Redovisning av regeringsuppdrag

UPPDRAG ATT UTFÖRA EN KARTLÄGGNING OCH ANALYS AV UTVINNINGS- OCH ÅTERVINNINGSPOTENTIAL FÖR SVENSKA METALL- OCH MINERALTILLGÅNGAR

D.nr: 3114-1639/2013
2014-12-15

SGU
Sveriges geologiska undersökning

Omslagsbilder: Gamla varphögar med bland annat förhöjda halter av ädelmetaller, docent Karin Högdahl (t vänster), institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, med en student i fält i Bergslagen. Foto: Erik Jonsson, SGU.

.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

FÖRORD

Vår välfärd är till stora delar byggd med hjälp av utvinning av naturresurser. Nu, när det sker en utveckling mot ökad välfärd för många, blir återvinning och resurseffektivitet viktigare än någonsin. Samtidigt kommer gruvor vara nödvändiga under lång tid för att bygga detta välstånd på vägen mot ett långsiktigt ekonomisk, socialt och ekologiskt hållbart samhälle.
I ett framtida hållbart samhälle tillgodoses våra behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter. I Sverige är generationsmålet och miljökvalitetsmålen uppnådda. De stora miljöproblemen är lösta, utan att vi orsakar ökade miljö- och hälsoproblem utanför landets gränser. I det hållbara samhället sker en god hushållning med naturresurserna. Behovet av råvaror för samhällsutvecklingen tillgodoses med bästa möjliga teknik och med minimal påverkan på miljön och människors hälsa. Kretsloppen är resurseffektiva, med en stor andel återanvändning och återvinning, och så långt som möjligt fria från farliga ämnen. Energianvändningen är effektiv med en stor andel förnybar energi. Vår mark, vårt grundvatten och våra sjöar, vattendrag och hav är rena, friska och produktiva, med god biologisk mångfald.

Sverige är idag ett av Europas ledande gruvländer, och vår gruvnäring bidrar till välfärdsutvecklingen. Detsamma gäller vår spetskunskap och de tillämpningar vi har och kan bygga upp inom resurseffektiv utvinning och återvinning.

I Sveriges mineralstrategi finns en målbild för framtiden beskriven där utvinning och bearbetning av malm och mineral från den svenska berggrunden ska ske med ökad resurseffektivitet. Återvinningsgraden av metaller, mineralprodukter och processavfall ska öka och avfallsmängderna minska.

Som ett led i det arbetet fick SGU i uppdrag av regeringen att i samråd med Naturvårdsverket kartlägga och analysera utvinnings- och återvinningspotential en för svenska metall- och mineraltillgångar, vilket härmed slutredovisas.

Ökad kunskap är grunden för att förstå hur vi kan tillgodose våra behov, vad vi kan och bör utvinna eller återvinna. Utan en förståelse för hur våra naturtillgångar är fördelade kan vi inte fatta kloka beslut. I denna rapport redogör vi för dagens samlade kunskap om Sveriges mineral- och återvinningsbara metalltillgångar.

Lena Söderberg
Generaldirektör

SAMMANFATTANING

I Sveriges mineralstrategi förslogs nitton åtgärder i form av uppdrag till myndigheter och andra organisationer. En av dessa innebar att SGU fick i uppdrag att i samråd med Naturvårdsverket utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotentialen för metall- och mineraltillgångar i Sverige, ett uppdrag som vi nu redovisar.

I denna redovisning görs en översiktlig bedömning av fyndpotentialen från den svenska berggrunden (s.k. primära resurser) samt återvinningspotentialen (s.k. sekundära resurser) från gruvavfall, industrideponier, kommunala deponier och genom urban mining (metaller gömda i städernas infrastruktur).

I genomförandet av uppdraget har vi inhämtat underlag om aktuell forskning och befintlig kunskap inom akademi och näringsliv. Kartläggning av primära resurser har genomförts av SGU. För att identifiera industrins resursbehov av kritiska mineral vilket också ingick i uppdraget, har Jernkontoret och Chalmers Tekniska Högskola bidragit med underlag. Dessa har också lämnat viktiga bidrag till kartläggningen av sekundära resurser, vilket även Stena Metall AB, Swerea Swecast AB och Linköpings universitet gjort. Viktiga synpunkter har också lämnats av en referensgrupp, som också deltagit i en hearing om uppdraget.

Den svenska fyndpotentialen

Resultaten från kartläggningen visar att metall- och mineralstatistiken är mycket bristfällig för en stor del av de metaller och mineral som används i mindre kvantiteter i den svenska industrin (t.ex. vissa legeringsmetaller och metaller i elektronikindustrin). Det gäller både fyndpotential från utvinning och från återvinning samt i vilka produktionskedjor och varor metallerna och mineralerna används.
Trots dessa brister i det statistiska underlaget, visar vår analys att den största fyndpotentialen av metall och mineral finns i den svenska berggrunden. Detta gäller för de allra flesta metaller och mineral där vi lyckats bedöma potentialen kvantitativt.

För reserver och tillgångar från gruvor och prospekteringsobjekt finns det tydliga regler för hur dessa bedöms och presenteras för den finansiella marknaden. Bedömningarna är försiktiga då malm med för låga halter, eller mycket djupt förekommande malmförekomster inte tas med i bedömningen. När det gäller sekundära resurser saknas sådana regler för bedömning och presentation. Den samlade statistiken över sekundära resurser är teoretiskt beräknad och därmed enbart indikativ vilket gör det svårt att utvärdera och jämföra primära och sekundära resurser med varandra .

Det finns potentialer av metaller i den svenska berggrunden framförallt av järn, koppar, bly, zink, guld och silver. Därutöver finns övriga metaller och mineral som fosfor, mangan, flusspat, sällsynta jordartsmetaller (REE) och nickel. Flera av dessa kan visa sig bli kommersiellt intressanta att utvinna i framtiden.

Återvinningen av traditionella material som järn, basmetaller och ädelmetaller är redan idag hög i Sverige och kan därför enbart öka marginellt. En ökad återvinning är ändå angelägen då den både sparar materiella resurser och energi,

Det finns en hel del analyser på olika metaller i gruvavfall men osäkerheten är ändå stor om hur stora mängder det totalt sett finns och om utvinning är ekonomiskt lönsamt. För REE och fosfor bedöms dock potentialen vara relativt stor. I dagsläget saknas dock tekniska lösningar för att utvinna även dessa till konkurrenskraftiga kostnader.

I stålindustrins deponier finns en större mängd av vanadin, främst i stålslagg. Det har i nuläget inte bedömts vara ekonomiskt lönsamt att återvinna detta. Uppgifter om metallmängder i övriga industrideponier är bristfälliga. De utgör ett viktigt område för fortsatt kartläggning

Teoretiskt beräknat finns det en potential i kommunala deponier och urban mining (inbyggd i byggnader och infrastruktur). Här är kunskapsläget ännu osäkrare. Det är svårt att bedöma mängder och hinder för en kommande utvinning och därmed är det svårt att kunna säga något om det framtida ekonomiska värdet från urban mining.

Det mesta tyder på att en stor del av potentialen av sekundära resurser inte kommer att realiseras av sig själv, därtill är hindren för stora. Det behöver alltså införas nya eller förändrade styrmedel för att åstadkomma en sådan utveckling.

En naturlig fortsättning av den nu genomförda kartläggningen är att ur ett brett perspektiv undersöka dessa styrmedel. Målsättningen ska vara att identifiera vilka förändringar som skulle kunna bidra till en ökad resurseffektivitet inom såväl primär utvinning som återvinning, så att resurserna kommer att användas på ett hållbart sätt samtidigt som de negativa miljöeffekterna minimeras.

För att kunna genomföra ändamålsenliga förändringar krävs fördjupade kunskaper dels om miljöpåverkan av de olika försörjningsalternativen, dels om dokumenterade återvinningspotentialer i gruvavfall, industrideponier, kommunala deponier och genom urban mining.

Utvinning och återvinning i Sverige idag

Utvinning sker i Sverige idag av järn, koppar, bly, zink, guld, silver och tellur. Funktionell återvinning, dvs återvinning där mineralens primära funktion utnyttjas, sker i Sverige idag för järn, koppar, krom, aluminium, bly, molybden, fosfor, zink, silver, guld och kobolt.

De flesta framtidsprognoserna pekar mot att efterfrågan av metall och mineral kommer att öka i takt med att allt fler delar av världen lyfts ur fattigdom. För att tillgodose efterfrågan på metaller och mineral kommer det därför i framtiden behövas både återvinning av metaller och primär gruvbrytning av metaller. I en prognos från Jernkontoret för ståltillverkning år 2060 bedöms hälften av råvaran komma från gruvor medan den andra hälften bedöms komma från sekundära resurser beräknat på 80 procentig global stålåtervinning. Det innebär alltså att världen behöver en ökad malmproduktion jämfört med idag även med en utveckling där den globala återvinningen av stål ökat kraftigt.

Den funktionella återvinningen av legerings- och specialmetaller, där de funktionella egenskaperna utnyttjas, är oftast över 50 %.

Den funktionella återvinningen av t.ex. specialstål och elektronikskrot kan eventuellt utvecklas. Detsamma gäller för primärutvinning från gruva, där möjligheterna att med tillgängliga metoder få ett fullt utbyte av all metall som malmen innehåller också är begränsade.

Återvinningsmetoder av metaller för elektronikindustrin behöver utvecklas då utbudet av elektronikskrot med dessa metaller ökar, t.ex. metaller som indium och gallium i plattskärmar och litium, kobolt och molybden i bilar.

