissa material som av olika processrelaterade egenskaper inte kan återtas till processen eller kan processas är en biprodukt. Dessa blir då avfall som oftast deponeras på egen eller extern deponi. Materialen innehåller då ringa metallinnehåll alternativt i en form som gör det komplicerat att återvinna.

Att deponera ett material är kostsamt därför undviks denna lösning men ibland finns inga alternativ. Det kan vara av intresse att påtala att Mark- och miljödomstolen (MMD) har i sina domar, angående tillstånd för deponier, sedan slutet av 1990-talet villkorat deponeringen av material så att ”framtida nyttjande möjliggörs”. Det har alltså funnits en tanke från MMD:s sida att i framtiden kunna återta de avfall som deponerats. Detta har medfört att deponierna konstruerats för att minska sammanblandning av material och göra det möjligt att återta materialet.

Från äldre deponier tenderar det dock att vara svårare att återta material på grund av blandning av material. Blandningen påverkar ibland stabiliteten i deponin och omöjliggör i princip en återvinning.

I takt med att deponeringskostnaderna ökar och svårigheten/komplexiteten att söka och få tillstånd till deponering driver verksamhetsutövarna att finna andra lösningar. Alternativen till deponering sker i följande steg.

### **Steg 1 Egen återvinning**

För flera material inom metallindustrin väcks hela tiden frågan om inte återvinning av metallerna ändå kan lösas internt. Därför pågår, mer eller mindre, en vilja hos företagen att finna lösningar till ökad återvinning och därmed ökad metallproduktion. Olika idéer provas för återtagande till process vilka kan försvåras av på grund av processkemiska eller processtekniska hinder.

Vid bedömning om återvinning är möjlig måste man beakta följande komplikationer, särskilt om man funderar på ny teknik.

- Metallförekomsten i materialet är nästan alltid enbart känd som en halt.
- I vilken form metallerna förekommer är ofta okänt. Det är inte ovanligt att metallen föreligger i kemiskt bunden komplexform som gör det svårt att ”komma åt” metallerna.
- Återvinning kräver ofta en helt ny process.
- De nya processerna är ofta energikrävande.
- Nya processen kan ge ett avfall som är mer potent än startprodukten, således krävs likväl deponering eller annat slutligt omhändertagande i lika stor omfattning eller större än för utgångsmaterialet.
- Det är alltid risker för ökade utsläpp vid processande av ett material
- Processen kan medföra olika investeringskostnader.

Således är det inte ovanligt att beslutet blir ”ingen åtgärd - fortsatt deponering”.

### **Steg 2 Extern återvinning – återvinning mellan industrier**

Kan materialet lämnas till annan industri som på bättre sätt kan återvinna metallerna? Här måste materialet ”passa in” i den tilltänkta processen såväl processkemiskt som process-tekniskt. Priser för omhändertagande spelar ju självklart också in i bedömningen.

Här finns flera goda exempel. Zinkhaltigt stoft från rostfri ståltillverkning tas om hand i Boliden smältverk. Annat metallhaltigt stoft från rostfri ståltillverkning omhändertas för metallåtervinning vid Befesa Scandust.

### Steg 3 Produktifiering

För att ett ämne eller ett föremål som uppkommer genom en produktionsprocess vars huvudsyfte inte är att producera detta ska betraktas som biprodukt i stället för som avfall behöver följande villkor vara uppfyllda:

- a. Det ska vara säkerställt att ämnet eller föremålet kommer att fortsätta att användas.
- b. Ämnet eller föremålet ska kunna användas direkt utan någon annan bearbetning än normal industriell praxis.
- c. Ämnet eller föremålet ska produceras som en integrerad del i en produktionsprocess.
- d. Den fortsatta användningen ska vara laglig, dvs. ämnet eller föremålet ska uppfylla alla relevanta produkt-, miljö- och hälsoskyddskrav för den specifika användningen och inte leda till allmänt negativa följder för miljön eller människors hälsa.

Flera av metallindustrins befintliga biprodukter som finns på marknaden idag har fysiska egenskaper som marknaden efterfrågar.

Hyttsten (slag från malmbaserad ståltillverkning) är exempel på en biprodukt där egenskaperna hos själva materialet är det viktiga. Hyttsten bearbetas till följande produkter

- Jordförbättringsmedel
- Vägbyggnadsmaterial
- Material till ridbanor (Paddex)
- Vältbetong (Merolit)
- Bindemedel (Merit 5000)

Bolidens järnsand är en slag från kopparframställning med metallhalter på (Cu 4 g/kg, Zn 12 g/kg, Pb 0,1 g/kg). Metallerna hårt bundna som silikater, i en glasartad matris, som i stort omöjliggör lakning men också ett återtagande av metallerna. Järnsandsproduktion är ca 250 000 ton/år. Produktens egenskaper (värmeisolerande, dränerande, hög bärighet) är så bra att den är ett populärt byggmaterial som används i Skellefteåområdet i 40 år. Nyligen har dock myndigheterna kraftigt försvårat användningen av järnsand genom att kräva att all användning kräver tillstånd. I och med ett sådant ställningstagande omöjliggörs, i praktiken, all försäljning av järnsand. Proceduren för en köpare är för omfattande och tar för lång tid vilket medför att köparen väljer andra material, mest sannolikt jungfruliga material. Branschen anser att detta är ett olyckligt exempel på när tillämpningen av lagstiftningen försvårar, de facto, hindrar nyttiggörande av material som annars måste deponeras. Visserligen rör denna fråga inte återvinning av metaller men är ändå relevant då alternativet är deponering som bör undvikas.

### Steg 4 Deponering

Således är deponering av material det sista alternativet för ett företag. En indikativ studie har genomförts i denna rapport i syfte att indikera hur stora metallmängder (legeringsmetaller) som skulle kunna finnas i de material som deponeras i dagens svenska metallproduktion. Det är endast en ansats då endast några av de större svenska metallproducenterna tillfrågats samt endast de material som, för respektive företag, är de som deponeras till största mängd och som

bedöms innehålla legeringsmetaller. Ska man bedöma metallmängderna mer detaljerat bör en förnyad studie göras med en mer specificerad inriktning.

I denna indikativa studie har följande frågor ställts:

1. Vilka restprodukter, de tre största mängdmässigt, deponeras idag som innehåller/kan innehålla legeringsmetaller.
  - a. Mängd per år.
  - b. Bedömd deponerad mängd (senaste 10 åren).
  - c. Metallhalter (legeringsmetaller) i fallande och deponerat material.
  - d. Har halterna förändrats över tid när man jämför fallande och deponerat (bedöm högre eller lägre om ni inte vet)
  - e. Finns kunskap om metallernas förekomstform. Om det saknas gör en bedömning om det går.
2. Finns återvinningstankar (metaller) eller tankar om materialanvändning av andra skäl (ex.vis då restprodukten har bra egenskaper; produktifiering)
3. Hur svårt är det att återvinna metallinnehållet. Skala 1-5 där 1 är lätt och 5 mycket svårt.
4. Största hindret för återvinningsspåret. Bedöm 1-5; 1 litet hinder, 5 stort hinder
  - a. Teknik saknas
  - b. Dyrt (investering)
  - c. Ny process ger avfall som påminner om utgångsmaterialet
  - d. Miljömässigt osäkert/risk/utsläpp

Svaren finns sammanställda i bifogad Bilaga 1.

Nedanstående tabell ger en bild av de mängder legeringsmetaller som finns deponerat idag inom svensk metallindustri. Bilden är inte komplett utan ger en storleksordning på mängderna av metaller. Summan av legeringsmetallerna i deponierna är följande:

**Tabell 1:** Indikativ summa mängd metall + oxid i deponier.

Metall	Mängd i deponerade material (ton)
Cr	180 000
Zn	33 000
Mn	70 000
Mg	18 000
Ni	17 500
Mo	8 000

## Vanadin

Återvinning av vanadin ur slagg har studerats under många år. LKAB:s järnmalm innehåller drygt 0,1 % V. I Sverige använder SSAB i stort sett enbart LKAB:s järnmalm vid framställning av järn. Det mesta av vanadinet hamnar som komplexa oxider i stålslaggen som

är svåra att anrika till en kommersiell produkt. För att få en ren produkt krävs komplicerade processer, vilket också påverkar utbytet.

2013 använde SSAB i Sverige nästan 4 miljoner ton järnmalm från LKAB, vilket betyder att stålslaggen innehåller i storleksordningen 4000 ton vanadin (räknat som V men i form av oxid), vilket motsvarar ungefär halva Europas behov av vanadin av vilket det mesta är för stålindustrins legeringsbehov. SSAB i Sverige använder endast runt 100 ton vanadin som legeringsmaterial.

SSAB har i perioder sedan 70-talet lagt ner resurser på att hitta metoder för att utvinna detta vanadin på ett lönsamt sätt. Engagemanget har växlat med vanadinpriset. Flera olika metoder har undersökts, men hittills har ingen metod visat sig vara så enkel och lönsam att SSAB har kunnat starta en kommersiell produktion även om tekniken finns. Bland annat har det varit en del av miljöforskningsprojektet ”Stålkretsloppet” i perioden 2004 – 2012 som delfinansierats av Mistra.

I dagsläget fortsätter SSAB att undersöka olika lösningar dock krävs tresiffriga miljonbelopp i investeringar i nya processer.

### Övrig metallåtervinning

En väl etablerad metallåtervinning i stor skala som också bör nämnas i detta sammanhang är användningen av järnskrot och elektronikskrot. Stora delar av svensk ståltillverkning är baserad på skrot som råvara. Bolidens anläggning, Rönnskärsverken, har en unik teknik att producera metall från elektronikskrot. Tekniken säljs också.

### Slutsatser

- Mycket återvinning sker redan idag där processvägar finns. Både metallåtervinning och materialanvändning används.
- Forskning och utveckling pågår hos företagen för att finna nya produkter/användningsområden/återvinningsvägar. Flera av de, i rapporten ingående materialen, är idag föremål för utredning som syftar till att finna användning (retur/användning i egen process eller produktifiering) istället för deponering.
- Deponering blir dyrare/svårare vilket driver utvecklingen mot ökad återvinning och/eller produktifiering
- Återvinning är ofta svår genomförbart pga. metallernas förekomstformer i de material som idag deponeras.
- Återvinningsprocesser för komplexa material som innehåller legeringsmetaller riskerar generera utsläpp till luft och/eller vatten samt riskerar bli dyrare/svårare än planerat.
- Lagstiftningen runt avfall/återvinning är snårig och svår för såväl verksamhetsutövare som myndigheter vilket riskerar att försvåra återvinnings- användaralternativet (se exempel gällande järnsand ovan under ”Produktifiering”).



## **Referens**

Handbok för restprodukter 2012, Jernkontoret: Stålindustrin gör mer än stål.

## Bilaga 1

Företag	Fallande mängd ton/år	Deponerad mängd	Metallhalt av intresse	Metall+oxidmängd (ton) i deponerat material	Metallernas förekomstform	Värdering	Anledning	Kommentar om pågående arbete
Företag 1/oljehaltigt slam	850	90 000	70% Fe	Mest järn		4	dyrt - kostnad överstiger utvinningsbara värdet	Mest järn
Företag 1/hydroxidslam	450	45 000	2 % Cr2O3	Cr2O3 900		5	teknik saknas -värdet tveksamt	Svårt, dyrt, teknik?
Företag 2/stoft (F1)	4000	10000	Zn 17%	Zn 1 700	Oxidiskt/sulfatiskt, metallklorider o. fluorider	2	Miljömässigt osäkert/risk/utsläpp	Utredar fn. Återvinning av Pb (och Zn)
Företag 2/ stoft (K1)	4000	90000	Zn14%	Zn 13 000	Sulfatiskt	2	Miljömässigt osäkert/risk/utsläpp	Utredar fn. Återvinning av Pb (och Zn)
Företag 2/gasreningslam	300	4000	Zn 2%	Zn 80	Huvudsakligen PbSO4	3	Miljömässigt osäkert/risk/utsläpp	Indikerande försök för Pb-återvinning
Företag 3/gasreningslamslam	90 000	900 000	Zn 2%, MgO 2%, MnO2 0,5%	Zn 18 000, MgO 18 000, MnO2 4 500		4	Dyr teknik	
Företag 3/gasreningsstoft	35 000	350 000	MnO 0,7%, V2O5 0,4%	MnO 2 400, V2O5 1 400		2	Knepig teknisk lösning pga slitage	Återtagande till process möjlig
Företag 4/metallhydroxidslam	4000	220 000	Cr 14 g/kg, Mo 0,4 g/kg, Ni 9 g/kg	Cr 3 000, Mo 80, Ni 2 000	Förekomstform känd	4	Höga forforhalter	
Företag 4/slugg	60 000	0,9 Mton	Cr 20 g/kg, Mo 0,3 g/kg, Ni 0,5 g/kg	Cr 18 000, Mo 300, Ni 450	Förekomstform känd	4	Många problem	
Företag 4/gasreningsstoft	0	400 000	Cr 9%, Ni 2,4%	Cr 36 000, Ni 9 500	Förekomstform känd	4	Ej lönsamt	Fallande till extern deponi i Norge
Företag 5/slugg	100000	5 Mton	Cr2O3 3%, NiO 0,1%, MoO3 0,03%, MnO 1,5%	Cr2O3 100 000, NiO 4000, MoO3 7500, MnO 60 000	Metalloxider; spinell			Ev ersättning för flusspat
Företag 5/metallhydroxidslam	5600	110000	Cr2O3 3%, NiO 2%, MoO3 0,5%, MnO 1%	Cr2O3 2000, NiO 1500, MoO3 270, MnO 850		2	Dyr behandling	
Bolidens Järnsand)	250000	År en produkt	Zn 1,5%, Mn 0,4; Ni 0,03%	Zn 3600/år, Mn 1000/år, Ni 0,07/år	glasliknande järnsilikatmineral	4	Myndighetsbeslut	PRODUKT sedan 70-talet
<b>Indikativ summa mängd metall + oxid i deponier</b>								
<b>Metall</b>	<b>Mängd (ton)</b>							
Cr	180 000							
Zn	33 000							
Mn	70 000							
Mg	18 000							
Ni	17 500							
Mo	8 000							
Summa	326 500							

## **Metallernas oxidationsbenägenhet, effektiviseringsmöjligheter och möjligheter till återvinning**

**Utförare: Professor Seshadri Seetharaman**

### **1. Sammanfattning**

När man framställer stål genom smältreduktion, tillsättes legeringsmetaller ofta som ferrolegeringar. På grund av legeringsmetallers oxidationsbenägenhet hamnar ofta en del av dessa värdefulla metaller i oxidfasen, dvs. slaggen. Slaggen innehåller även stabila oxider som inte går att reducera med kol under stålframställning, till exempel, kiseloxid eller aluminiumoxid. Inlösningen av oxider av värdefulla metaller som krom ökar oordningen i slaggen vilket ”uppmuntrar” inlösningen. Således medför en högre oxidationsbenägenhet att en del av metallerna som krom eller mangan förloras till slaggen

Vissa metaller som mangan och zink eller oxider som molybdentrioxid har högt ångtryck. Dessa går upp i ångfas och hamnar i rökgasstoffet. Metallångor oxideras och blir oxider i stoftet. För att minska metallförlusten till stoftet måste man ”binda upp” metallen till stabilare form i metallbadet. Alkaliska metaller förångas och hamnar högre upp på metallurgiska ugnar vilket kan ge upphov till driftproblem. Utmaningen är att med kunskap om metallernas benägenhet att oxidera kunna hantera drivkrafterna så att beskrivna olägenheter kan minskas.