Förslag till definition av kritiska metaller och mineral för Sveriges försörjningsbehov

Resursbehovet för Sverige (samhälle och näringsliv) har analyserats med särskilt fokus på EUs pågående arbete med att identifiera för Europa kritiska metaller och mineral. Som resultat föreslår vi en definition på kritiska metaller och mineral i Sverige. Förslaget har tagits fram med samma kriterier och utgångspunkter som gjorts för EUs kritiska lista, nämligen ekonomisk betydelse och utbudsrisk. Det senare innebär att det finns risk för störning av leverans eller kraftig fördyring av en specifik metall eller mineral. Det kan bero på få producenter eller att metallen tillverkas i ett enda land. Tidshorisonten när det gäller försörjningsbehovet är på upp till 5–10 års sikt, medan det i fråga om svensk fyndpotential kan vara fråga om än längre tidshorisont.

Det här är första försöket att göra ett urval av de mest kritiska metallerna för Sveriges resursbehov. Kunskapsläget är delvis bristfälligt och statistiken behöver bli mer komplett. Fördjupade studier behöver göras för att förbättra analysen och kunna dra mer långtgående slutsatser.

Den svenska stålindustrin är inriktad främst på rostfria stål, verktygsstål och höghållfasta stål, där finns ett stort behov av special- och legeringsmetaller.

Det sker en stor import av metaller, främst legerings och specialmetaller, men även av färdiga komponenter. Det senare är speciellt vanligt inom elektronik- och bilindustrin.

Metaller och mineral som vi med ovan nämnda utgångspunkter och kriterier definierar som kritiska och där inga fyndigheter finns i Sverige är: koks, PGM och bor. Kritiska mineral med mindre fyndigheter är kobolt, niob, tenn, volfram och magnesium. Kritiska mineral med höga utvinnings- eller återvinningspotentialer, är: ferrokisel, flusspat, titan, REE, nickel, krom, mangan, vanadin, dolomit och kalksten.

Förslag till fortsatta insatser

Såväl näringslivet som akademin har visat ett stort intresse för vårt arbete med detta regeringsuppdrag. De har även framfört att det är en viktig och angelägen insats inom ett stort och delvis outforskat område, som bör få en fortsättning. Det gäller inom båda huvudområdena för uppdraget – att kartlägga fyndpotentialen och att undersöka svenskt försörjningsbehov.

För att framledes kunna göra bättre analyser och bedömningar föreslås att en ansvarig myndighet, förslagsvis SGU, får i uppdrag att förbättra den svenska metall- och mineralstatistiken med avseende på metallernas livscykel från brytning till återvinning.

Det är en angelägen forskningsuppgift att utreda hur man kan skapa ett liknande system med reserver och tillgångar som prospekteringsindustrin

använder för att bedöma mängder och ekonomi i gruvavfall, deponier och urban mining. Vidare har vi funnit:

- Att det behövs ökad forskning och teknikutveckling för att förbättra utbytet av metall och mineral. Ökad resurseffektivitet i utvinning och återvinning är en förutsättning för ett hållbart samhälle och kan gynna både miljö och ekonomi.
- Att det behövs en samordning av forskningen inom områdena, som idag är fragmenterad och behöver samordnas.
- Att det behövs fördjupade kunskaper om miljöpåverkan och återvinningspotentialer i de olika försörjningsalternativen som underlag för att kunna bedöma behovet av förändringar av styrmedel.
- Att det kan behövas en ”nationell arena” för näringsliv, akademi och myndigheter att samverka och utbyta erfarenheter och stimulera till ekonomiskt konkurrenskraftiga tekniker och metoder för ökad återvinning.

SUMMARY

In Sweden's mineral strategy nineteen measures, in the form of mandates to government agencies and other organisations, were issued. One of these mandates commissioned SGU, in consultation with Naturvårdsverket (the Swedish Envioronmental Protection Agency), to carry out a survey of mining and recycling potential of metal and mineral resources in Sweden, the results of which are reported here.

A general assessment of the mineral potential of the Swedish bedrock (known as primary resources) and the recovery potential (secondary resources) from mine waste, industrial landfills, municipal landfills and from urban mining (metals within urban infrastructure) are reported.

In the implementation of the mandate we have examined documentation of current research and existing knowledge from both academia and industry. Mapping of primary resources has been carried out by SGU. Jernkontoret and Chalmers University of Technology contributed material in order to identify industry's requirement of critical minerals. Stena Metall AB, Swerea Swecast AB and Linköping University made important contributions to the identification of secondary resources. Key points have been delivered by a peer group, who also participated in a hearing on this commission.

The Swedish mineral potential

The results of the survey show that metal and mineral statistics are currently inadequate for a large proportion of the metals and minerals used in smaller quantities by Swedish industry (eg, certain alloys and metals in the electronics industry). This applies both to potential deposits and to recycling as well as to the production chain and products, metals and minerals used.

Despite the shortcomings in the statistical data, our analysis shows that there is significant mineral potential in the Swedish bedrock. This is true for most metals and minerals where a quantitative potential assessment could be made.

There are clear rules for how assessments of reserves and resources in mines and exploration properties are made and presented to the financial markets. The assessments are cautious when ore of low grade, or ore which is located at great depths is involved, and generally such ore is not taken into account. In terms of secondary resources there are no such rules for evaluation and presentation. The overall statistics of secondary resources are calculated theoretically and therefore only indicative, making it difficult to evaluate and compare primary and secondary resources with each other.

The mineral potential of the Swedish bedrock predominantly consist of of iron, copper, lead, zinc, gold and silver. Other significant metals and minerals are phosphorus, manganese, fluorspar, rare earth elements (REE) and nickel. Several of these may prove to be commercially viable to extract in the future.

Recovery of traditional metals such as iron, base metals and precious metals is already high in Sweden and therefore can only increase marginally. Increased recycling is important, since it saves both primary material resources and energy.

Many tests have been made for different metals in old mine waste but there is still much uncertainty as to what overall volumes are present, and if extraction could be economically viable. For REEs and phosphorus there is, however, a relatively large potential. Current technology however does not allow extraction at competitive costs.

A large amount of vanadium exists in industrial landfills, mainly in steel slag, however, it is currently not deemed economically viable to recover it. Further, it is difficult to assess the total amount available, and therefore the potential economic viability of recovery. Data on the quantities of metals contained in other industrial landfills is inadequate. These metals do however constitute an important area for further assessment.

There is a theoretical potential for metal extraction from municipal landfills and urban mining (recovery of metals embedded in buildings and infrastructure). Here, however, the state of knowledge is even more uncertain. It is difficult to assess quantities and factors that would hinder future extraction and therefore it is hard to predict the future value of this resource.

Most indications are that the potential of secondary resources will not be realised at this stage due to the obstacles involved in extraction. There is therefore a need to introduce new or revised policies to achieve development in this area.

A natural continuation of this survey is to broadly examine these policies. The goal is to identify

changes that could contribute greater efficiency in both primary extraction and recovery of secondary resources so that resources can be used in a sustainable manner while negative environmental impacts are minimised.

In order to implement appropriate changes, an improvement in the knowledge of the environmental impact of various resource supply options, and better documentation of the potential that exists in mine waste, industrial and urban landfills, and by urban mining is required.

Recovery and recycling in Sweden today

Iron, Copper, Lead, Zinc, gold, silver and tellurium are mined in Sweden today. Functional recovery, i.e. recycling where the primary metal is recovered, takes place for iron, copper, chromium, aluminium, lead, molybdenum, phosphorous, zinc, silver, gold and cobalt (the order of listed metals is based on the relative quantities recovered).

Most future projections indicate that the demand for metals and minerals will increase as more parts of the world are lifted out of poverty. To meet this demand, both primary mining for metals and recycling will be required. Jernkontoret predict that, for steel production in 2060, half the raw materials will come from mining while the other half will come from secondary resources (estimated as 80% of global steel recycling). This would still require that global ore production increases even with a significant increase in recycling.

The functional recovery of alloys and special metals, where the functional properties are employed, is usually over 50%.

The functional recovery of, for example, special steel and electronic scrap can be developed. The same is true for primary extraction from mines, where current methods limit the full recovery of all metals from ores.

The recovery process for metals for the electronics industry requires development, however, recovery is expected to increase in the longer term as the supply of electronic scrap increases. Examples of these metals include indium and gallium in flat screens, and lithium, cobalt and molybdenum in cars.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord **3**

Sammanfattaning **4**
Den svenska fyndpotentialen 4
Utvinning och återvinning i Sverige idag 5
Förslag till definition av kritiska metaller och mineral för Sveriges försörjningsbehov 5
Förslag till fortsatta insatser 5

Summary **7**
The Swedish mineral potential 7
Recovery and recycling in Sweden today 8

Inledning **11**
Uppdraget 11
Metod för arbetet,
omfattning och avgränsning 11
Kartläggning av utvinnings- och återvinningspotentialer 12
Den Fennoskandiska skölden 12
Prospektering 13
Sveriges samlade malmproduktion
genom tiderna 15
Sveriges malmproduktion 2013 17
Tillgångar i svensk berggrund 19

Metalltillgångar i deponier för restmaterial från gruvverksamhet **26**
Gråberg 26
Anrikningssand 26
Fosfat 27

Återvinningspotential från andra källor i samhället **28**
Återvinning av metall har ökat kraftigt 29
Några viktiga återvinningsbegrepp 30
Metoder för återvinning av metaller 31

Återvinning i Stål- och metallindustrier, ur deponier SAMT från URBAN MINING **32**
Stålindustri 32

Aluminiumindustri **35**
Gjuterindustri 35

Elektronikavfall **36**
Återvinning i bilindustrin 36
Industriella deponier i övrigt 36
Kommunala deponier 37
Urban Mining 37
Förorenade områden 37
Potentialer i deponier och infrastruktur i dvala 39
Återvinning av metaller 2013 39
Sammanfattning av potentialer
i deponier och i berggrund 39

Resursbehovet i Sverige av metaller och mineral (Svensk in dustris användning) **39**

Förädlingsvärden, export och import ... 39
Export och import ... 39
Svensk stålindustri ... 43
Legerings- och specialmetaller ... 45
Basmetaller ... 47
Den svenska gjuteriindustrin ... 47
Metallanvändningen, analys av metaller ... 47

Resursbehovet i eu av metaller och mineral ... 48
EUs kritiska mineral ... 49
Sveriges betydelse och andel av EUs metall- och mineralbehov ... 51
Utvinning eller återvinning i Sverige ... 53

Definition och identifiering av kritiska mineral i Sverige ... 54
Beskrivning av kritiska mineral ... 56
Viktiga men icke-kritiska mineral (kandidatmineral) ... 58
Sällsynta jordartsmetaller – varför är de kritiska mineral? ... 58

Forskning, innovation och utveckling ... 59
Mineral och metaller i äldre varphögar ... 59
Pågående ”Raw Material Initiative” relaterade projekt i Europa ... 59
Andra projekt som är i startfasen eller som söker finansiering ... 62
Återvinning och utveckling av återvinningsarbetet i industriprocesser och skrothantering ... 62

Källförteckning ... 63
Referenser i avsnitten: ... 63
SGUs databaser ... 63
Övriga statistikreferenser ... 64
Övriga referenser ... 64

Begreppsförklaring ... 65

Bilaga 1. Kritiska metaller

Bilaga 2. Malmvärde, reserver och tillgångar

Bilaga 3. Anrikning, anrikningsverk och sandmagasin

Bilaga 4. Återvinningsmetoder

Bilaga 5. Gjuteribranschens metallanvändning

Bilaga 6. Användning och återvinning av kandidatmineral

Bilaga 7. Elektronikavfall

Bilaga 8. Deponier som gruvor

Bilaga 9. Städer som gruvor

Bilaga 10. Metallutredning

INLEDNING

Uppdraget

Som en del i den nya nationella mineralstrategin har SGU fått i uppdrag att skapa en samlad bild av vilka mineraltillgångar som finns i Sverige och vilka behov samhället har av dessa. Arbetet sker i samråd med Naturvårdsverket och inkluderar analys av såväl utvinnings- som återvinningspotential för olika tillgångar i landet. Tillgångarna kan utgöras av såväl mineraliseringar i berggrunden som av återvinningsbara metaller.

Som en del i uppdraget ingår att identifiera de metaller och mineral som är kritiska för Sveriges försörjningsbehov. Motsvarande analyser har gjorts i bl.a. Finland, England och USA och i dessa fall utmynnat i listor över kritiska mineral i länderna. Denna listning är ett EU-initiativ. EU behöver i dagsläget importera stora delar av de metaller som är nödvändiga för att möta samhällets behov. Medlemsländerna använder 25–30 procent av den globala produktionen av metaller medan den egna produktionen enbart utgör 3 procent och vissa viktiga metaller i dagsläget inte produceras alls. Europeiska kommissionen och flera enskilda länder har vidtagit en rad åtgärder i syfte att säkra den framtida tillgången på metallråvaror. Europeiska kommissionen publicerade 2014 en rapport över 20 metall- och mineralråvaror vilka identifierades som kritiska för EU.

I uppdraget ingår även att de svenska metall- och mineraltillgångarna ska kopplas till det totala försörjningsbehovet för hela Europa och resultatet ska kunna utgöra ett underlag bland flera för att stimulera till effektivare användning av svenska metall- och mineralresurser, samt visa hur Sverige kan bidra till den europeiska försörjningssituationen och dessutom peka på vilka affärsmöjligheter som kan uppstå.

Återvinning och återutnyttjande är de mest energieffektiva åtgärder som kan vidtas för att minska gruv- och mineralnäringens påverkan på miljön. Återvinningen av mineral och metaller kan och behöver öka. Detta gäller traditionella metaller, men i än högre grad för nya mer ovanliga metaller som är centrala för utvecklingen av framtidens energilösningar och där system för återvinning saknas.

Metod för arbetet, omfattning och avgränsning

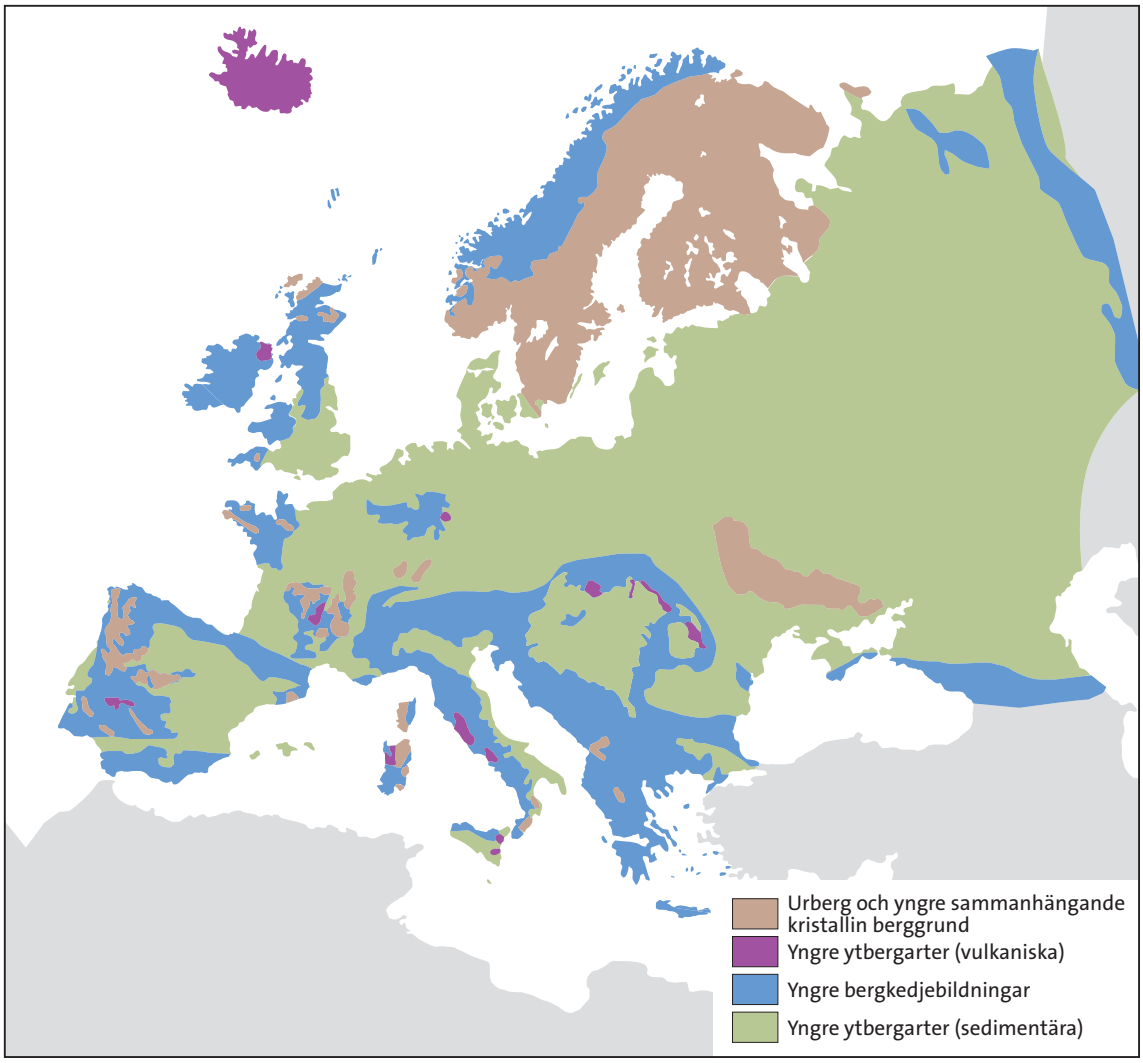
Utredningen är indelad i två huvudavsnitt: kartläggning av metaller och mineral med utvinnings- och återvinningspotential samt resursbehovet i Sverige och EU. Kartläggningen av potentialer har indelats i tre delar, från utvinning, från gruvavfall och från övrig återvinning. Arbetet har bestått dels av insamling och bearbetning av tillgänglig statistik och dels av sammanställning av kunskapsläget inom respektive område. Kartläggningen av utvinningspotentialer har utgått från de data som finns hos SGUs databaser. För gruvavfallsdelen har SGUs Bergverksstatistik använts för att beräkna olika potentialer. För övrig återvinning har underkonsulter med olika kompetens inom återvinningsområdet anlitats. Det är Linköpings universitet som bidragit med underlag om återvinning från kommunala deponier och urban mining, Jernkontoret avseende stålskrot, Stena Metall AB som skrivit om elektronikskrot, Swerea Swecast AB avseende gjuteribranschen samt Chalmers tekniska högskola som undersökt kritiska mineral i industrin. Deras rapporter finns sammanställda som bilagor. För resursbehovsdelen har ny statistik framtagits av Jernkontoret avseende kritiska mineral i samhället.

I Sammanfattningen beskrivs utredningens sammanvägda analyser och slutsatser, vilka sedan utmynnat förslag på utformning och inriktning på det fortsatta arbetet.

Statistiken och kunskapsläget är av varierande kvalitet och omfattning inom de olika delområdena. Inom några områden är statistiknivån och kunskapsläget väl dokumenterade medan de inom andra områden saknas helt. I dessa fall har bedömningar och teoretiska beräkningar gjorts vilket gör att det är svårt jämföra olika delområden med varandra. En översiktlig jämförelse finns i slutet av rapporten.

Metaller ingår i stor omfattning i verkstads- och elektronikindustrin. Det är svårt att göra tydliga avgränsningar eller bedöma värde och mängd av enskilda metaller i dessa fall. Flera källor har använts för statistiken och där den inte har varit fullständig har dessa kunnat komplettera varandra.

Kartläggningen har inte omfattat bedömningar av miljökonsekvenser av de olika försörjningsalternativen.