Svensk stålindustri, forskningsinstitut och högskolor har under lång tid byggt upp en mycket hög kunskapsnivå om metallernas struktur, oxidationsbenägenhet, etc. som kan användas för att driva tillverkningen av stål till ökat metallutbyte, men också för att återvinna metaller ur slaggar och andra restmaterial. Kunskapen används och förädlas dagligen vetenskapligt och används inom industriforskningen i syfte att optimera användningen av legeringsmetaller och på köpet få en effektivare resursanvändning. I föreliggande rapport redovisas ett antal nyutvecklade metoder och tekniker som leder till ökat utbyte av metaller vid smältning av stål, dvs metallen blir kvar i stålet istället för att avgå från smältan till slaggen eller som stoft i rökgaser. Försök i industriell skala i stålverk har gett ett kraftigt ökat utbyte av t ex krom och molybden

Vid utveckling av processer för återvinning av legeringsämnen från slaggar måste man beakta att dessa är starkt bundna i silikatmatris. Nya forskningsresultat visar dock att det är möjligt att utveckla processer för återvinning av metaller från slaggar och restmaterial på ett nytt sätt. Denna rapport redovisar metoder för utvinning av t ex vanadin och mangan ur slaggar från ståltillverkning och vanadin i flygaska från raffinaderier och förbränningsanläggningar.

Det har därtill visat sig möjligt att med elektrolys utvinna många metaller, t ex bly, aluminium, vanadin, molybden och sällsynta jordartmetaller ur restmaterial såsom elektronikskrot, CRT-glas och glasdeponier. De nya metoder som presenteras i denna rapport indikerar att de är fördelaktiga jämfört med befintlig teknik ur miljö-, energi- och råvarusynpunkt.

För att möjliggöra en användning av metoderna i industriell produktion krävs att de testas i demonstrationsskala och anpassas till industriella förhållanden. Tidpunkten för kommersialisering av metoderna är därtill beroende av världsmarknadspriserna för aktuella metaller.

## 2. Teoretisk bakgrund

Metaller förekommer i naturen ofta som oxider eller sulfider. Vissa metaller som guld eller platina-gruppens metaller (platina, palladium, iridium, osv.) förekommer i elementär form ty de har ingen affinitet för syre eller svavel. För framställning av metaller som förekommer som oxid måste man avlägsna syret med ett lämpligt grundämne eller kemisk förening som har starkare affinitet för syre än metallen. Man använder ofta kol för att ta bort syret bundet till metallen.

Om metallen förekommer som sulfid måste man på samma sätt ta bort svavlet. Sulfiden oxideras ofta i så kallad flamsmältning och sedan tar man bort syret från den bildade oxiden. För det fall syret är bundet till reaktiva metaller (de har mycket stark affinitet för syre, t.ex. aluminium), använder man den elektriska kraften för att frigöra metallen från syret i ett saltbad. Processen kallas "smältsalt elektrolys".

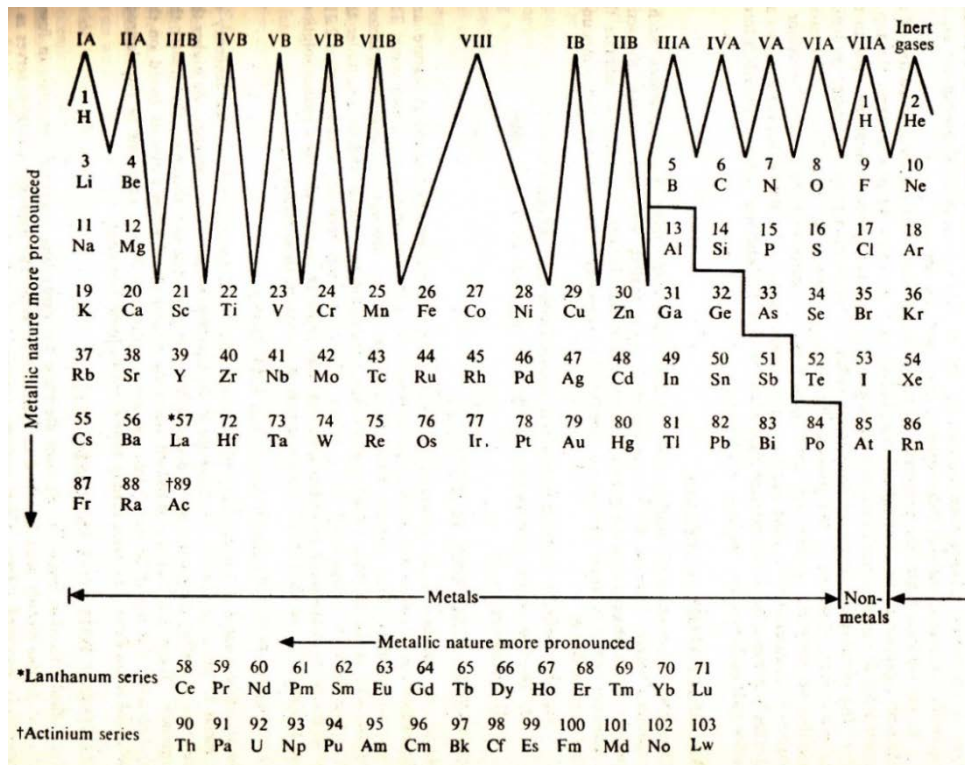
När det gäller återvinning av metaller från skrot, restprodukter eller stoft, gäller samma principer. Man frigör metallen från föreningsbildande ämnen, t.ex. silikat eller oxid så att metallen kan återanvändas. Framställning av metaller samt återvinning av värdefulla metaller från restprodukter kan beskrivas med hjälp av stabiliteten av metallernas föreningar. Detta ämnesområde benämns "termodynamik".

Termodynamiken ger ofta information om möjligheten för en reaktion. Däremot, för att kunna förstå hur snabbt denna sker anlitar man kinetiska kunskaper som innefattar även transport av materia och värme (refereras som "transportfenomen och kinetik"). För att kunna få maximal effektivitet bör man utforma rätt typ av reaktionskärl (ofta kallas som "Reaktordesign"). Som exempel kan nämnas LD-reaktorn för stålproduktion från råjärn där syrgas injiceras i smältan för att ta bort en viss mängd inlöst kol från det kolmättade järnsmältan (s.k. färskning). Metall och gas blandas mycket effektivt och färskningsreaktionen går då mycket fort.

Man måste ta hänsyn till faktorer som processekonomi och inverkan av processen på miljö för att kunna designa en lämplig process för framställning av metaller samt återvinning av dessa.

Vår målsättning är att visa oxidationsbenägenhetens betydelse för metallernas förekomst och form i restprodukter vid tillverkning av basmetaller, t.ex. stål, aluminium och koppar. Vi ska vidare försöka ge en översiktsbild av kända och tänkbara metoder för effektivare processföring vid tillverkning och för återvinning av metaller.

Grundämnena uppdelas ofta i metaller och icke-metaller som visas i Figur 1<sup>1</sup>.



**Figur 1:** Mendeleevs periodiska system där grundämnena är uppdelade som metaller och icke-metaller.

Metaller är huvudsakligen fasta faser vid rumstemperatur med få undantag som kvicksilver. I ovan nämnda uppdelning har man lagt in väte bland metallerna då den bildar föreningar med icke-metaller som klor. Gränsen mellan metaller och icke-metaller är ganska diffus. Vissa grundämnen som till exempel antimon benämns ibland som "halv-metaller". Till metaller hör även lantanider (sällsynta jordartsmetaller) samt aktinider.

I tabell I presenteras en lista över de vanligast förekommande grundämnena på jordskorpan med syre, kisel och aluminium högst upp följt av järn. Syret är såväl bundet i oxidiska föreningar med metaller (som till exempel järn) föreligger som fri syrgas i atmosfären. Vissa metallers affinitet för svavel är större än för syre och då förekommer de som sulfider (t.ex. koppar) i jordskorpan.

**Tabell I:** De mest förekommande grundämnena på jordskorpan<sup>2</sup>.

Element	Abundance (ppm/wt)	Element	Abundance (ppm/wt)
Oxygen	466,000 (46,6%)	Zinc	70 (0,007%)
Silicon	277,000	Cerium	60
Aluminium	81,300	Copper	55
Iron	50,000	Yttrium	33
Calcium	36,300	Lanthanum	30
Sodium	28,300	Neodymium	28
Potassium	25,900	Cobalt	25
Magnesium	20,900	Scandium	22
Titanium	4400	Lithium	20
Hydrogen	1400	Columbium	20
Phosphorus	1050	Nitrogen	20

<b>Manganese</b>	950	Gallium	15
<b>Fluorine</b>	625	Lead	13
<b>Barium</b>	425	Radium	13
<b>Strontium</b>	375	Boron	10
<b>Sulphur</b>	260	Krypton	9.8
<b>Carbon</b>	200	Praseodymium	8.2
<b>Zirconium</b>	165	Protactinium	8.0
<b>Vanadium</b>	135	Thorium	7.2
<b>Chlorine</b>	130	Neon	7.0
<b>Chromium</b>	100	Samarium	6.0
<b>Rubidium</b>	90	Gadolinium	5.4
<b>Nickel</b>	75		

### Teoretiska samband<sup>3</sup>

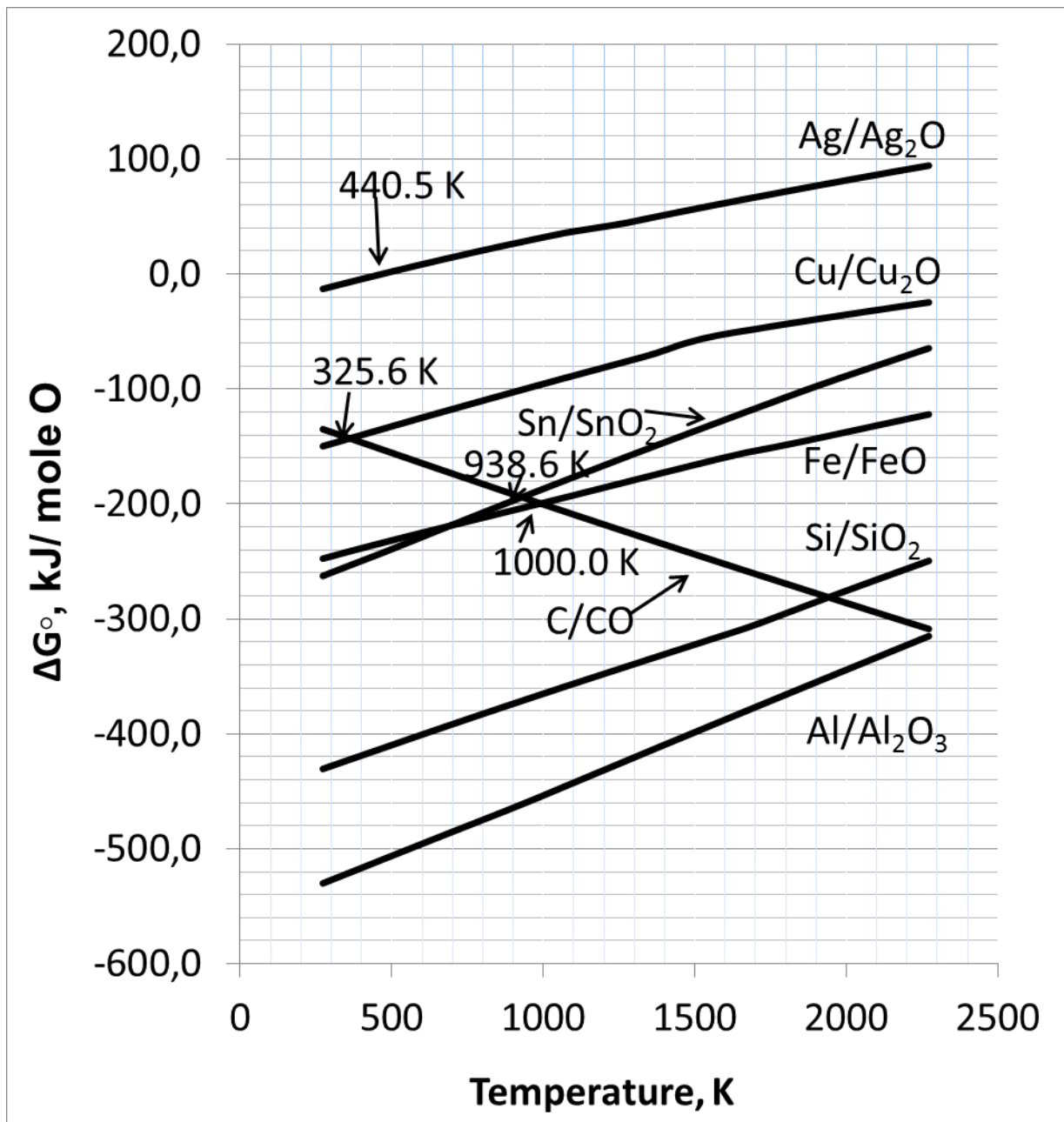
Reaktiviteten av en metall bestäms av dess atomstruktur, eller snarare den elektroniska strukturen hos atomen. För att kunna förstå reaktiviteten på ett enklare sätt kan man referera till Gibbs energidiagram, ofta kallad "Ellingham diagram" (benämnd efter den engelska forskaren Ellingham).

I diagrammet presenteras Gibbs energin för bildning av en förening d.v.s. den energi som frigörs eller absorberas (kallas "entalpi") korrigerad för den oordning i atomer som ändras under föreningsbildning (kallas "entropi"). Detta kan skrivas som formeln nedan:

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ} \quad (\text{ekv.1})$$

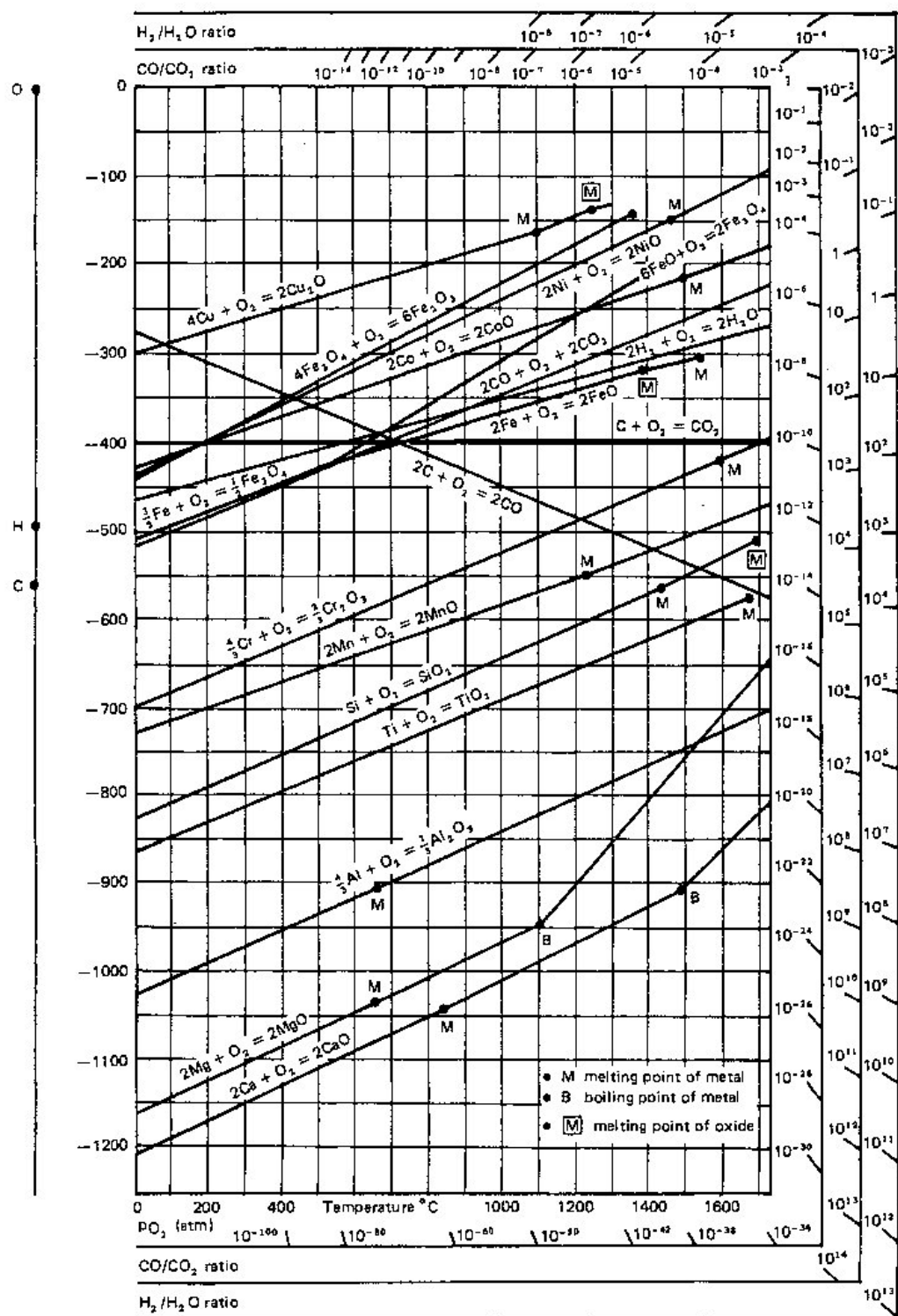
där symbolen "Δ" står för ändringen, G, H, S och T för resp. Gibbs energi, entalpi, entropi och temperatur. Superskripten <sup>°</sup> betyder rena ämnen. Ellingham-diagram för några oxider framgår av Figur 2.