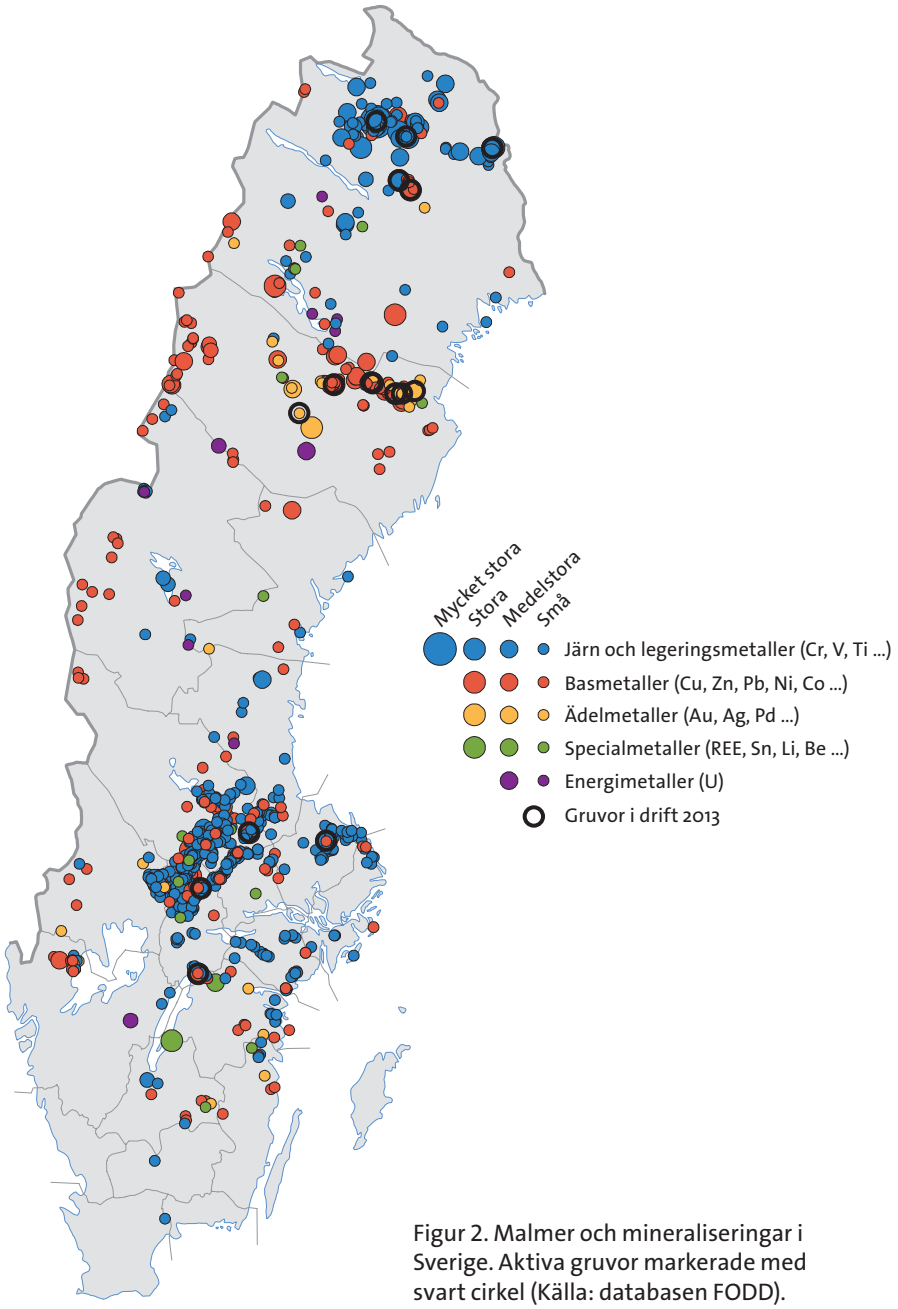
Figur 1. Den Fennoskandiska skölden är unik jämfört med Europas geologi.

Kartläggning av utvinnings- och återvinningspotentialer

Den Fennoskandiska skölden

Den Fennoskandiska skölden utgörs av det gamla urbergsområde i norra Europa som omfattar Norge, Sverige, Finland och nordvästra Ryssland (figur 1). Området har haft och har fortfarande en betydande malmproduktion. Betydande malmproduktion och malmpotential finns även på andra platser inom EU, t.ex. Irland, Iberiska halvön, Balkan, Österrike samt Polen, men Fennoskandiska skölden står ändå i särklass när det gäller rikedomen av metalliska naturresurser. I stort sett all järnmalmsproduktion inom EU kommer från Sverige och huvuddelen av bas- och ädelmetallproduktionen (koppar, zink, bly respektive guld och silver) inom EU kommer från Sverige och Finland. Nästan hälften av alla investeringar i prospektering inom EU spenderades i Finland och Sverige 2008 (SGU 2009). Den Fennoskandiska skölden har en betydande malmpotential och har potential att förbli en betydande metallproducerande region i världen.

De flesta av de kända metallförekomsterna på den Fennoskandiska skölden bildades under en, geologiskt sett, kort tidsperiod; den Svekofenniska orogenen som inträffade för 1,9 till 1,8 miljarder år sedan. Det är under den perioden som malmerna och mineraliseringarna i Bergslagen, Skelleftefältet och norra Norrbotten bildas. Andra betydande malmbildande epoker inträffade för 2,45 till



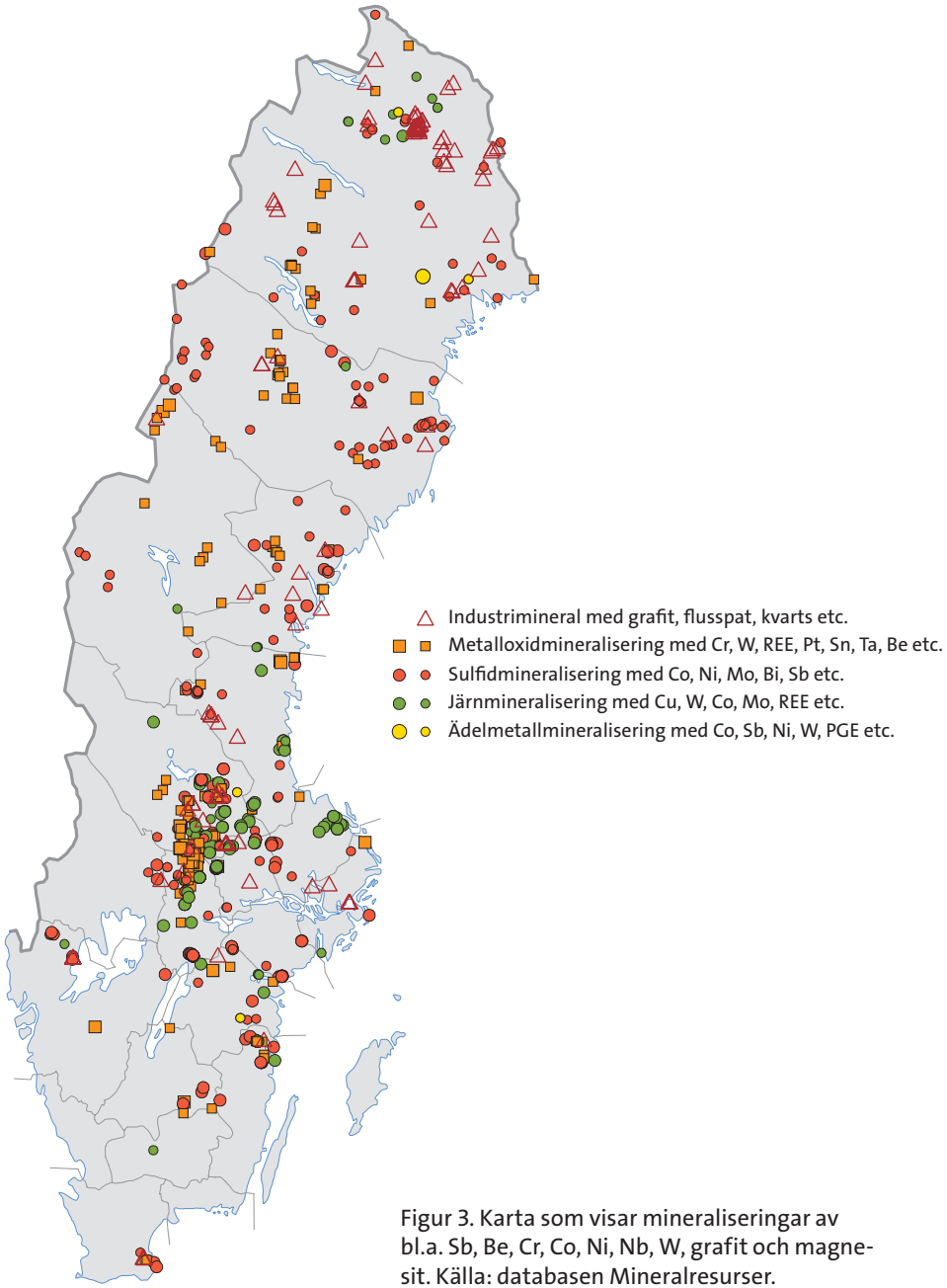
Figur 2. Malmer och mineraliseringar i Sverige. Aktiva gruvor markerade med svart cirkel (Källa: databasen FODD).

1,9 miljarder år sedan (t.ex. Viscaria och Kaunisvaarafältet i Norrbotten) och för 450–350 miljoner år sedan då blymalmerna i fjällranden (Laisvall och Vassbo) och sulfidmalmerna i fjällen (Stekenjokk) bildades.