I diagrammet nedan (Figur 2) visar linjerna jämvikten mellan metall och metalloxid. Ovanför linjen förekommer ämnet som metall och under linjen som oxid. Linjerna motsvarande oxider för guld och platinagruppens metaller ligger ovanför nollinjen (finns inte med på bilden) och därmed är dessa oxider instabila. Silver bildar en oxid vid låga temperaturer. Däremot sönderfaller silveroxiden till silvermetall och syrgas vid 440,5 K (ca 167°C) då linjen korsar nollvärdet. Högre upp i diagrammet är metallerna relativt stabila medan oxiderna blir stabilare längre ner. Alla linjer utom den för kol går uppåt med ökande temperatur, vilket betyder att oordningen (entropin) ökar med ökande temperatur i dessa fall. Metaller som ligger längre ner (till exempel aluminium) bildar mycket stabila oxider. Således kan en metall som bildar en stabil oxid avlägsna syret från mindre stabila oxider. Till exempel, kol kan ta bort syret från de flesta oxider om man höjer temperaturen tillräckligt eftersom kollinjen går neråt med ökande temperatur.



**Figur 2:** Ellingham-diagram för några vanliga metaller.

Ur ett historiskt perspektiv belyser Ellingham-diagram hur metallerna upptäcktes av människorna genom åren. Under stenåldern lärde man sig att använda stabila oxider (stenar!) som innehöll aluminiumoxid och kiseloxid. När människan upptäckte elden och dess kraft kunde man lätt reducera kopparoxid till koppar. Eftersom koppar kan lösa in tenn för att bilda en mycket stabil legering, dvs. brons, gick det lätt att samreducera koppar- och tennoxider som ofta förekom på samma ställe. Således utvecklades bronsåldern. När det upptäcktes att man kan öka temperaturen genom att blåsa luft i elden lärde man sig att producera järn från järnoxid med kol som syreupptagare. Man kom även på att viss mängd kol löstes i järnet, vilket ledde till framställning av stål med speciella egenskaper. Det dröjde länge innan man producerade metaller som hade lägre Gibbs-energier än järn tills engelska forskaren Faraday upptäckte elektrolysmetoden. Ett mer omfattande Ellingham-diagram presenteras nedan.



**Figur 3:** Ett utvidgat Ellingham diagram.

I Figur 3 kan man se stabiliteten för olika legeringsämnen i stålet, till exempel krom och mangan. Krom och manganoxider är stabilare än järnoxid. Samtidigt stabiliseras dessa metaller i stålet, vilket beror på dels att det råder attraktionskrafter mellan järn och legeringsämnen och dels att ordningen ökar när metaller bildar en legering. Man kan konstruera liknande Ellingham-diagram för sulfider, klorider, nitrider osv. De är mycket användbara för att få en översikt på relativa stabiliteten hos olika föreningar.



En möjlighet att kunna separera värdefulla metalloxider är att lösa dessa i vattenlösningar, ofta starkt sura. För att få ut metallen måste dessa lösningar vidare behandlas t ex fälla ut metallföreningarna selektivt och sedan reducera dessa till metall. Man kan, i fall av metaller som bildar oxider som är mindre stabil än vatten, separera metallen genom elektrolys varvid metaller deponeras på katoden. För reaktiva metaller däremot måste elektrolysen äga rum i smälta salter.

### **Sammanfattning**

Stabiliteten av oxider ger oss en möjlighet att designa processer för utvinning av metaller och legeringar från lågvärdiga malmer samt återvinning av värdefulla metaller ur metallurgisk avfall. Kolreduktion av oxider är lämplig för ”vanliga” metaller som koppar och järn men processen innebär koldioxidutsläpp. Vattenbaserade elektrolysmetoder kan också vara lämpliga för metaller vars oxider är mindre stabila än vatten under elektrolysförhållandena.

Teorin ovan visar att det blir svårare att utvinna metaller som har en hög oxidationsbenägenhet. För dessa reaktiva metaller är elektrolysmetoden, framförallt med smälta salter, mycket lämplig för utvinning/återvinning aluminium och sällsynta jordartsmetaller. Genom smältsalt-elektrolys kan man även undvika koldioxidutsläpp.

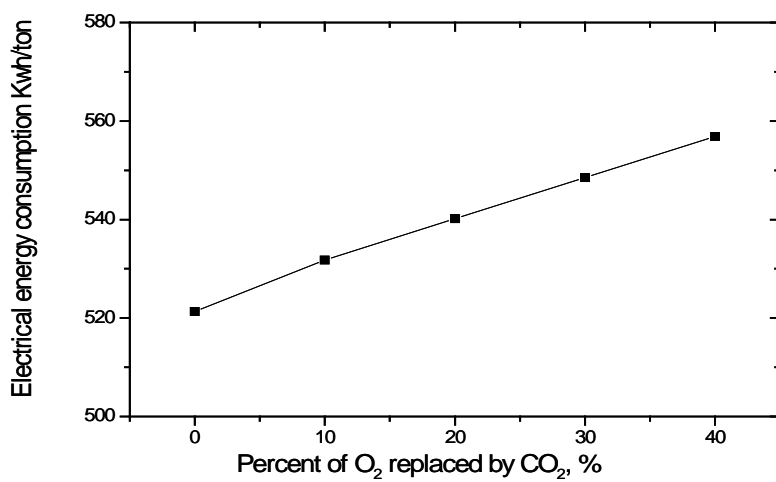
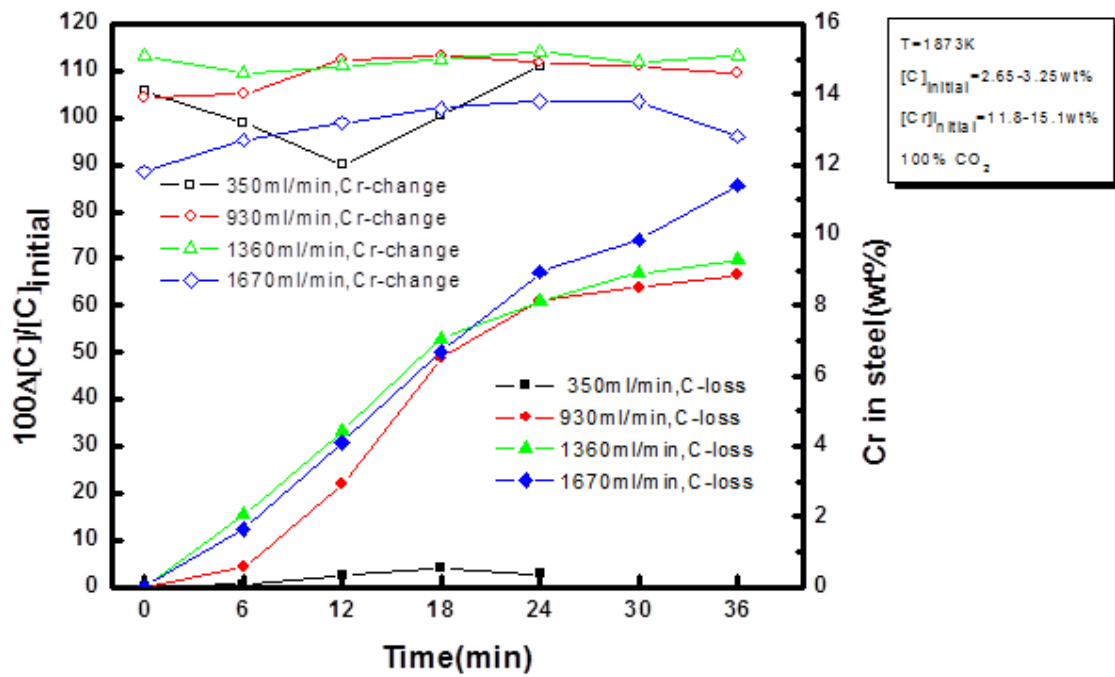
### **3. Exempel på effektiviseringsmetoder vid ståltillverkning för ökat utbyte**

För en bra hushållning av värdefulla metaller vid legeringsframställning, som till exempel av höglegerat stål, bör man optimera processen så att maximal mängd legeringsämne kvarhålls i metallbadet (”Retention”).

Vi tar några exempel för ”Retention” från stålframställningsprocesser. Samma principer gäller även för framställning av andra metaller/legeringar.

#### **3.1 Färskning med koldioxid**

När man färskar kromlegerat stål, dvs. minskar kolhalten, blåser man vanligtvis syrgas blandad med argon genom smältan för att minimera kromförlusten till slaggen. Man har visat<sup>4</sup> att det även går att använda koldioxid som komplement till syrgas-argon blandning med stora miljövinster. Resultaten visar då att krom i stålsmältan oxideras i mindre utsträckning, men att oxidationshastigheten av kol bibehålls. Detta visas i Figur 4.



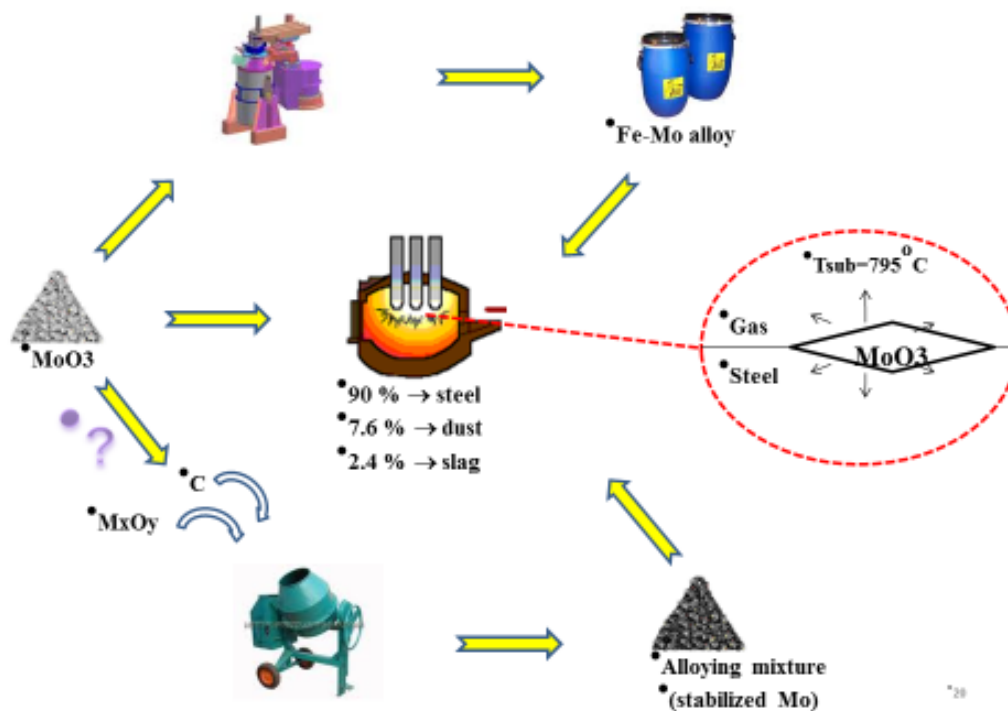
**Figur 5:** Ökande energiförbrukning när man gradvis ersätter syrgas med  $\text{CO}_2$  under färskning av stål.

Det är ekonomiskt fördelaktigt om man kan bibehålla den värdefulla krommetallen i stålet. En ekonomisk kalkyl visar att, för färskning av 61 ton stål med en oxiderande gas innehållande 20 % koldioxid ( $\text{CO}_2$ ), blir den ökande energikostnaden totalt ca 1000 SEK. Genom att ha  $\text{CO}_2$  i färskningsgasen, kan man anta mycket konservativt att ytterligare 1 % av kromet bibehålls i stålet. Detta innebär en besparing på ca 5000 SEK. Totala besparingen blir då 4000 SEK per färskning.

På KTH har man utvecklat ett datorprogram som räknar ut den optimala blandningen av syre, argon och koldioxid som funktion av kolhalten i stålsmältan. För närvarande kombineras detta med befintliga styrmodeller för AOD processen och samoptimeras. Samtidigt pågår ett stort projekt i pilotskala i Kina för användning av koldioxid inom stålframställning, framförallt färskning av stål och även ferrolegeringar.

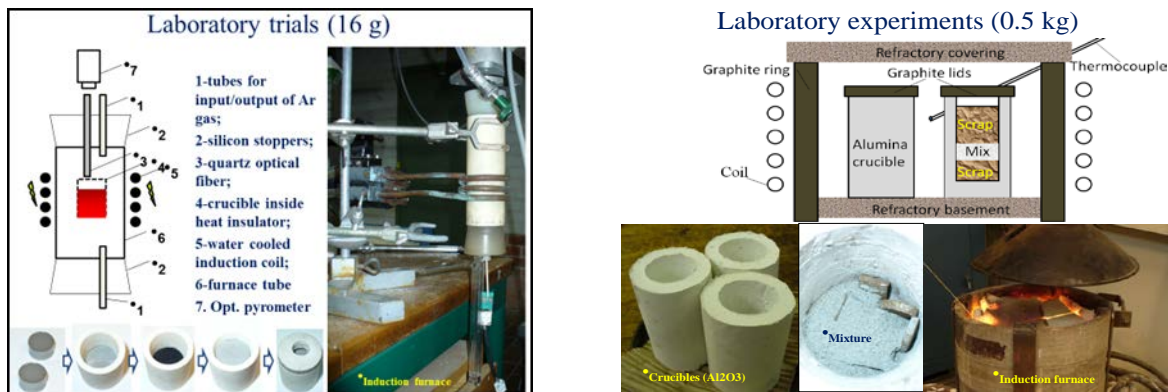
### 3.2 Ny metod för tillsats av molybden till stålbadet

Ett annat exempel är att tillsätta molybden till stålbadet i ljusbågsugn<sup>5</sup> som molybdentrioxid som är en billig råvara istället för den relativt dyra ferromolydenlegeringen. Molybdentrioxid har högt ångtryck över  $800^\circ\text{C}$  och en betydande del av tillsatta oxiden förångas och hamnar i stoftet. Situationen illustreras i Figur 6.



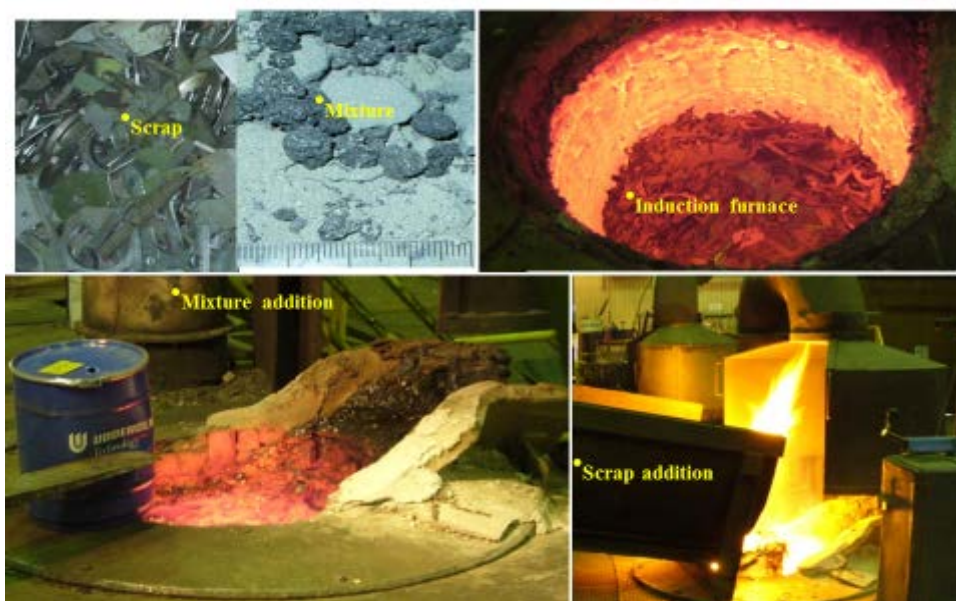
**Figur 6:** Legering av molybden i höglegerat stål.

För att undvika denna förlust, har man utvecklat en ny process på KTH där man stabiliserar molybdenoxidråvaran med järnoxid i form av glödska blandad med kol. Järnmolybdat som är lösligt i stålbadet bildas *in situ* och ger en minskning av  $\text{MoO}_3$  ångtryck. Försök gjordes först i laboratoriet i 16g samt i halvkilosskala, se Figur 7.



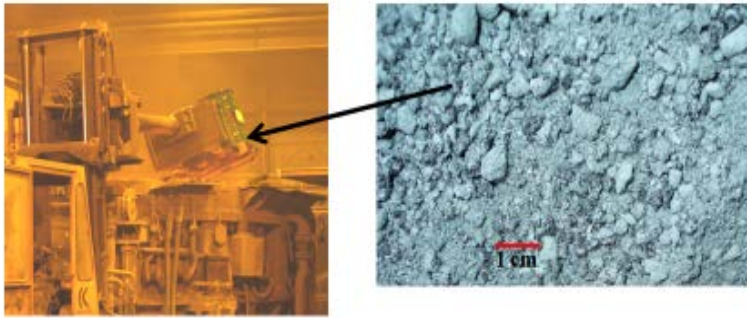
**Figur 7:** Molybden tillsats med oxidråvara i laboratorieskala.

Resultaten var mycket lovande och försök har nu utförts i pilotskala hos Uddeholms AB i Hagfors.



**Figur 8:** Pilotförsök i Uddeholms AB, Hagfors.

Resultaten från pilotförsöken var till och med bättre än resultaten från laborieförsöken. I ett försök att implementera processen i industriskala gjorde man molybdentillsats i en 65 ton ljusbågsugn. Detta illustreras i Figur 9.



•The mixture for Mo alloying

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Al
0,38	1	0,39	0,01	0,004	5,1	0,09	1,44	0,9	0,017

**Figur 9:** Försök i 65 ton skala i Uddeholm AB, Hagfors

Denna processdesign har lett till att 99 % av tillsatt molybden bibehålls i stålbadet med minskade processkostnader, eftersom man då inte först behöver framställa ferromolybden och även erhåller höjt utbyte av det tillsatta molybdenet.

**Tabell II:** Molybdenutbyte vid uppskalning av processen.

Experiment skala	Mo--utbyte, %
	Patenterad MoO <sub>3</sub> blandning
16 g	85-97.4 (96.2)
0.5 kg	97.7-98.2 (98.0)
3 ton induktionsugn	89.2-97.8 (95.8)
65 ton EAF	97.5-99.5 (98.5)

Ekonomiska kalkyler visar att, för att producera 65 ton legerad stål innehållande 2 % molybden, är besparingen med den nya processdesign ca 23 000 SEK per charge.

Med en lämplig processdesign, underbyggd på väl skräddarsydda experiment kan man även spara energi med bibehållen processeffektivitet. Detta kräver ett icke-konventionellt tänkandet. Ett exempel är en process för tillsättning av kalk i ljusbågsugn, utvecklad återigen på KTH.

Direkt tillsättning av molybden i stålet har öppnat en ny processväg som numera benämns ”direkt legering i stålet”. För närvarande försöker MEFOS, med Jernkontorets stöd att legera stålet med krom genom att delvis tillsätta krom som krommalm istället för ferrokrom.

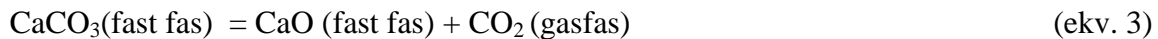
Resultaten som man har fått hitintills är mycket lovande och kan ge upphov till signifikanta energibesparingar eftersom man kan delvis undvika produktion av ferrokrom.

Vanadintillsättning i stålet kan utföras på samma sätt och även delvis mangan. Det blir svårare

med metaller som titan ty de har mycket hög affinitet för syre och kommer att hamna i slaggen.

### 3.3 Direkt användning av kalksten vid ståltillverkning

Det är vanligt vid stålframställning att tillsätta kalk som ”bränd kalk” (CaO) efter man har bränt kalksten (CaCO<sub>3</sub>) vid ca 850°C enligt reaktionen nedan:



Reaktionen ovan är ”endotermisk”, dvs. kräver energi. Man undersökte möjligheterna att tillsätta kalksten direkt i ljusbågsugnen. Med hjälp av försök i både laboratorieskala som industriförsök, underbyggda med omfattande grundläggande mätningar kunde man visa att slaggskummen som bildas i ugnen på grund av den genererade koldioxid gasen genom kalkstens sönderfall är värmeisolerande och mer än väl kompenserar den endotermiska effekten med nettoenergivinst. Tillsats av kalksten kommer även att gynna fosforrening av stålet.

Direkt tillsättning av kalksten i stålugnar har inte fått mycket gehör inom ståltillverkning. Detta kan bero på ett antal faktorer. Kalksten sönderfaller vid ca 850°C. När kalkstenen kommer i kontakt med smält stål vid ca 1600°C, kan det ske en explosion. I länder som har en hög teknologisk utveckling finns lösningar för att klara av denna risk. Dessutom är stålindustrin mycket försiktig eftersom reaktion enligt ekv. 3 är endotermisk och man kan förlora energi om man inte kan kontrollera slagskumningen. Kunskapsnivån för förståelsen av skumbildning i metallurgiska reaktorer och dess stabilisering är otillräcklig idag. Sänkning av fosforhalten i stål med kalksten är inte utforskad.

## 4. Exempel på återvinningsmetoder

Återvinning av värdefulla metaller som förloras till slag och stoft genom ekonomisk gångbara processer (”Recovery”) är ett viktig steg i hushållningen av framförallt strategiska metaller. Vad som återvinns kan utnyttjas i olika framställningsprocesser eller andra tillämpningar.

### 4.1 Vanadinåtervinning enligt MEFOS-metoden

Ett exempel på framgångsrik ny processdesign är återvinning av vanadin genom reduktion LD-slagg under noggrann kontroll av syrepartialtryck varvid värdefull vanadinmetall erhålles i form av en järnlegering, ferrovanadin. Processen utvecklades hos Swerea MEFOS<sup>6</sup>. Ett mellansteg i processen är att införa ett tvåstegsförfarande på LD-processen där man bryter syrgasblåsningen och tappar av det mesta av vanadinet i en vanadinrik LD-slagg som används för reduktionen. Syrgasblåsningen fortsätter sedan och den andra, vanadinfattigare, LD-slaggen som bildas kan återcirkuleras i processerna. För att denna process ska komma till användning i industriell skala behövs investeringar och längre driftsförsök. Lönsamheten och därmed investeringsmöjligheten är direkt beroende av världsmarknads priset på ferrovanadin. Figur 10 visar flytande slag som är källa till utvinning av ferrovanadin.



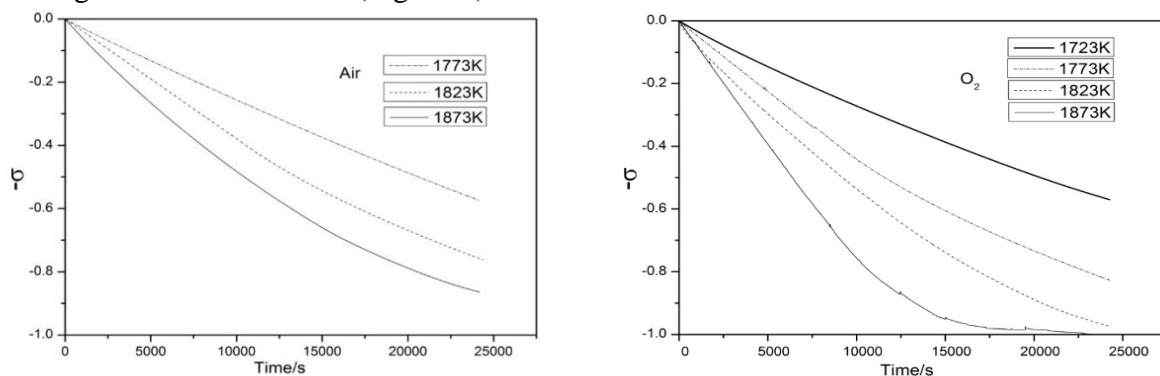
**Figur 10:** Varm slagg är källa till utvinning av ferrovanadin .

#### 4.2 Vanadinåtervinning genom förfäskning av råjärn

Vandinet som enligt avsnitt 4.1 hamnar i LD-slaggen kommer från masugnens råjärn som senare färskas i LD-processen. En alternativ metod för att ta vara på vanadinet i råjärnet är att införa en förfäskning av råjärnet för att göra en vandinrik slagg som är kommersiellt gångbar. Även denna metod kräver investeringar i stålverk och är indirekt beroende av världsmarknadspriset på ferrovanadin.

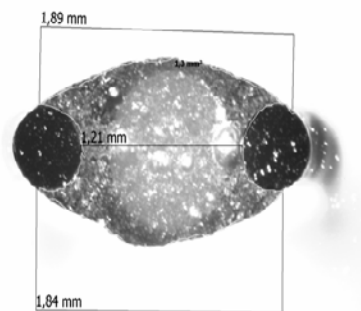
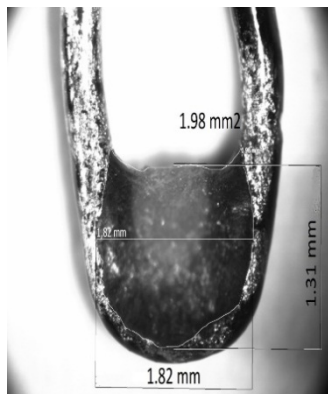
#### 4.3 Vanadinåtervinning med KTH-metoden

Denna metod bygger på upptäckten att vanadin i form av pentoxid kan förångas<sup>7</sup>. Experiment visade att vanadinpentoxid går upp i ångfas i luft. Om man använder ren syrgas som atmosfär förångas vanadin snabbare (Figur 11).



**Figur 11:** Viktsminskning under värmebehandling av vanadinpentoxid.

En special metod, kallas "Single Hot Thermocouple Technique (SHTT)" designades på KTH och användes i samarbete med Bergsakademie i Freiberg, Tyskland för att undersöka om vanadinpentoxid övergår i gasfas även från slagger. Försök gjordes med vanadinhaltiga slagger som tunna filmer i platinaringar och vilka värmebehandlades i luft. Detta visas i Figur 12.



(a)

(b)

**Figur 12:** SHTT experiment med tunn slagggfilm. (a) slagggfilm i platina, (b) tvärsnitt.

Resultaten visade att större delen av vanadinpentoxiden försvinner inom en timme av värmebehandling. Även preliminära experiment med vanadinhaltiga malmer visade på positiva resultat. En ny process för vanadinutvinning ur slagger och även lågradiga malmer<sup>8</sup> har nu utvecklats och pilotförsök planeras.

Vanadin förekommer i magnetitmalmer i Sverige upptill ca 0,1 %. Det förekommer vanadinmalmer även i andra delar av världen med lägre vanadinhalt. Vanligtvis hamnar vanadinet i råjärnet i masugnsprocessen. Under färskning av stålet övergår vanadin som oxid till slaggen. Vid oljeraffinering och förbränning av olja erhålls aska, vilken kan innehålla upp till ca 30 % vanadin. Idag finns inga ekonomiskt realistiska metoder för att återvinna vanadinet för flera viktiga restprodukter från raffinaderier och förbränningsanläggningar av tung olja. Om vanadinpentoxiden kan förångas kan man kondensera den och vanadinet omvandlas genom reduktion till ferrovanadin. Forskning är på gång för att förbättra förångningsprocessen vid lägre temperaturer. Preliminära experiment visar lovande resultat. Experiment visar att även krom från slagger förångas som kromtrioxid under oxiderande förhållanden.

#### 4.4 Järn- och manganåtervinning från slagger

Vissa stålslagger innehåller signifikanta mängder av både järn och mangan. Det är ekonomiskt ofördelaktigt att reducera dessa oxider till metaller. Man har istället lyckats att oxidera slaggen så att den magnetiska oxiden, manganferrit, fälls ut i slaggen. På KTH undersöktes oxidation av slagger för att utvinna värdefulla metaller i oxidform.

Termodynamiska beräkningar bekräftade tankesättet och viktsändringsexperiment visade reaktionshastigheten. Magnetit från järnhaltiga slagger och manganferrit från slagger innehållande både mangan och järn fälldes ut under oxidation. Röntgenundersökning av manganferriten visade att, partikelstorleken hos den utfällda manganferriten varierade beroende på slaggens sammansättning, framförallt kvoten (mängd kalciumoxid/mängd kiseloxid) som kallas slaggbasicitet, se Tabell III.



**Tabell III:** Partikelstorlek för manganferrit som funktion av basicitet och temperatur.

Sample №	Basicity (B) (CaO/SiO <sub>2</sub> )	Experimental temperature, K	Average size, nm (L)*
1	1	1673	124,7
2	1,5	1673	84,4
3	2	1673	25,5

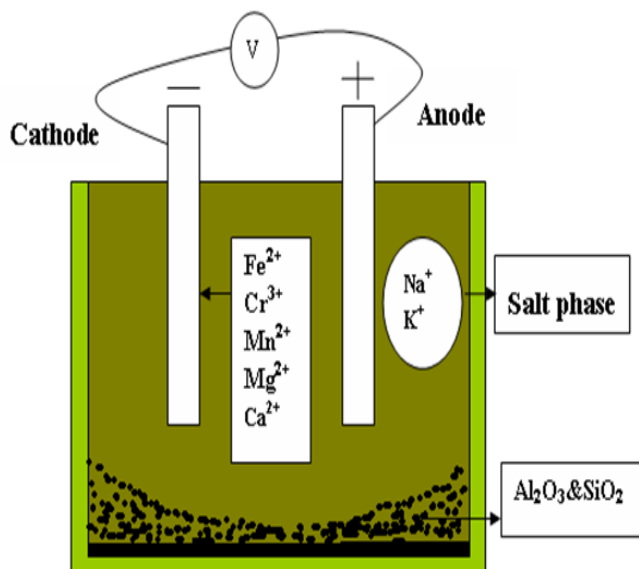
Av tabellen ovan framgår att vid basicitet 2 mangan ferrit från restslagger har en partikelstorlek på 25 nm, en produkt som är mycket värdefull för elektronikindustri. Man kan separera det värdefulla magnetiska materialet i nanoform genom elektromagnetisk separation<sup>8</sup>.