Prospektering

Att prospektera efter metalliska naturresurser innebär att man letar efter mineraliseringar som kan bli malm, det vill säga en fyndighet som är ekonomiskt lönsam att utvinna. Prospektering efter mineraliseringar i berggrunden sker i flera steg. Initialt väljs ett område med gynnsam berggrund för den eller de metaller eller mineral man letar efter. I detta skede samlas all tillgänglig information om området in, så som geologiska, geofysiska och geokemiska data, resultat från tidigare prospektering liksom annan relevant information. Det är också viktigt att känna till vilka regelverk som undersökningen omfattas av.

Därefter följer ofta arbete i fält med kartering, mätning och provtagning. Den typen av under-



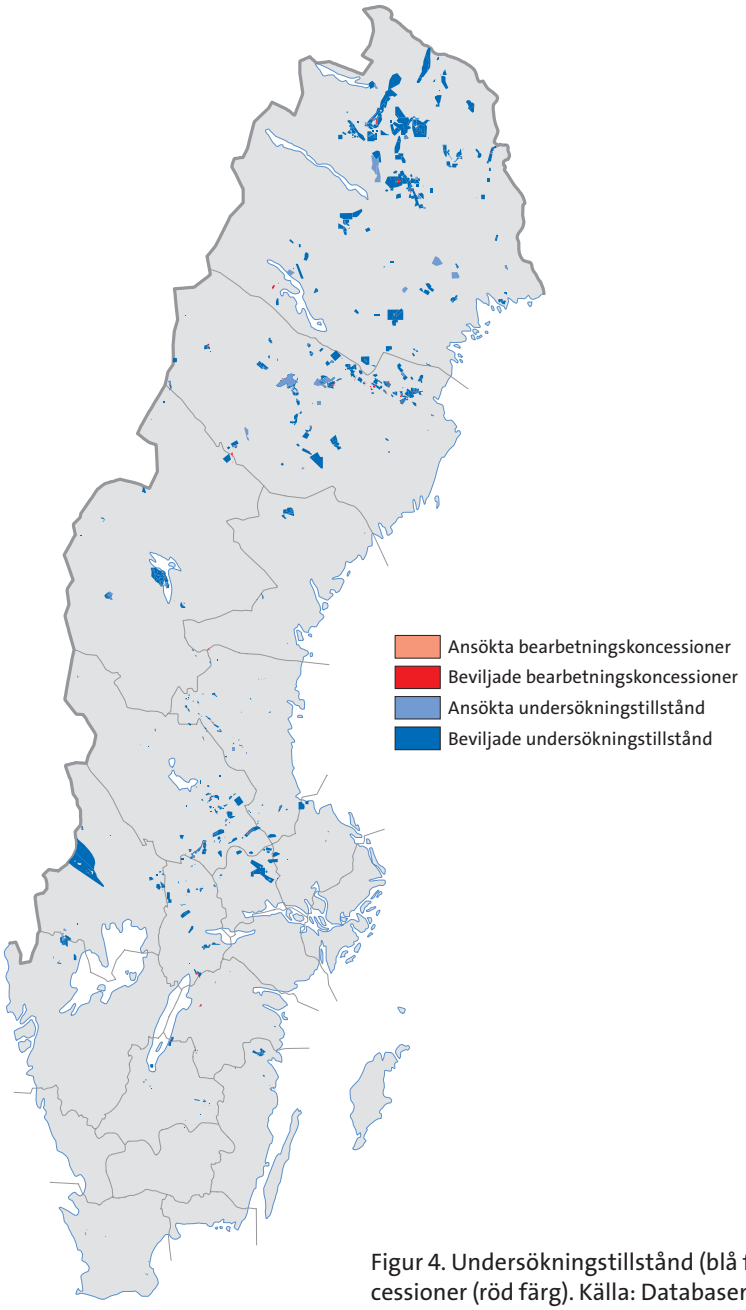
Figur 3. Karta som visar mineraliseringar av bl.a. Sb, Be, Cr, Co, Ni, Nb, W, grafit och magnesit. Källa: databasen Mineralresurser.

sökningsarbete innebär normalt ringa eller ingen påverkan på omgivningen.

Om prospekteringen så långt varit framgångsrik kan arbetena fördjupas med mer omfattande och kostsamma metoder som grävning, borrning och sprängning. Dessa arbeten förutsätter vanligen olika former av tillstånd vilka måste inhämtas innan arbetena utförs.

Om en upptäckt mineralisering visar sig vara en potentiell malm krävs normalt ytterligare arbeten, vanligtvis borrning, för att påvisa malmens storlek och metallhalt. Provanrikning av mineraliseringen samt fördjupade utredningar om förutsättningarna för att mineraliseringen är ekonomiskt brytvärd är viktiga steg i processen.

Arbetet från den inledande prospektering till dess att en fyndighet klassificeras som bevisad malm innebär stora kostnader, som ökar under arbetets gång. Många fyndigheter avfärdas under undersökningsarbetenas gång eftersom de inte



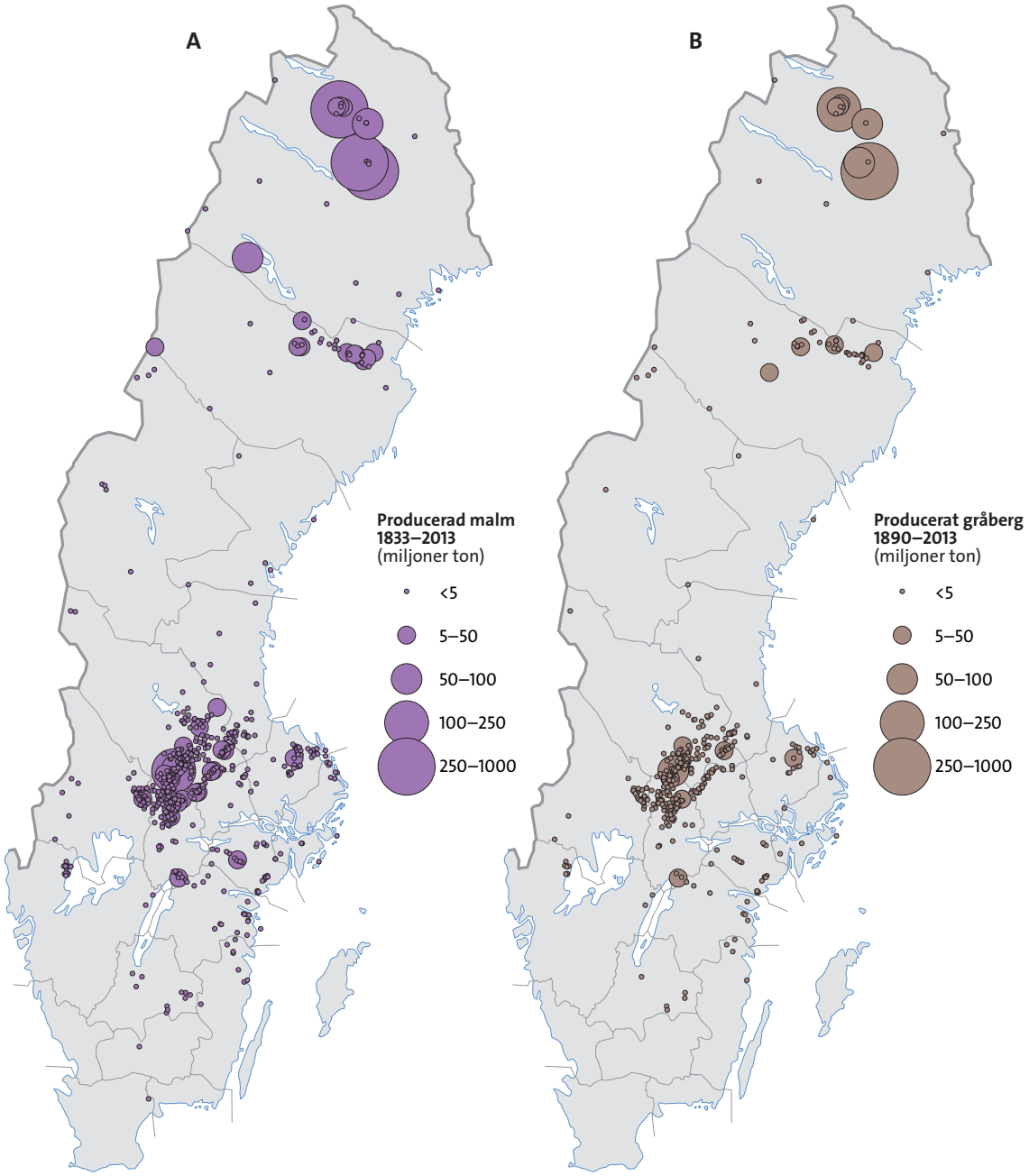
Figur 4. Undersökningstillstånd (blå färg) och bearbetningskoncessioner (röd färg). Källa: Databasen Mineralrättsregistret.

bedöms vara möjliga att utvinna av ekonomiska skäl eller med hänsyn till omgivningsfaktorer som hindrar eller försvårar eventuell utvinning.

Prospektering innebär ofta stora kostnader, men dessa är små jämfört med kostnaderna för att starta en gruva för utvinning av en fyndighet.