Det krävs mer forskningsinsats för att kunna se möjligheterna att kunna producera värdefulla nanomaterial ur slagger.

#### 4.5 Saltextraktion av metaller<sup>9,10</sup>

En annan metod som utvecklades på KTH är den s.k. ”Saltextraktionsprocessen”<sup>9</sup>, där metaller från slaggen extraheras i ett saltbad och sedan kan dessa metaller utskiljas genom elektrolys. En skiss av metoden för utvinning av metaller ur stålslagger visas i Figur 13. Metallen deponeras på katoden.

Saltbadet innehåller, utöver natriumklorid, kaliumklorid och litiumklorid (man kan undvika litiumklorid av kostnadsskäl men då måste man höja processtemperaturen). Aluminiumklorid används som flussmedel och för att klorera metallerna i slaggen. Metallklorider som bildas löses i saltbadet. Genom att elektrolysera samtidigt kan man få ut metallerna på katoden. Metalldeposition beror på katodspänningen. Man kan således separera metallerna selektivt vid utskiljningen på katoden. Klorgas emitteras vid anoden.



**Figur 13:** Principskiss av saltextraktionsprocess.

Aluminiumklorid som kloreringsmedel har nackdelen att den kan försvinna i ångfas på grund av dess höga ångtryck. En unik metod har utvecklats på KTH för att undvika förlust av aluminiumklorid och bygger på att använda smält aluminium som anod<sup>11</sup>. Aluminiumanoden

reagerar med klorgas som genereras vid anoden och bildar då aluminiumklorid *in situ* som i sin tur löses in i saltbadet och fungera som kloreringsmedel. Fördelen med smält aluminium som anod är att bildning av aluminiumklorid är direkt beroende av elektrolyts strömmen och således täcker precis processbehovet. Metoden har även en miljöfördel eftersom klorgasemission från anoden elimineras. Ekonomiskt är processen mycket fördelaktig ty den använder billiga råvaror och allt som ingår i processen kan återanvändas. Metoden kan användas för nästan alla metaller som förekommer i skrot, slagger, stoft eller malmer med låga metallhalter.

### Återvinning av krom ur stålslagg<sup>12</sup>

Saltextraktionsmetoden har visat sig att vara framgångsrik för att återvinna krom ur stålslagger, som kan innehåller upp till 8 % krom och en del järnoxid. Slaggen tillsätts i krossad form till saltbadet som uppvärms till ca 800°C. Smält aluminium användes som anod och grafit användes som katod. I dessa försök använde man ca 2 V som cellspänning. Man kunde utvinna upp till 90 % av krom som ferrokrom på katoden. Således har man en produkt som är direkt användbar inom stålindustrin. Studierna visar även att det går att få ut mangan ur slagger.

Saltextraktionsmetoden kan även med stor fördel användas vid kopparframställning. Koppar förekommer i naturen ofta som chalcopirit som är en komplex sulfid av koppar och järn. Kopparhalten är ca 1 % i malmen. Malmen krossas och mals och anrikas till slig med hög kopparhalt, vanligtvis genom flotation.

Därefter behandlas sligen i en flamsmältningsugn under oxiderande förhållanden. Huvuddelen av kopparn fångas upp i skärstenen som är sulfid medan järnet hamnar i slaggsfasen som oxid. Sedan separeras skärstenen och denna oxideras för att få bort svavlet. Kopparmetall som är fri från svavel kan innehålla syre och en del andra föroreningar som arsenik. I nästa steg reduceras kopparoxiden till koppar metall gjuts till anodplåtar för elektrolyt i vattenlösning. Den koppar som utfälls på katoden har hög renhet.

I saltextraktionsprocess för kopparframställning<sup>12</sup> kan man direkt ta sligen till saltbadet och elektrolysera den i inert atmosfär. Koppar kommer ut direkt i ett enda steg som ren koppar på anoden. Svavlet kommer ut som svavelånga och kan kondenseras. Således har man betydande vinster inom miljöområdet dels på grund av att svavlet tas vara på i elementärt form (som är mest önskvärt istället för svaveldioxid utsläpp) dels även energibesparingar eftersom antal processteg blir betydligt mindre. De ekonomiska vinsterna är betydande med denna ändring av processdesign.

### Återvinning av bly ur glas<sup>13,14</sup>

Metoden har provats för att utvinna bly ur gamla TV-skärmar som är ett världsproblem i samband med utveckling av de nya platta TV-apparaterna (Figur 14).



**Figur 14:** Ett lager av gamla TV-apparater.

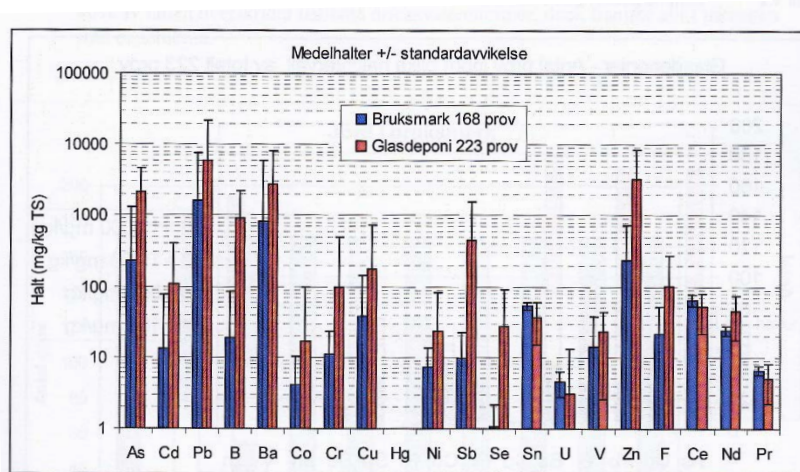
Preliminära resultat<sup>12</sup> visar att Saltextraktionsprocess är mycket effektiv för att utvinna bly från TV-glas.

Ett område där Saltextraktionsprocess kan vara användbar inom miljösanering är att rensa de glasdeponier som finns i Småland. Restprodukter från glastillverkning har deponerats (Fig. 15) under tidigare åren utan hänsyn till de miljöfarliga metaller som fanns i glaset<sup>15</sup>.



**Figur 15:** Glasdeponi i Småland<sup>15</sup>.

Utredarna som undersökte miljöförstörelsen<sup>15</sup> konstaterade att förorenade mark vid deponier för alla glasbruk var ca 77 800 kvm medan förorenade bruksmark var så mycket som 334 500 kvm. Föroreningshalterna enligt denna utredning visas i bild 16.



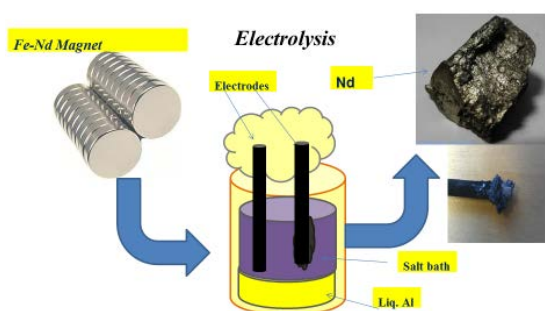
**Figur 16:** Beräknade medelhalter i prover från bruksmark och glasdeponier vid undersökta glasbruk<sup>15</sup>.

Det anses som mycket viktigt att eliminera denna allvarliga miljöfara (bly, arsenik, kadmium...) samtidigt som man ska kunna ta vara på de viktiga metallvärden som deponierna innehåller (vanadin, kobolt, nickel, neodym.). För att kunna nå båda syften bör man välja en process som kan extrahera dessa metaller från glasfasen samt att kunna separera dessa för återanvändning. Saltextraktionsprocessen uppfyller båda dessa krav och är därför mycket lämplig för saneringsarbeten av äldre glas deponier och elektronikskrot.

Saltextraktionsprocess är mycket intressant i detta sammanhang ty processen kan separera alla metaller ur glaskrossen, dessutom bedöms det att denna metod inte lämnar restprodukt som har betydande miljöpåverkan.

### Återvinning av sällsynta jordartsmetaller ur elektronikskrot<sup>16</sup>

Man har använt Saltextraktionsprocess för utvinning av de strategiska sällsynta jordartsmetallerna ur elektronikskrot och även oxidiska malmer<sup>10</sup>. Principen visas i Figur 17.



**Figur 17:** Saltextraktionsprocess för utvinning av neodym och dysprosium från magnetskrot.

Processen har modifierats och smält aluminium användes som anod, som är en världsunik uppfinning. Upp till ca 70 % av neodymmetall kunde man få ut genom saltelektrolys. Man kunde även deponera dysprosium ur gamla magneter. Metoden har fått mycket uppmärksamhet i Kanada och Japan. I Sverige, har en av forskarna som var med och

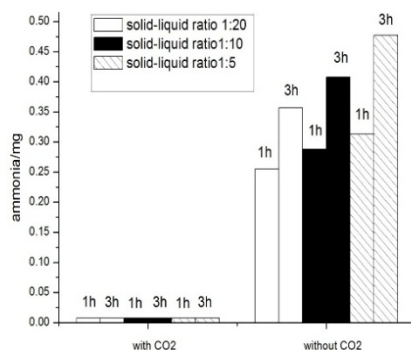
utvecklade processen, Docent Lidong Teng fått priset för den hållbara hushållningen av metaller från Sveriges Konung, Carl den XVI Gustaf (Figur 18).



**Figur 18:** Docent Lidong Teng får priset för hållbar metallhushållning från Sveriges Konung.

### Återvinning av aluminium ur aluminiumdross<sup>17</sup>

Ett annat exempel på ”recovery” och ”recycling” kommer från smältning av sekundär aluminium. När man smälter aluminium skrot tillförs en blandning av natrium- och kaliumklorider på metallytan för att minimera oxidationen av den mycket oxidationsbenägna metallen. Trots detta oxideras en del av aluminium till aluminiumoxid och blandas med saltet i vad som kallas ”Al dross”. Drossen innehåller, utöver salt och aluminiumoxid, aluminium nitrid som bildas genom reaktion av smält aluminium med kväve i luft. Dessutom förekommer metalliskt aluminium som fastnar i saltoxidblandningen (upp till 5 %) och har ett visst ekonomiskt värde. Miljöfaran vid deponering av drossen i öppna markytan är framförallt genom att aluminium nitrid reagerar med regnvattnet och frigör ammoniak. En process för total återvinning av alla föreningar och även aluminiummetallen som ingår i drossen har utvecklats på KTH<sup>17</sup>. Saltet i drossen lakas ut med vatten och den ammoniakgas som utvecklas under lagningsprocessen fångas upp i kolsyra-mättat vatten. Således blir ammoniakutsläpp nästan försumbart (Figur 19).



**Figur 19:** Ammoniakutveckling med och utan kolsyrat vatten.

Denna ammoniumkarbonatlösning kan användas direkt på åkermark som gödningsmedel. Aluminium från restprodukten efter lakningen kan lätt separeras genom gravitationsmetoder välkända inom mineralberedning. Från kvarvarande oxidiska material har man lyckats att producera det värdefulla keramiska materialet AlON.

Quebec i Kanada har visat intresse för användning av KTH:s drossprocess för sanering av en deponi av dross innehållande ca 300 000 ton material som ska behandlas för total recycling. Det konstateras att enbart i Nordamerika, kan det finnas uppemot 15-20 sådana deponier. Tyskland och Norge anses ha stora deponier av aluminiumdross. Potentialen för processen för sanering av dessa deponier och utveckla processer för värdefulla produkter är mycket stor.

## 5. Slutsatser

Hushållning av metaller är alltmer viktig i ett samhälle där primära råvaror håller på att bli en bristvara. Dessutom ökar energikrav och minskad miljöbelastning. Man borde sikta på lämplig processdesign dels för att utnyttja råvaror av mindre metallinnehåll samt att kunna återvinna metaller ur slagger och andra restprodukter.

Metallernas oxidationsbenägenhet gör att en del av tillsatta legeringsmetall hamnar i slagger eller i stoft (förångning kombinerad med oxidation). I nuvarande rapport beskrivs de teoretiska förutsättningar som man måste iaktta för att kunna förstå metallframställningsreaktionerna bättre och därmed minska metallförlusterna. Ändringen i Gibbs energi för oxidbildning har illustrerats genom Ellingham-diagram för oxider. Det är viktigt att även kinetiska samt värme/materietransport relaterade aspekter beaktas.

Några exempel på hur man kan minimera förlust av legeringsmetaller vid stålframställning har presenterats. När det gäller återvinning av värdefulla metaller ur slagger, har några nya processer presenterats, bl.a. Swerea MEFOS processen för vanadin, KTH processer för vanadin, mangan och järn samt saltextraktionsprocessen. Total recycling av restprodukter från aluminiumomsmältning, utvecklad på KTH har beskrivits i rapporten.

Rapporten lägger emfas på en sund hushållning och återvinning av metaller som kommer att ha ett strategiskt värde i framtiden.

Vi har uppmärksammat att de olika tekniker för ökat utbyte och återvinning av metaller som har redovisats i denna rapport har rönt stort intresse internationellt. Däremot verkar intresset i Sverige vara tämligen avvaktande trots att den grundläggande forskningen kunnat visa på stora potentialer. Vi anser att Sverige kan utveckla de tekniker som presenteras i denna rapport till kommersiella tillämpningar. Det som behövs är en framsynthet och långsiktning satsning på tillämpad forskning utveckling av demonstrationsanläggningar.

## REFERENSER

1. "Extraction of non-ferrous metals", H.S.Ray, R.Sridhar and K.P. Abraham, Affiliated East-West Press Pvt. LTD. Bangalore, 1990. ISBN: 81-85095-63-9.
2. A. Hurlich, Metal Progr. 1977, vol.111, p. 45.
3. "Treatise on Process Metallurgy", vol. 1, Process Fundamentals, Ed. S. Seetharaman, Elsevier, Oxford, 2014, ISBN Nr: 978-0-08-096986-2.
4. H. J. Wang, "Investigations on the Oxidation of Iron-chromium and Iron-Vanadium Molten Alloys" Doktorsavhandling, Kungliga tekniska högskolan, 2010, ISBN nr. 978-91-7415-638-6.
5. A. Chychko, "Energy and Environmental Optimization of some Aspects of EAF Practice with Novel Process Solutions", Doktorsavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan, 2010, ISBN Nr. 978-91-7415-721-5.
6. G. Ye, Jernkontoret, Stålkretsloppet 2004-2012. Scientific report 2004-2012, sid 85-101.
7. S. Seetharaman, T. Shyrokykh, C. Shröder and P. R. Sheller, "Vaporization Studies from Slag Surfaces using a Thin Film Technique", Metall. Mater. Trans., 2013, vol. 44B, p. 783.
8. "Production of Nanosized Ferrite" Patent nr. WO 2012/033454 A1, 2012, Jernkontoret, Stockholm.
9. "Highlights of Salt extraction Process", A. Abbasalizadeh, S. Seetharaman, L- D. Teng, S. Sridhar and M. Barati, J. Met. 2013, vol. 65, p. 1552.
10. "Process for Chlorinating Recoverable Metals", US patent, US 8470 271 B2, 2013, Salt Extraction AB, Stockholm.
11. "A Process for recovering metals and an electrolytic apparatus for performing the process", Jernkontorets patent, Ansökningsnr. 12825764-9, 2011.
12. Xinlei Ge, "Extraction of Metal Values", Doktorsavhandling, Kungliga tekniska högskolan, 2009. ISBN 978-91-7415-346-0.
13. H. Tanaka, "Extraction of Lead from TV glass", Examensarbete, Kungliga tekniska högskolan 2012.
14. "Recovery of Lead and Indium from Glass, primarily from Electronic waste material", Jernkontorets patent, Ansökningsnr. 14238738, 2014.
15. L. Höglund, G. Fanger, H. Yesilova, "Slutrapport – Glasbruksprojektet 2006-2007".
16. "Recovery of Rare Earth Metals", Jernkontorets patent, PCT Online Filing Version 3.5.000.235 MT/FOP 20020701/0.20.5.20, 2012.
17. P. Li, "Innovative Process Solutions toward Recycling of Salt Cake from Secondary Aluminium Smelting", Doktorsavhandling, Kungliga tekniska högskolan, 2012, ISBN nr. 978-91-7501-440-1.