Sveriges samlade malmproduktion genom tiderna

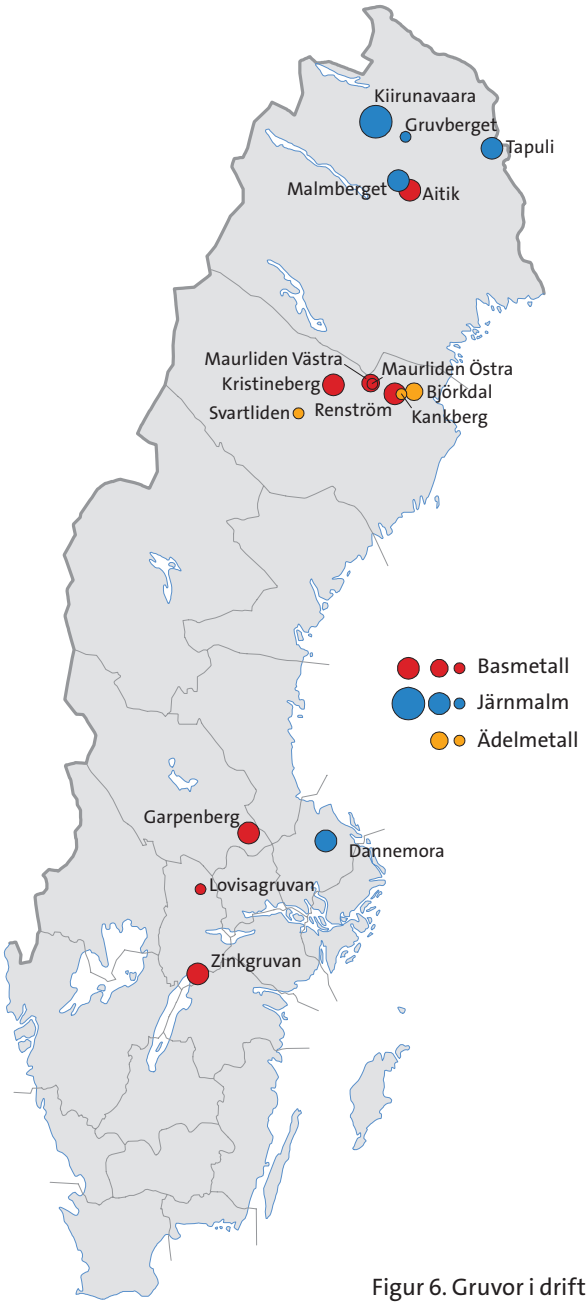
Den samlade malmproduktionen i Sverige, så långt tillbaka som pålitliga statistiska uppgifter finns tillgängliga (c. 1830-talet), är ungefär 3100 miljoner ton malm. Av denna mängd utgörs huvuddelen, eller 68 %, av järnmalm och 30 % av malm innehållande basmetaller, huvudsakligen koppar, bly och zink, men även mindre mängder kobolt och nickel. Ädelmetallmalmer med guld



Figur 5. Karta som visar **A.** den ackumulerade malmproduktionen och **B.** den ackumulerade gråbergsproduktionen för c. 800 gruvor och gruvområden från 1800-talet till 2013 (SGU malmproduktion).

och silver utgör 1 % och malm med legeringsmetaller som volfram och molybden 0,2 %. Utöver detta finns en del industrimineralmalm, huvudsakligen grafit, flusspat och andalusit, som i statistiken rapporteras tillsammans med metallerna. Dessa utgör 1 % av den totala mängden bruten malm. För att kunna utvinna malmen bröts under samma tidsperiod ungefär 1 700 miljoner ton gråberg (komplett statistik finns från 1894 till 2013). Av detta gråberg har ca. 15 miljoner ton återanvänts som malm i sovringsverk och anrikningsverk. En beskrivning av tillgänglig malmstatistik tillsammans med en kort text om Sveriges malmhistorik finns i Bilaga 2 avsnitt Historik och statistik.

Den samlade malm- och gråbergsproduktionen kommer från 833 gruvor och gruvområden där de allra flesta redovisar en mycket liten produktion (fig. 5). Från malmproduktionsstatistiken går det dessutom att uppskatta den mängd metall som hämtats från svenska gruvor genom att använda



Figur 6. Gruvor i drift 2013. (FODD 2013).

publicerade och opublicerade uppgifter om metallhalt för de olika malmerna. Mera noggranna beräkningar går i dagsläget inte att utföra då vi saknar metallhalternas variation med tiden för flera malmer. En beräkning av den totala mängd metall som brutits i gruvor åren 1833–2013 finns redovisad i tabell 3, kolumnen ”mängd metall producerad 1833–2013”. Notera att de redovisade mängderna metall i tabell 3 inte representerar mängd producerad metall utan är en uppskattning av hur mycket metall som utvunnits som malm. Alla efterföljande steg som sovring och anrikning medför vissa metallförluster.

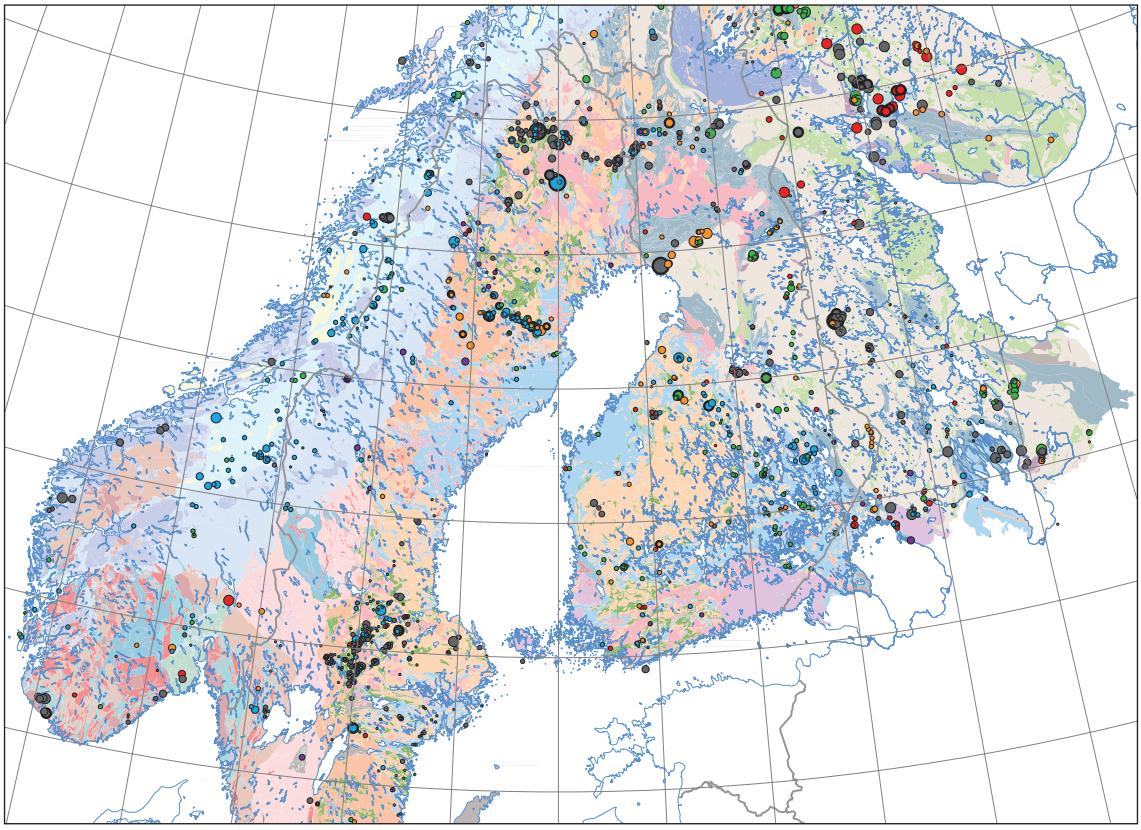
Sveriges malmproduktion 2013

År 2013 var 16 gruvor i drift i Sverige (tabell 1 och figur 6). Den totala produktionen var drygt 80 miljoner ton fördelat på 52 % basmetaller (koppar, zink och bly), 45 % järn och 3 % ädelmetaller. De största malmproducenterna var Aitik, Kirunavaara och Malmberget som tillsammans stod för 82 % av malmproduktionen. Under 2013 produ-

Tabell 1. Gruvproduktion 2013.

Gruva	Ägare	Malmtyp	malm och gråberg under-jord (ton)	malm och gråberg dag-brott (ton)	Produktion styckemalm (ton)	Produktion an-rikningsmalm (ton)	Total gråbergs-produktion	Total malm-produktion (ton)
Dannemorafältet	Dannemora Mineral AB	järnmalm	2953272			2661534	291738	2661534
Zinkgruvan	Lundin Mining	zink-bly-silvermalm	1346547			911 000	221547	1125 000
Zinkgruvan	Lundin Mining	kopparmalm				214 000		
Lovisagruvan	Lovisagruvan	zink-blymalm	69316			40500	28816	40500
Garpenbergsfältet	Boliden	koppar-zink-blymalm	2315184			1592924	722260	1592924
Maurliden Västra	Boliden	koppar-zink-blymalm		1213674		70115	1143559	70115
Maurliden Östra	Boliden	koppar-zink-blymalm		350704		205915	144789	205915
Svartliden	Dragon Mining	guldmalm	402428	361344		414747	349025	414747
Kristineberg	Boliden	koppar-zink-blymalm	979680			680565	299115	680565
Björkdal	Elgin Mining	guldmalm	717300	3499670		1261366	2955604	1261366
Renström	Boliden	koppar-zink-blymalm	493431			293446	199985	293446
Kankberg nya	Boliden	guld-tellurmalm	579015			297800	281215	297800
Tapuli	Northland	järnmalm		12390492		3687821	8702671	3687821
Aitik	Boliden	kopparmalm		75309755		37069555	38240200	37069555
Malmberget	LKAB	järn-apatitmalm	17816205			10530051	7286154	10530051
Kirunavaara	LKAB	järn-apatitmalm	29435900		843134	18171865	10420901	19014999
Gruvberget	LKAB	järn-apatitmalm		2125267		1619994	505273	1619994
Summa (miljoner ton)			57,1	95,3	0,8	79,7	71,8	80,6

Källa: Bergverksstatistik 2013 (SGU 2014), Periodiska publikationer 2014:2 (SGU 2014), www.lundinmining.com



Figur 7. Metallmineraliseringar i Fennoskandiska skölden. I Sverige finns en ansenlig mängd av dessa. (FODD).

cerades 72 miljoner ton gråberg. Information om malmproduktionen kommer från Bergverksstatistik 2013, gruvorna läge från FODD.