# Hushållning av metaller genom lättviktskonstruktioner i avancerade stål

Utförare: Professor Jan-Olof Sperle

## Sammanfattning

EU har ett stort importbehov av metaller som är nödvändiga för att möta samhällsutmaningarna. Länderna inom EU använder 25-30 procent av den globala produktionen av järnmalm medan den egna produktionen enbart utgör 3 procent. Det betyder att alla möjligheter till besparingar av metaller måste tas till vara. En möjlighet är då att använda avancerade höghållfasta stål för att göra konstruktioner lättare och därmed minska behovet av metaller för en viss funktion.

Nya typer av avancerade stål utvecklas kontinuerligt och speciellt har utvecklingen under de senaste decennierna inneburit att helt nya stålkoncept sett dagens ljus. En utveckling som fortsätter i och med att nya stål hela tiden utvecklas. Nya avancerade stål karakteriseras av högre hållfasthet och slitstyrka, bättre formbarhet, svetsbarhet, seghet samt bättre korrosionsbeständighet och högtemperaturprestanda än dess föregångare. Dessa egenskaper utnyttjas på ett sådant sätt att konstruktioner görs starkare, lättare, effektivare och/eller beständigare.

Ökar man utnyttjandet av avancerade stål i konstruktioner och produkter, är effektiviseringspotentialen stor ur ett samhällsperspektiv. Tillsammans bidrar detta till ett samhälle med låg energianvändning och optimalt resursutnyttjande och därmed ökad hushållning av metaller.

I rapporten belyses detta med ett antal exempel där avancerade stål ersätter konventionella stål och där minskad användning av metaller och legeringar redovisas.

I en avslutande analys belyses effekten av att ersätta konventionellt stål med avancerat höghållfast stål motsvarande svensk tillverkningsvolym av dessa stål och exportera detta till bland annat EU.

Det innebär totalt cirka 1300 kton och vi antar att hälften av denna volym tillförs fordonssegmentet och resten till fasta så kallade passiva konstruktioner. Volymen 650 kton motsvarar ca 2 % av stålet i i den europeiska fordonsflottan.

Analys har gjorts av metallbesparingar inklusive legeringar men också miljöbesparingar och den ekonomiska nyttan av att ersätta konventionella stål med avancerade stål. Resultaten visar årliga metallbesparingar på 464 000 ton, minskad användning av energiresurser med 11,1 TWh/år och 2,7 miljoner ton/år lägre koldioxidutsläpp, vilket tillsammans motsvarar ett samhällsekonomiskt värde på 11,7 miljarder kr per år.

Användningen av högpresterande stål inom transportsektorn pågår i ökande omfattning, men volymmässigt finns också stor potential för lättviktskonstruktioner inom bygg- och anläggningssektorn där användningen av avancerade stål har gått mycket långsamt dels beroende på konservativ konstruktionsteknik men också på att anpassningen av standards till avancerade stål tar lång tid.

Slutsatsen är att utveckling och ökad användning av avancerade starkare och beständigare stålsorter är en nyckel till en effektivare metallanvändning och minskad miljöpåverkan samtidigt som det ger samhällsekonomiska vinster. Den möjlighet som finns att spara metaller genom att använda mer höpresterande stål är förbisett i samhällsdebatten. Innebörden är att man inte tar till vara en möjlighet som är väl så kraftfull som "återvinning och återanvändning av material".

## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Innehållsförteckning.....	2
1 Inledning.....	3
2 Utveckling av avancerade stål.....	3
2.1 Höghållfasta kolstål och slitstål.....	3
2.2 Rostfria höghållfasta stål.....	4
2.3 Synpunkter på framtida stålutveckling.....	5
3 Resursbesparing genom viktminskning.....	5
4 Exempel på konstruktioner där resurs- och viktbesparingar nåtts genom användning av högpresterande stål.....	7
4.1 Exempel: Konstruktioner i höghållfast tunnplåt, kolstål.....	7
4.2 Exempel: Konstruktioner i höghållfast grovplåt och slitstål, kolstål.....	7
4.3 Exempel: Tank i Rostfritt Duplext stål.....	8
4.4 Exempel: Lättare och billigare Arena.....	8
4.5 Exempel: Vägfordon.....	9
5 Besparingar av metaller uppdelat på olika legeringselement - några exempel.....	10
6 Totala besparingar vid svensk export.....	11
7 Slutsats.....	12
8 Referenser.....	12
9 Appendix 1.....	13
9.1 Stålsorter i varmvalsad, kallvalsad och metalliserad tunnplåt i SSAB Luleå – Borlänge systemet.....	13
9.2 Stålsorter i varmvalsad grovplåt från SSAB Oxelösund.....	15
9.3 Stålsorter i Rostfritt stål.....	15

# 1 Inledning

Nya typer av avancerade stål utvecklas kontinuerligt och speciellt har utvecklingen under de senaste decennierna inneburit att helt nya stålkoncept sett dagens ljus. Den snabba utvecklingen kan exemplifieras med att 75 % av stålet i dagens nya bilar inte fanns för tio år sedan. En utveckling som fortsätter i och med att nya stål utvecklas hela tiden. Nya avancerade stål karakteriseras av högre hållfasthet och slitstyrka, bättre formbarhet, svetsbarhet, seghet samt bättre korrosionsbeständighet och högtemperaturprestanda än dess föregångare. I vissa fall har dessa egenskaper, i motsats till vad som tidigare var möjligt kunnat kombineras i en och samma stålprodukt samtidigt som det i vissa fall utvecklas anpassade stål för speciella användningsområden.

Generellt pågår en utveckling mot så kallad "lean alloying" som innebär att högre hållfasthet kan nås genom snabbkylning med vatten snarare än att legera upp materialet. Ett exempel på detta är DP-stål (DP=Dual Phase) som tillverkas genom kontinuerlig glödning och härdning. Visserligen kan en ökad mikrolegering behöva ske för att öka härdbarheten, men det handlar om mycket små mängder av legeringmetaller som t.ex. tusendels procent av bor.

Det mest intressanta när det gäller hushållning av metaller är den totala resursbesparing som kan göras genom att använda dessa stål till lättare och mer hållbara konstruktioner.

Avancerade stål t.ex. höghållfasta sådana, eller nötnings-, korrosions- och värmebeständiga stål är resurseffektiva ur ett livscykelperspektiv. En stor del av effektiviteten bygger på att stålets avancerade egenskaper utnyttjas på ett sådant sätt att konstruktioner görs starkare, lättare, effektivare och/eller beständigare.

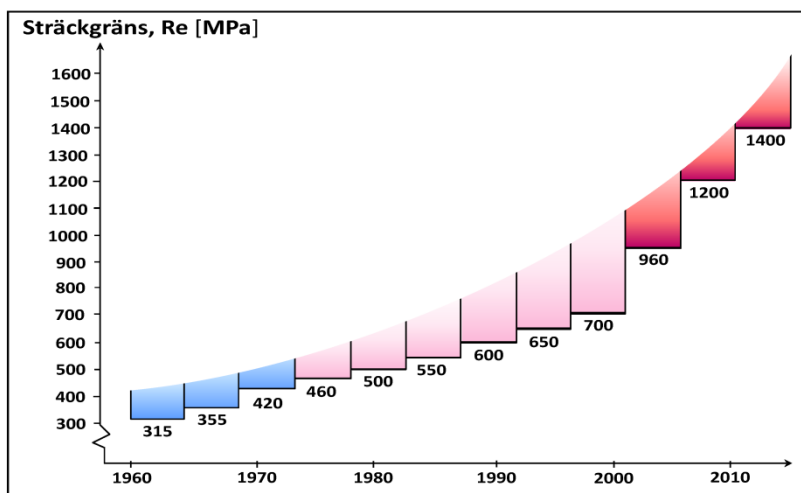
Kan man öka utnyttjandet av avancerade stål i konstruktioner och produkter, är effektiviseringspotentialen stor ur ett samhällsperspektiv. Tillsammans bidrar detta till ett samhälle med låg energianvändning och optimalt resursutnyttjande och därmed ökad hushållning av metaller.

## 2 Utveckling av avancerade stål

### 2.1 Höghållfasta kolstål och slitstål

Utveckling av nya stålkoncept, utveckling av befintlig ståltillverkningsteknik och nyinvesteringar har möjliggjort utveckling av stålprodukter med allt lägre legeringsinnehåll för en given hållfasthet. När det gäller kolstålskoncept leder t.ex. mikrolegering till ökad hållfasthet hos stålet genom att små mängder av niob, vanadin och titan som tillsammans med kol och kväve bildar hårda karbider och nitrider. Investering i kontinuerlig härdningsteknik har också öppnat för s.k. kylda stål, där man populärt uttryckt använder vatten som legeringselement. En möjlighet som följt av investeringar i kontinuerlig glödningsteknik för kallvalsad tunnplåt i kolstål är att stålen kan göras relativt mjuka och formbara i leveranstillstånd medan de får sin slutliga höga hållfasthet genom deformations- och varmhårdnande vid tillverkning av konstruktionsdetaljerna.

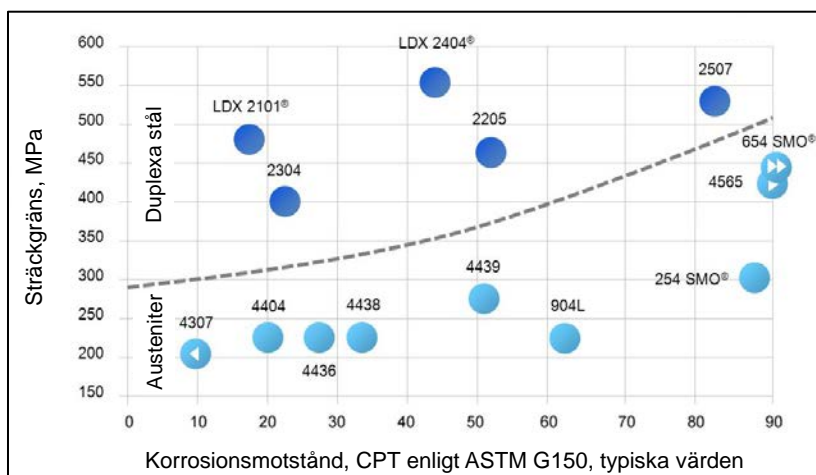
Genom att använda kontinuerlig glödning och härdning av tunnplåt produceras idag s.k. tvåfasstål med olika andelar ferrit och martensit och helt martensitiska stål. Dessa stål karakteriseras förutom av lågt legeringsinnehåll av hög hållfasthet och mycket god formbarhet och svetsbarhet. Stålen som produceras på detta sätt är 4-5 ggr starkare än konventionella stål och används i ökande omfattning inom bilindustrin, inte minst i krockskyddsdetaljer. Figur 2.1 visar hur hållfastheten, uttryckt som sträckgräns hos varmvalsat kolstål, har utvecklats det senaste halvsekle.



**Figur 2.1.** Utveckling av varmvalsade kolståls hållfasthet under det senaste halvsekle

## 2.2 Rostfria höghållfasta stål

Utvecklingen av höghållfasta rostfria konstruktionsstål fick ett genombrott då duplexa stål kunde framställas i stor skala. Dessa stål består på samma sätt som de tvåfasiga kolstålen av två faser, i detta fall austenit och ferrit. Hållfastheten hos de duplexa stålen är drygt dubbelt så hög som hos konventionella s.k. diskbänksstål (4301, 4307), som har en sträckgräns på ca 200 MPa, Figur 2.2.



**Figur 2.2.** Duplexa höghållfasta rostfria stål kompletterar de austenitiska stålen ur korrosionssynpunkt men har högre hållfasthet.

Det intressanta är att de duplexa stålet LDX 2101 innehåller mindre mängd legeringselement, speciellt nickel, än ett konventionellt rostfritt stål som 4301 och 4307 med mindre än halva hållfastheten. Detta gör att en viktbesparing för rostfritt stål kan ge besparingar av legeringar utöver de som fås av minskad vikt.

## 2.3 Synpunkter på framtida utveckling av kolstål

Utvecklingen av kolstål med ännu högre hållfasthet och beständighet kommer att fortsätta. Bortsett från material som i sig är en speciallegering kommer troligen inte tillverkningsmekanismer som bygger på att legera stålet för att nå högre hållfasthet vara fokus i framtiden. Sannolikt kommer det att handla om att få högre hållfasthet genom att ”legera med vatten” och högre materialutnyttjande på många olika sätt. Det som kommer att utvecklas parallellt är att flera funktioner byggs in i morgondagens material samtidigt som materialtillverkarna integrerar framåt och levererar t.ex. färdigformade, färdigfogade och ytbehandlade konstruktionsdetaljer. Materialleverantörernas grepp om värdekedjan ända fram till kund både när det gäller hårdvara och mjukvara kommer att bli ännu mer påtagligt i framtiden. Man kommer att bli starka så kallade ”solution providers”.

Ser man på behovet av legeringsmetaller för kolstål i framtiden bedöms inte ökningen bli så stor på grund av att helt nya stålsorter utvecklas. Ökningar av användningen av höpresterande och framför allt mer beständiga stål kan dock medföra att volymen legeringar ökar.

## 3 Resursbesparing genom viktminskning

En indikativ bild av hur mycket vikt som kan sparas på grund av att göra konstruktioner lättare framgår av Figur 3.1. Uppgifterna bygger på generella resultat från Forskningsprogrammet Stålkretsloppet [1]. Siffrorna är baserade på en ungefärlig fördubbling av hållfastheten hos stålet.

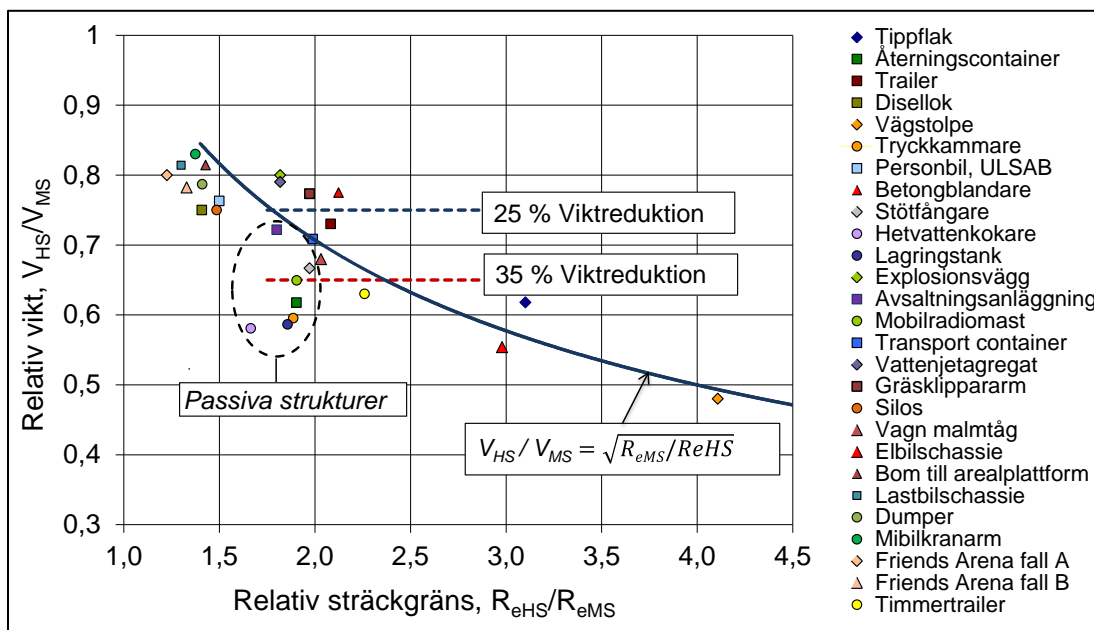
	Aktiva konstruktioner	Passiva konstruktioner	
	Fordonssektorn	Cisterner, hyllor, möbler m.m.	Byggsektorn
Konventionellt stål	1300 kg	1500 kg	1250 kg
Höghållfasta stål	1000 kg	1000 kg	1000 kg
Viktreduktion = Resurseffektivisering	300 kg/ton	500 kg/ton	250 kg/ton



**Figur 3.1.** Möjlig viktminskning inom några sektorer

Användningen av höpresterande stål inom transportsektorn pågår i ökande omfattning, men volymmässigt finns också stor potential för lättviktskonstruktioner inom bygg- och anläggningssektorn där användningen av avancerade stål har gått mycket långsamt dels beroende på konservativ konstruktionsteknik men också på att anpassningen av standards till avancerade stål går långsamt.