Tillgångar i svensk berggrund

De viktigaste mineraltillgångarna med de mest tillförlitliga uppgifterna om mängd malm och metallhalter är de mineralreserver som rapporteras av gruv- och prospekteringsbolag och som följer internationellt accepterade rapporteringsmetoder, det vill säga bevisad och sannolik mineralreserv Mineralreserverna utgör den malm som planeras att brytas i gruvorna de närmaste åren. Bilaga 2 ”Malm, malmvärde och rapporteringsstandard” innehåller en mera utförlig beskrivning av de internationellt accepterade rapporteringssystemen för mineralreserver och mineraltillgångar. Tillsammans med, och också enligt något internationellt accepterat rapporteringssystem, redovisas mineraltillgångar (känd, indikerad och antagen mineraltillgång). Dessa tillgångar är väl kända till läge, storlek och metallhalt men det har ännu inte utförts någon lönsamhetsstudie som visar att de går att bryta på ett lönsamt sätt. En stor del av mineraltillgångarna kommer, med fortsatt arbete kunna omvandlas till mineralreserver och de kommer med stor sannolikhet att vara en viktig tillgång inom de närmaste decennierna. I andra hand kommer de historiska uppgifter om mineraltillgångar som sammanställts innan internationellt accepterade regelverk fanns tillgängligt. Dessa historiska uppgifter ger ett utmärkt underlag för förekomsten av prospekteringsintressanta fyndigheter men kräver ytterligare prospekteringsarbete innan de kan klassas som mineraltillgångar eller mineralreserver enligt moderna regelverk.

Till de mera osäkra mineraltillgångarna hör uppskattningar av kvarvarande mineralisering i nedlagda gruvor samt uppskattningar av ännu inte upptäckta tillgångar som kan beräknas med olika statistiska metoder.

Mineralreserver och mineraltillgångar

SGU har sedan några år digitaliserat information om rapporterade mineralreserver och mineraltillgångar för gruvor och prospekteringsobjekt i Sverige, information som samlats i databasen Reserver&tillgångar. Informationen har häm-

Tabell 2. Mineralreserver 2013.

Gruva	Mineralreserver (Mt)	Fe %	Cu %	Zn %	Pb %	Au g/t	Ag g/t	Mo g/t	Te g/t
Dannemora	29,1	34,2							
Zinkgruvan	11,809			9,0	3,6		76,2		
Zinkgruvan (Cu)	3,875		2,2	0,4			31,1		
Garpenberg	36,3			4,6	1,9	0,3	131,9		
Grängesberg	82,4	37,2							
Maurliden Västra	1,6		0,4	3,4	0,4	1,4	49,9		
Svartliden	0,41					2,2			
Kristineberg	7,54		0,6	6,2	0,4	0,6	41,1		
Björkdal	0,0858			0,0		1,3	0,0		
Renström	3,51		0,8	6,7	1,0	1,8	148,1		
Kankberg nya	3,27					3,8	14,4		182
Tapuli	94,5	26,3							
Sahavaara stora	70,4	41,4							
Aitik	633		0,24			0,14	1,7	29,1	
Malmberget	297	42,1							
Kirunavaara	656	46,7							
Gruvberget	5	53,0							

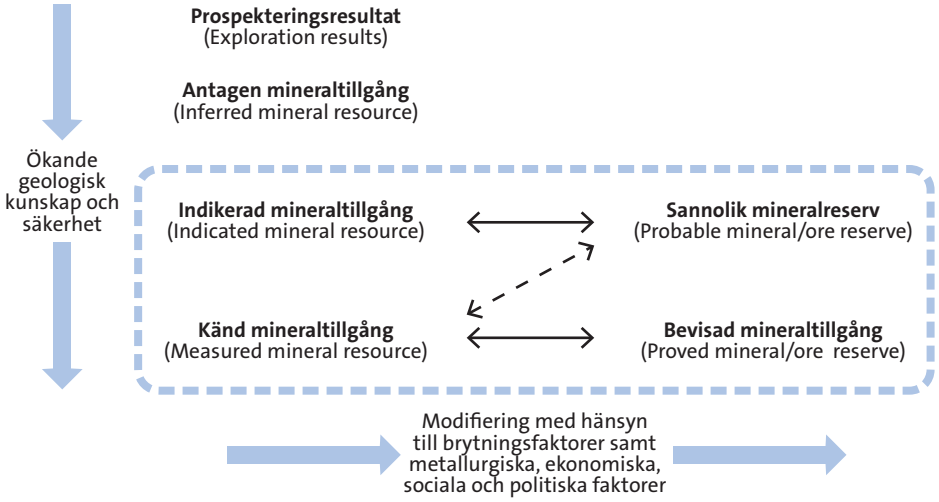
tats från årsrapporter, faktasidor från gruv- och prospekteringsbolags webbplatser, pressreleaser samt publicerade och opublicerade dokument (Ytterligare information i Bilaga 2 Malmhistorik och malmstatistik). Idag innehåller databasen uppgifter om 87 enskilda objekt med rapporterade mineraltillgångar, av dessa rapporteras mineralreserver för 17 objekt, de flesta av dem gruvor i drift. I databasen finns rapporterade tillgångar för en del gigantiska men mycket låghaltiga fyndigheter. Till denna kategori hör bl.a. flera alunskifferfyndigheter där uran men även andra metaller finns rapporterade, t.ex. Ranstad, Häggån, Myrviken (Viken). Andra exempel är stora men låghaltiga nickelfyndigheter och järn-titan-vanadinfyndigheter i lagrade intrusioner. Beräkningarna av metallinnehållet i dessa fyndigheter redovisas separat då det enorma metallinnehållet inte är direkt jämförbart med beräkningarna för mera traditionella malmtyper. De utgör en betydande tillgång men kan, med dagens metallpriser, vara svåra att överföra till reserver.

1. Mineralreserver rapporterade enligt något av de gängse rapporteringssystemen (JORC-code, NI 43-101, FRB-sandard). Information finns för de flesta av de gruvor som är i drift idag samt för framskridna prospekteringsobjek.. De totala mineralreserverna uppgår till 1943 miljoner ton malm. Tabell 2 visar rapporterade mineralreserver 2013 (Bevisade och sannolika).

2a. Mineraltillgångar rapporterade enligt någon av de gängse rapporteringssystemen (JORC-code, NI 43–101, FRB). Inkluderar samtliga akriva gruvor samt ett flertal framskridna prospekteringsobjek. Totalt är 3780 miljoner ton rapporterade i denna kategori.

2b. Mineraltillgångar i stora men låghaltiga fyndigheter som rapporterats enligt något av de gängse rapporteringssystemen (JORC-code, NI 43-101, FRB). Inkluderar flera uran-fyndigheter (t.ex. Ranstad, Häggån, Myrviken (Viken)), nickelfyndigheten Rönnbäcken i Västerbotten samt tillgångar från järn-titan-vanadinfyndigheter. Totalt är 6570 miljoner ton rapporterade i denna kategori.

Det beräknade metallinnehållet i respektive kategori finns summerat i tabell 3.



Figur 8. Reserver och tillgångar.

Historiska tillgångar (kategori 3)

För 156 fyndigheter finns enbart äldre uppgifter om mineraltillgångarna. Dessa rapporter följer inte något av de internationellt accepterade regelverken, vanligen beroende på att de sammanställdes innan internationellt accepterade regelverk existerade. Dessa äldre uppgifter har, även om de vid publiceringen betecknades som reserver, alltid markerats som tillgångar då uppgifter om reserver är en färskvara och snabbt kan ändras av t.ex. ändrade metallpriser. För de flesta av de kända sulfidmalmerna i fjällkedjan, åtskilliga järnfyndigheter i Norrbotten och Bergslagen, samt mängder med olika objekt runt om i Sverige finns uppgifter om tillgångar. Ett flertal fyndigheter med mineraltillgångar som tidigare betecknades som historiska har de senaste åren, genom prospekteringsarbeten, klassats som mineraltillgångar eller mineralreserver enligt modern standard och en del är idag producerande gruvor De totala rapporterade mineraltillgångarna i fyndigheter i denna kategori är 790 miljoner ton Det beräknade metallinnehållet i historiska tillgångar finns summerat i Tabell 3, kolumnen ”mineraltillgångar, historiska data”.

Kvarvarande mineraltillgångar i nedlagda gruvor

För hundra år sedan var 300–350 metallgruvor i drift i Sverige, idag har vi bara 16 aktiva gruvor. De flesta av de drygt 300 gruvorna som stängts under det senaste seklet lades ner eftersom malmen, d.v.s. den del av mineraliseringen som kunde utvinnas med lönsamhet, var slut. Vanliga orsaker till bristande lönsamhet var fallande metallpriser, bergtekniska svårigheter, brist på utvinningsteknik och ekonomisk och tekniska problem att hämta upp malmen från stora djup.

I vissa fall har skälet till nedläggning varit mera drastisk som gruvbränder eller större ras. Att en gruva stängs för att mineraliseringen tagit slut är mycket ovanligt.