Mer detaljerade resultat från olika verkliga praktikfall visas i Figur 3.2 nedan. Där har den relativa vikten avsatts mot den relativa hållfasthetsökningen hos stålet före och efter uppgradering till höghållfast stål. Där framgår också att det är möjligt att nå större viktminskning för en viss hållfastökning för så kallade passiva konstruktioner än för aktiva konstruktioner, vanligen fordon.



**Figur 3.2.** Samband mellan relativ viktminskning och relativ sträckgränsökning, verkliga resultat.  $V_{MS}$  och  $R_{eMS}$  = vikt respektive sträckgräns hos konstruktion i konventionellt stål,  $V_{HS}$  och  $R_{eHS}$  = vikt respektive sträckgräns hos konstruktion i höghållfast stål [1]

Resultatet visar att ett rimligt antagande är att en fördubbling av hållfastheten hos stålet ger en 25-30 procentig viktminskning för aktiva konstruktioner och 35-40 procentig viktminskning för passiva konstruktioner.

Det finns alltså en stor potential att minska vikt i många konstruktioner genom att använda avancerade högpresterande stål, men det finns också hinder och utmaningar inte bara tekniska utan även när det gäller attityder. De är bland annat (i prioriteringsordning):

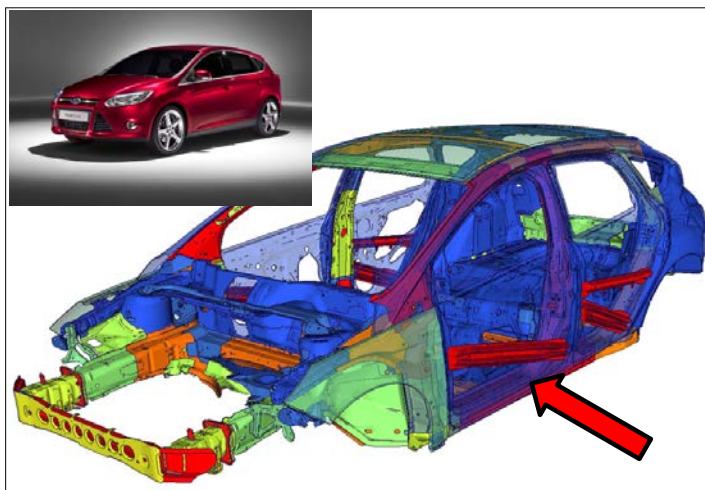
- De ekonomiska och miljömässiga konkurrensfördelarna är inte kända
- Erfarenhet och kunskap saknas
- Högskoleutbildningen ligger efter utvecklingen i industrin
- Konstruktörer och produktionstekniker är för konservativa
- "Det fungerar ju utmärkt idag med dagens material!"
- Eftersläpning i utvecklingen av standarder fördröjer material- och produktutveckling
- Stora investeringar i produktion är gjorda för en specifik produkt i ett speciellt material

För att kunna utnyttja de avancerade stålen optimalt krävs att både konstruktions- och tillverkningsteknik anpassas till de nya stålen. En av de större utmaningarna framöver är att förbättra svetskvaliteteten i produktionen. En stor fråga är också i vilken mån utbildningen kan utvecklas i samma takt som den industriella utvecklingen. På detta område är eftersläpningen idag oroväckande stor.

## 4 Exempel på konstruktioner där resurs- och viktbesparingar nåtts genom användning av höghållfasta stål

### 4.1 Exempel: Konstruktioner i höghållfast tunnplåt, kolstål

Figur 4.1 ger exempel på hur det martensitiska höghållfasta stålet Docol 1400 används i tröskelbalken i Ford Focus för att öka krocksäkerhet och minska vikt. Figur 4.2 ger ett annat exempel på hur den goda formbarheten hos Docol 1400 gjort det möjligt att tillverka ett fjädrande svankstöd till bilstolar i ett enda stycke istället för att nita ihop konstruktionen av flera detaljer i legerat härdat fjäderstål. Detta gav ett starkare svankstöd med halva vikten, 20 ggr högre produktivitet vid tillverkning och en betydande resurs- och energibesparing till lägre totalkostnad.



**Figur 4.1.** Tröskelbalk till Ford Focus i Docol 1400 för högre krocksäkerhet och lägre vikt, SSAB [2]



**Figur 4.2.** Svankstöd till bilstol i Docol 1400 (till vänster) ger halva vikten och 20 gånger högre produktivitet, SSAB [2]

### 4.2 Exempel: Konstruktioner i höghållfast grovplåt och slitstål, kolstål

Kyllda höghållfasta konstruktionsstål i grövre dimensioner som tillverkats genom accelererad kylning eller seghärdning finns i hållfastheter från 500 till 1300 MPa. De högsta hållfasthetsnivåerna används företrädesvis i olika typer av lyftkranar, en sektor som tidigt började använda höghållfasta stål. Fördelarna med det avancerade höghållfasta stålet är högre lyftvikt, lägre totalvikt och färre hjulaxlar som tillsammans resulterar i ökad energieffektivitet. Utvecklingen av höghållfast grovplåt har för krantillverkare inneburit en enorm utveckling av lastkapaciteten. Den har ökat med inte mindre än en faktor tio de senaste 25 åren. Denna utveckling har varit möjlig genom innovativa konstruktions- och tillverkningsmässiga anpassningar av tvärsnittssektionen hos kranarmen. Allt för att möjliggöra fullt utnyttjande av de avancerade höghållfasta stålen utan att sektionen bucklar.

Inom gruppen kyllda kolstål utvecklas också olika typer av nötningsbeständiga stål. Idag är det möjligt att framställa dessa slitstål med hårdheter upp till 600 Brinell vilka ökar livslängden vid nötning med upp till 8 gånger jämfört med ordinära stål. Genom optimering av legeringsinnehåll och materialstruktur kan dessa stål ges sådana formnings- och svetssegenskaper att stålen, trots sin höga hårdhet, kan användas som konstruktionsstål. På så sätt kombineras de två funktionerna bärighet och slitstyrka i samma material istället för att svetsa på speciella slitplåtar på ett mjukare konstruktionsstål. Figur 4.3 visar ett exempel där ett slitstål som är fem gånger hårdare och starkare än konventionellt stål möjliggör tillverkning av lätta och slitstarka dumperflak. Genom att arbeta med förstyrande bockning vid utformning av konstruktionen kan den lastbärande

funktionen och slitstyrkefunktionen integreras och en betydande vikts- och energiminskning nås. Hardox 450 har en sträckgräns på 1300 MPa och ersätter Weldox 700 med sträckgräns 700 MPa.



**Figur 4.3.** Hardox 450 ersätter Weldox 700 i flakkonstruktion. Viktsreduktion: 6000 kg till 2885 kg (52 %), Kostnadsreduktion: 47 %. (SSAB)

#### 4.3 Exempel: Tank i Rostfritt Duplext stål

Inom Forskningsprogrammet Stålkretsloppet (1) har en fallstudie utförts på en tank för marmorslurry, Figur 4.4. Ett duplext stål LDX 2101 med 480 MPa i sträckgräns har här ersatt ett konventionellt stål 4301. Tankens vikt kunde då minskas från 57,4 ton till 38,3 ton dvs. med 33 %.



**Figur 4.4.** Tank i duplext rostfritt stål LDX 2101 ger 33 % lägre vikt än konventionellt stål, Outokumpu

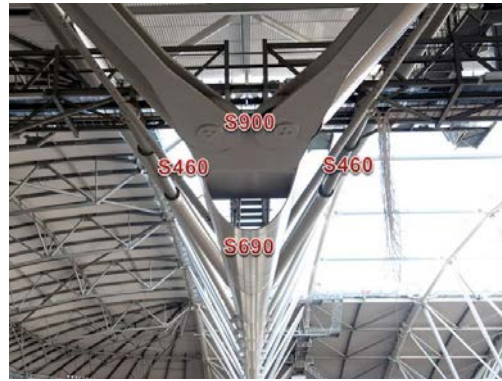
#### 4.4 Exempel: Lättare och billigare Arena

Miljöfördelarna för fasta konstruktioner blir inte lika stor i absoluta tal som i aktiva fordonskonstruktioner, men de relativa besparingarna kan bli betydande. Ett exempel som visar detta är resultatet av en livscykelanalys som gjorts av Friends Arena i Solna. Genom att använda höghållfast stål i delar av takkonstruktionen har vikten kunnat minska med 584 ton till 4 000 ton och kostnaden kunde samtidigt reduceras med 23 miljoner kronor. Se Figur 4.5.





**Figur 4.5.a.** Takkonstruktionen i Friends Arena är delvis tillverkad i höghållfast stål och vikten har kunnat minska med 584 ton till 4 000 ton.



**Figur 4.5.b.** Höghållfast stål S460, S690 till S900 i takstolarna. Avancerat höghållfast stål i dragna konstruktionsdelar ger högt materialutnyttjande.

#### 4.5 Exempel: Vägfordon

Stålkretsloppet har även värderat olika scenarier inom vägfordonssektorn där avancerade höghållfasta stål ersatt konventionella stål. Genom att använda starkare och beständigare stål i denna sektor är det möjligt att spara ca 25 % av vikten i uppgraderade delar. Sänkt vikt leder förutom till hushållning med naturresurser också till mindre miljöpåverkan i alla led. Används de nya stålsorterna för att utveckla till exempel lättare fordon sparas bränsle under hela användningstiden och effekten ökar ju längre fordonen rullar.

Om till exempel 1 miljon ton av dagens avancerade stål ersätter 1,33 miljoner ton traditionella stål (25 % viktminskning) inom fordonssektorn blir effekten betydande. Tabell 4.1 visar att den minskade mängden stål inklusive råvaror innebär att användningen av energi och utsläppen av koldioxid vid tillverkningen av stålet svarar för 10 procent av besparingen i miljöpåverkan. Cirka 90 procent av miljövinsten uppkommer genom minskad bränsleförbrukning under användning.



Process/Miljö	Mängd kton	Koldioxid, kton	Energi GWh
Råvaror och legeringar, kton	-30	-170	-850
Varav legeringar, kton	+1,2	-30	-130
Ståltillverkning, kton	-300	-500	-2150
Fordonsanvändning (tusentals liter bränsle)	2430	-7300	-28000
Summa		-8000	-31000

**Tabell 4.1.** Potential för minskad (-) mängd råvaror och miljöbelastning om en miljon ton avancerat höghållfast stål ersätter 1,33 miljoner ton konventionellt stål i Europas fordonsflotta, livscykelvärderad.

Totalt sett innebär minskad energianvändning under fordonens livslängd en sammantagen förbättring på 31 000 GWh energi och 8 000 kton koldioxid. Det är mer än hela svenska stålindustrins årliga användning av energi och utsläpp av koldioxid.

## 5 Besparingar av metaller uppdelat på olika legeringselement - några exempel

Genom att använda resultat ifrån Forskningsprogrammet Stålkretsloppet har metall/legeringsinnehåll i olika stålsorter kunnat beräknas. Resultatet och beräkningen redovisas i detalj i Appendix 1. En sammanställning av hur metallinnehållet ändras för några uppgraderingsexempel ges i Tabell 5.1 nedan.

Det kan noteras att för att nå de stora besparingar av stål som fås för fordonsflottan i enligt figur 5 måste en liten mängd legeringar tillsättas för att nå den högre hållfastheten hos de härdade tunnplåtprodukterna. Men eftersom konventionella stål har mycket litet legeringsinnehåll blir den relativa ökningen av legeringar större än vad som kan kompenseras med lägre vikt. Men det handlar absolut sett om mycket små legeringsmängder. För grovplåtprodukter där slitstål ersätter konstruktionsstål fås t.o.m. lägre legeringsinnehåll per ton stål.

Exempel	Del av Fordonsflottan i SE och EU	Flak dumperlastbil 2000 st	Rostfri tank 100 tankar
Vikt före uppgradering ton	1 333 000	12 000	5 740
Viktminskning	25%	52%	33%
Legeringselement	Besparing (-) om 1 Mton AHSS ersätter 1,333 Mton konv. Stål, ton	Besparing (-) ton	Besparing (-) ton
Al	-438	-7	96
FeTi (approx)	150	-	-
Mn & FeMn	3 100	-109	133
SiMn	0	-	63
FeSi	0	-	-169
FeSiMn (approx)	-221	-	-
FeSi	772	-23	-
FeCr	-3 531	-8	-
FeCr & Cr ore	0	-	-91
FeV	0	0	-
Ni-oxide, Ni & FeNi	0	0	-196
FeMo	1 092	-30	3
Annat	250	1	10
<b>Summa legeringar</b>	<b>1 174</b>	<b>-176</b>	<b>-152</b>
<b>Fe</b>	<b>-329 777</b>	<b>-6 064</b>	<b>-1 742</b>

**Tabell 5.1.** Metallbesparingar (-), uttryckt som ren metall, för några uppgraderingsexempel, uppräknade till svensk exportnivå

## 6 Totala besparingar vid svensk export

För att belysa effekten av att ersätta konventionellt stål med avancerat höghållfast stål har ett scenario undersökts där hälften av det konventionella stålet i den svenska fordonsflottan ersatts med avancerat stål. Detta har sedan vidgats till ett exportperspektiv, företrädesvis Europa.

Tiden för att uppgradera hälften av den svenska fordonsflottan beräknas till i genomsnitt 6,2 år med tanke på åldern på flottan, nyregistreringar, tillväxt av flottan och fordon som ersätter de uttjänta [3].

Detta innebär att det krävs cirka 130 kton avancerat stål per år för att genomföra det scenario som beskrivs ovan. Detta är långt under den mängd kolstål, band- och grovplåtprodukt, som produceras i Sverige idag. Den största ståltilverkaren i Sverige som producerar sådana produkter planerar att producera 50 % avancerat höghållfast stål från år 2015. Det innebär cirka 1300 kton. Låt oss anta att hälften av denna volym tillförs transportsegmentet och resten till fasta så kallade passiva konstruktioner.

För att få en svensk referens har fordonsflottan i Sverige använts i ovanstående scenario, även om en hel del fordon och stål importerar och exporterar. Därför kan man också säga att Sverige har potential att leverera avancerade höghållfasta stål till andra länder i en omfattning som motsvarar uppgradering av fem fordonsflottor som den svenska med 50 % penetration, vilket är 650 kton/ år. Detta motsvarar 2 % av stålet i den europeiska fordonsparken.

Med tanke på svenska stålföretags produktmix har analysen utförts så att volymen som antas gå till fordon också återspeglar de exportsegment som är aktuella för svenska stålföretag. Det betyder en övervikt för ståltyper som används i tunga fordon, lastbilar, dumpers, kranar, trailers etc.

Analys har gjorts av metallbesparingar inklusive legeringar, miljöbesparingar och den ekonomiska nyttan av att ersätta konventionella stål med avancerade stål. Analysen har utförts under antagandet att svensk stålindustri varje år levererar 1,3 miljoner avancerade stål till den europeiska marknaden. Vid beräkningen antas att hälften av stålet användas inom fordonsektorn och den andra hälften till fasta, så kallade passiva konstruktioner, Tabell 6.1. Tabellen visar nyttan i olika led av att införa avancerade stål i konstruktioner. Användningen av metaller minskar med

464 kton, energiresurserna minskar med 11,1 TWh och koldioxidutsläppen med 2,7 miljoner ton, vilket tillsammans innebär ett samhällsekonomiskt värde på 11,7 miljarder per år.

Process /Ekonomisk effekt	Metaller		Miljö		Ekonomi		
	Stål [kton]	Legeringar [kton]	CO <sub>2e</sub> [kton]	Energi [GWh]	CO <sub>2e</sub> [MSEK]	Energi [MSEK]	Totalt [MSEK]
Ståltillverkning	-183	-1	-360	-1 442	-23	-694	-717
Fordonsanvändning	-	-	-1 797	-7 365	-1 498*	-8 332	-6 341
Passiva konstruktioner	-278	-3	-560	-2 285	-36	-1100	-1136
Summa	-464	-4	-2 718	-11 092	-1 557	-10 126	-11 684

\*) Siffran hänförs till svensk koldioxidskatt på bränsle på hela volymen, den svenska delen motsvarar 20 %

**Tabell 6.1.** Årliga metallbesparingar (-), uttryckt som ren metall, miljöbesparingar och ekonomiska fördelar om Sverige exporterar avancerade stål till Europa

## 7 Slutsats

Slutsatsen är att utveckling och ökad användning av avancerade starkare och mer beständiga stålsorter är en nyckel till minskad metallanvändning och minskad miljöpåverkan samtidigt som det ger stora samhällsekonomiska vinster.

Den möjlighet som finns att spara metaller genom att använda mer höpresterande stål är förbiset i samhällsdebatten, vilket bland annat visas av att regeringens uppdrag till SGU inte berör denna aspekt. Innebörden är att man inte tar till vara en möjlighet som är väl så kraftfull som "återvinning och återanvändning av material".

## 8 Referenser

[1] Jan-Olof Sperle, Lisa Hallberg, Jonas Larsson, Hans Groth, Karin Östman and Joachim Larsson

*The environmental value of high strength steel structures*

Jernkontoret : The Steel Eco-Cycle, Environmental Research Program, Scientific Report 2004-2012, D 853, project 88044, pp. 233-283, Jernkontoret Research

[2] Birgitta Lindblad et.al.

*Energiforskning inom Sverige, En syntesrapport inom Jernkontorets Energiprogram 2006-2010*  
Jernkontorets Forskning, rapport D 839

[3] Göran Andersson et.al.

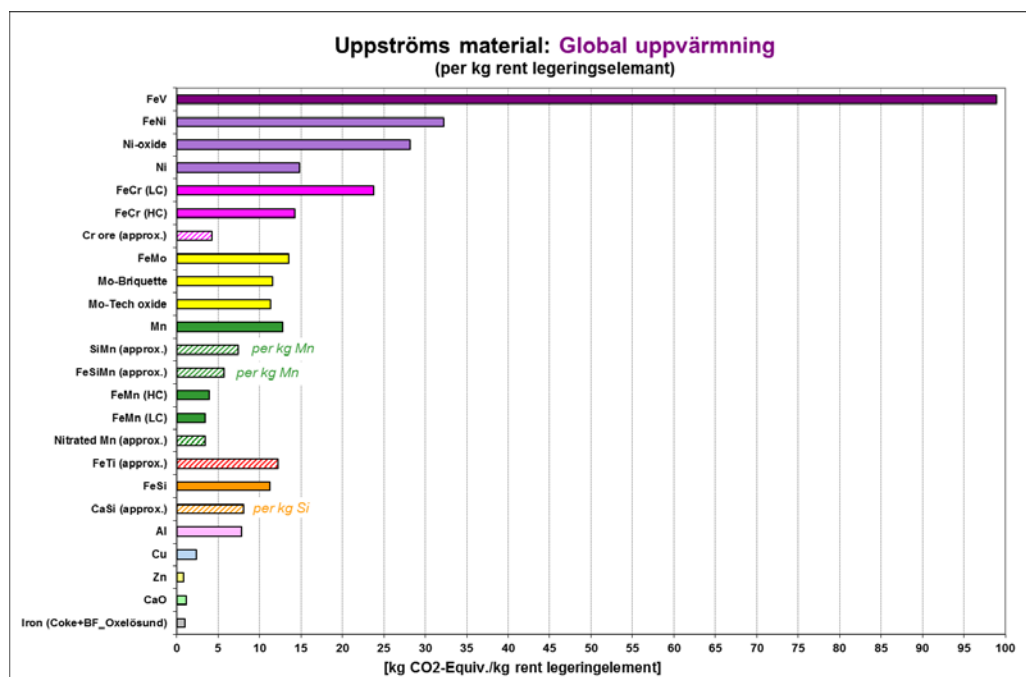
*The Steel Eco-Cycle, Environmental Research Program, Evaluation report 2004-2012*  
Jernkontoret Research, report D 851

[4] Lisa Hallberg

*Life Cycle Assessment of High Strength Steel - A cradle to gate study of the production of advanced high strength steel (Phase II)*, IVL Archive number: U3981, 2012.

## 9 Appendix 1

Som utgångspunkt för beräkning av legeringsinnehållet i olika stålsorter ligger en analys av CO<sub>2e</sub><sup>1</sup> emissioner från olika legeringselement som utförts i Forskningsprogrammet Stålkretsloppet (1), Figur 9.1.



**Figur 9.1.** Exempel på totalt utsläpp av växthusgaser, vid framställning av olika legeringsmetaller, (kg CO<sub>2e</sub>- per kg legeringsmetall) [4]

Genom att studera CO<sub>2</sub> emissionerna från olika stålsorter kan legeringsinnehållet i dessa beräknas för en av de stålsorter som använts i exemplen i kapitel 4.

### 9.1 Stålsorter i varmvalsad, kallvalsad och metalliserad tunnplåt i SSAB Luleå – Borlänge systemet

Hur många kg legeringar per ton stål visas i Tabell 9.1- 9.4 för några utvalda stålsorter och CO<sub>2e</sub>-emissioner från olika legeringar visas i Figur 9.2.

Legering	kg CO <sub>2e</sub> /kg ren metallegering	Varmvalsad tunnplåt			
		Domex 355 MC Re=355 Mpa		Domex 700 MC Re=700 Mpa	
		kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål
Al	7,9	15	1,9	21	2,6
FeTi (approx)	12,2	0	0,0	18	1,5
FeMn	3,7	22	5,9	77	20,9
FeSiMn (approx)	5,7	0	0,0	7	1,3
FeSi	11,2	0	0,0	0	0,0
FeCr	19,0	0	0,0	0	0,0
FeV	98,9	0	0,0	0	0,0
Ni	14,8	0	0,0	0	0,0
FeMo	13,5	0	0,0	0	0,0
Other	4,2	0	0,0	3	0,8
CO <sub>2</sub> legeringar kg/ton		37		127	
CO <sub>2</sub> totalt kg/ton		1458		1557	
Summa legeringar kg/ton			7,8		27,1
Fe kg/ton			992,2		972,9

**Tabell 9.1** Varmvalsad tunnplåt

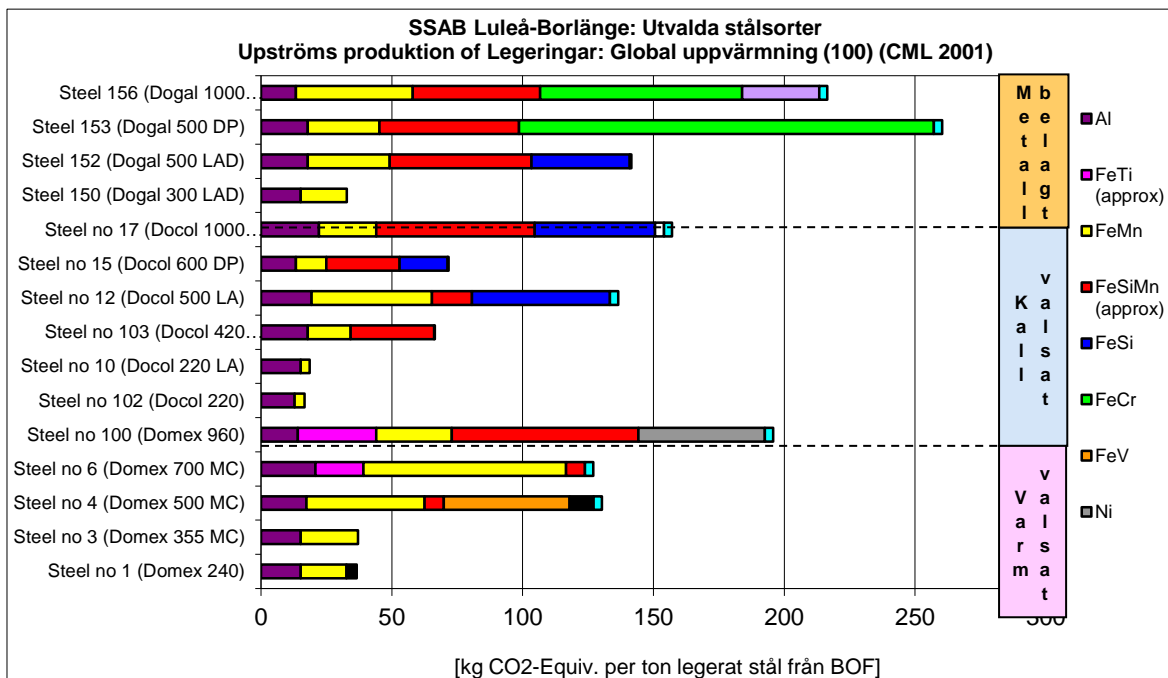
<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>ekvivalenter där inverkan av andra gaser även vägs in

Legering	kg CO <sub>2e</sub> /kg ren metallegering	Kallvalsad tunnplåt									
		Docol 220 Re=220 Mpa		Docol 420 LA Re=420 Mpa		Docol 500 LA Re=500 Mpa		Docol 600 DP Re=350 Mpa		Docol 1000 DP Re=700 Mpa	
		kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål
Al	7,9	13	1,62	18	2,27	19	2,45	13	1,69	22	2,80
FeTi (approx)	12,2	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
FeMn	3,7	4	1,05	16	4,40	46	12,42	12	3,14	22	5,90
FeSiMn (approx)	5,7	0	0,00	32	5,61	15	2,69	28	4,91	61	10,64
FeSi	11,2	0	0,00	0	0,00	53	4,71	18	1,64	46	4,11
FeCr	19,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
FeV	98,9	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Ni	14,8	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
FeMo	13,5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Other	4,2		0,00	0	0,00	3	0,75	0	0,00	3	0,75
CO2 legeringar kg/ton		17		66		136		71		154	
CO2 totalt kg/ton		1547		1607		1691		1608		1705	
Summa legeringar kg/ton			2,7		12,3		23,0		11,4		24,2
Fe kg/ton			997,3		987,7		977,0		988,6		987,4

Tabell 9.2. Kallvalsad tunnplåt

Legering	kg CO <sub>2e</sub> /kg ren metallegering	Metallbelagd tunnplåt					
		Dogal 300 LAD Re=300 Mpa		Dogal 500 DP Re=350 Mpa		Docol 1000 DP Re=700 Mpa	
		kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål
Al	7,9	15	1,92	18	2,27	13	1,69
FeTi (approx)	12,2	0	0,00	0	0,00	0	0,00
FeMn	3,7	18	4,77	27	7,38	45	12,06
FeSiMn (approx)	5,7	0	0,00	53	9,38	49	8,54
FeSi	11,2	0	0,00	0	0,00	0	0,00
FeCr	19,0	0	0,00	159	8,35	77	4,06
FeV	98,9	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Ni	14,8	0	0,00	0	0,00	0	0,00
FeMo	13,5	0	0,00	0	0,00	29	2,18
Other	4,2	0	0,00	3	0,75	3	0,75
CO2 legeringar kg/ton		33		260		216	
CO2 totalt kg/ton		1669		1901		1855	
Summa legeringar kg/ton			6,7		28,1		29,3
Fe kg/ton			993,3		971,9		970,7

Tabell 9.3 Metallbelagd tunnplåt



Figur 9.2. GWP för olika stålsorter i tunnplåt [4]

## 9.2 Stålsorter i varmvalsad grovplåt från SSAB Oxelösund

Analogt med Figur 9.2 har GWP-emissioner hämtats för stålsorter i SSAB Oxelösund (1) och beräkning av mängden legeringar redovisas i Tabell 8.4 nedan.

Legering	kg CO <sub>2e</sub> /kg ren metallegering	Varmvalsad grovplåt				Slitplåt Hardox	
		S 355 Re=355 Mpa		Weldox 700 Re=700 Mpa		Hardox 450 HB=450	
		kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål
FeMn	3,25	51	15,5	46	14,1	34	10,5
FeSi	10,50	39	3,7	39	3,7	39	3,7
FeCr	17,15	0	0,0	22	1,3	22	1,3
Al	7,10	4	0,6	7	0,9	5	0,6
FeMo	12,70	0	0,0	32	2,5	0	0,0
FeV	95,20	36	0,4	0	0,0	0	0,0
Ni	13,70	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Other	4,20	0	0,0	1,5	0,3	4	0,9
kg CO <sub>2</sub> legeringar/ton		129		147		103	
kg CO <sub>2</sub> totalt/ton		2182		2354		2292	
Legeringar kg/ton			20		23		17
Järn kg/ton			980		977		983

Tabell 9.4. Utvalda stålsorter i Varmvalsad grovplåt och slitplåt

## 9.3 Stålsorter i Rostfritt stål

Analogt med Figur 9.2 har GWP-emissioner hämtats för rostfria stålsorter från Outokumpu (1) och beräkning av mängden legeringar redovisas i Tabell 8.5 nedan.

Legering	kg CO <sub>2e</sub> /kg ren metallegering	Austenitiskt rostfritt stål 4301		Duplext rostfritt stål 2101			
		kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2e</sub> per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO <sub>2</sub> /ton stål korr till samma skot % som 4301	kg legering per ton stål korr till samma skot % som 4301
FeCr & Cr ore	17,15	1156	67,4	2037	119	1318	76,9
Ni-oxide, Ni & FeNi	14,30	557	39,0	111	8	103	7,2
FeSi	11,20	422	37,7	139	12	139	12,4
SiMn	7,40	54	7,2	201	27	201	27,2
Mn & FeMn	6,70	10	1,5	246	37	246	36,7
Al	7,10	0,1	0,0	177	25	177	24,9
Mo-raw materials	11,90	0,0	0,0	8	1	8	0,7
Other	5,00	0,2	0,0	13,1	3	13	2,6
CO <sub>2</sub> legeringar kg/ton		2199		2932		2206	
CO <sub>2</sub> totalt kg/ton		3100		3851		3125	
Summa legeringar kg/ton			153		231		189
Fe kg/ton			847		769		811

Tabell 8.5. Utvalda stålsorter i Rostfritt stål







## **DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION**

Organisationen grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt skatter och avgifter. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

# **JERNKONTORET**

Box 1721, 111 87 Stockholm • Kungsträdgårdsgatan 10  
Telefon 08 679 17 00 • Fax 08 611 20 89  
E-post [office@jernkontoret.se](mailto:office@jernkontoret.se) • [www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se)