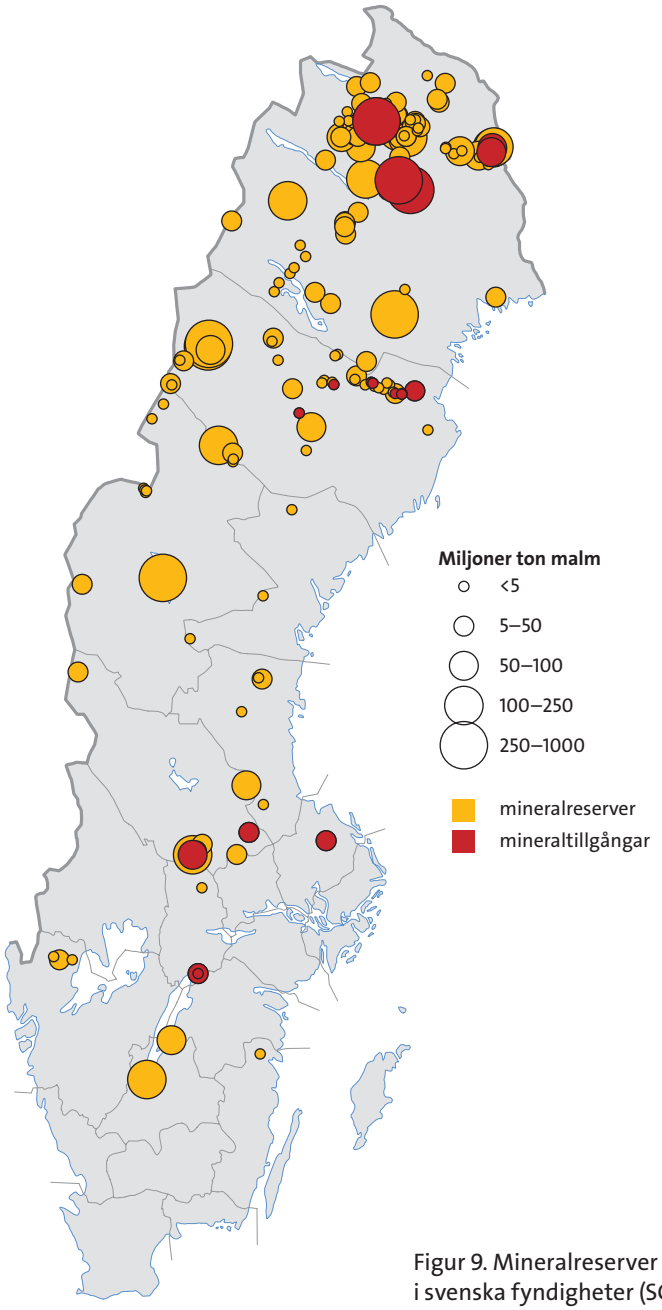
Flera av de faktorer som gjorde gruvbrytningen olönsam tidigare kan idag ha försvunnit och stigande metallpriser och bättre teknik kan göra en nystart av gruvan lönsam. Under de senaste åren har flera nedlagda gruvor öppnats på nytt och för ännu fler nedlagda gruvor finns framskridna planer på en nystart av gruvan. Exempel på nedlagda gruvor som öppnats på nytt är Dannemora och Gruvberget. De nedlagda gruvorna Leveäniemi, Grängesberg, Blötberget, Håksberg är exempel där nya moderna beräkningar av mineraltillgångarna har publicerats och där en nystart planeras.

De flesta av de stängda gruvorna i Sverige har brutits till relativt måttliga djup i förhållande till de djup som modern teknik klarar av. Uppgifter om brytningsdjup går att hämta från de gruvkartor som enligt lag lämnas till Bergsstaten vid en stängning men dessa data har ännu inte samlats i databas. Uppgifter på det utbrutna tonnaget finns tillgängligt och i de flest fall finns metallhalter tillgängliga.

En förenklad beräkning av den kvarvarande mängd mineralisering som finns i en nedlagd gru-

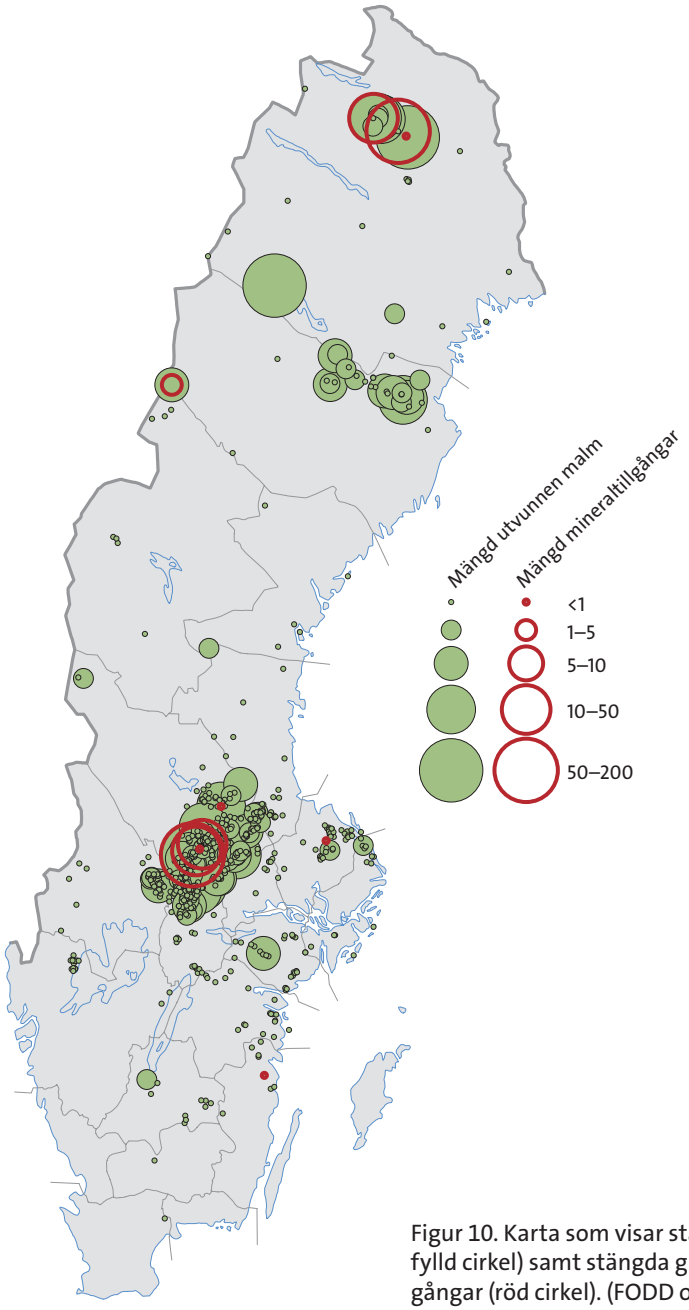
Tabell 3. Denna Tabell visar metallinnehållet i malm som brutits i Sverige 1833–2013, all malm som bröts under 2013, rapporterade mineralreserver och mineraltillgångar samt modellberäkningar på metallinnehåll i ännu oupptäckta tillgångar. Mängden metall som producerats åren 1833–2013 är en summering av data från den Fennoskandiska fyndighetsdatabasen (FODD). Mängd metall som producerats 2013 kommer från SGU-publikationen Bergverksstatistik 2013.

Metall (kemisk beteckning)	Enhet	Mängd metall producerad 1833–2013	Mängd metall producerad 2013	Mineral-reserver, 2013, kategori 1	Mineral-tillgångar, kategori 2a	Mineral-till-gångar, stora låghaltiga, kategori 2b	Mineraltillgån-gar, historiska data, kategori 3	Summa miner-altillgångar	Oupptäckta tillgångar	Summa potentialer
Järn (Fe)	Mt	1 027,64	18,65	528,58	1 005,48	54,74	135,69	1 195,92	927,78	2 652,28
Mangan (Mn)	Mt	4,11	0,05	0,16	2,66			2,66		
Koppar (Cu)	Mt	3,46	0,10	1,71	7,80	0,37	0,92	9,08	9,69	20,49
Zink (Zn)	Mt	12,03	0,23	3,49	4,97	2,10	1,02	8,09	45,97	57,56
Bly (Pb)	Mt	6,26	0,08	1,19	1,92		0,79	2,71	9,43	13,33
Guld (Au)	t	562	14	137	593		35	628	1 107	1 872
Silver (Ag)	t	17 672	360	7 842	15 287		1 777	17 064	54 565	79 471
Palladium (Pd)	t						0	0		
Kobolt (Co)	t	886				10 085	8 918	19 003		
Nickel (Ni)	t	13 524				2 216 583	132 287	2 348 870		
Krom (Cr)	t	102				0	166 760	166 760		
Molybden (Mo)	t	24 713	964	18 431	92 888	255 323	5 080	353 291		
Titan (Ti)	t	54 245			86 460	7 980 000	70 240	8 136 700		
Vanadin (V)	t	4 482				280 000	53 720	333 720		
Volfram (W)	t	125 031					565	565		
Lätta REO	t				202 561		0	202 561		
Tunga REO	t				187 949		0	187 949		
Zirkonium (Zr)	t				991 860		0	991 860		
Tantal (Ta)	t				0		48	48		
Tellur (Te)	t	49	49	594	486		0	486		
Litium (Li)	t						3 180	3 180		
Antimon (Sb)	t	434					10 200	10 200		
Tenn (Sn)	t						420	420		
Uran (U)	t				16 221	690 173	1 766 634	2 473 028		
Grafit (C)	t				2 163 400		764 511	2 927 911		
Flusspat (CaF2)	t				2 828 390			2 828 390		
Fosfor (P)	t				1 811 446		744 649	2 556 095		



Figur 9. Mineralreserver och mineraltillgångar i svenska fyndigheter (SGU malmdatabas).

va kan baseras på antagandet att medeldjupet på de gruvor som stängts under de senaste hundra åren var 500 m och att mineraliseringen mot djupet har samma storlek och metallhalter som den utbrutna malmen. Med dessa antaganden skulle det kvarvarande tonnaget till 1 000 m djup vara lika stort som det tonnage som brutits till 500 m och motsvara ”mängd metall som brutits 1833–2013” i tabell 3. Enligt detta resonemang skulle en tillgång motsvarande hela den samlade produktionen från svenska gruvor fortfarande finnas kvar i de nedlagda gruvorna. Detta betyder inte att denna tillgång är möjlig att bryta. Bortsett från det faktum att antagandena kan vara felaktiga så ligger tillgången fortfarande på stora djup och är därför svårtillgänglig. De uppskattningar av kvarvarande tillgångar som diskuteras här är enbart till för att ge en grov uppfattning om hur stora tillgångar som kan finnas kvar i nedlagda gruvor.

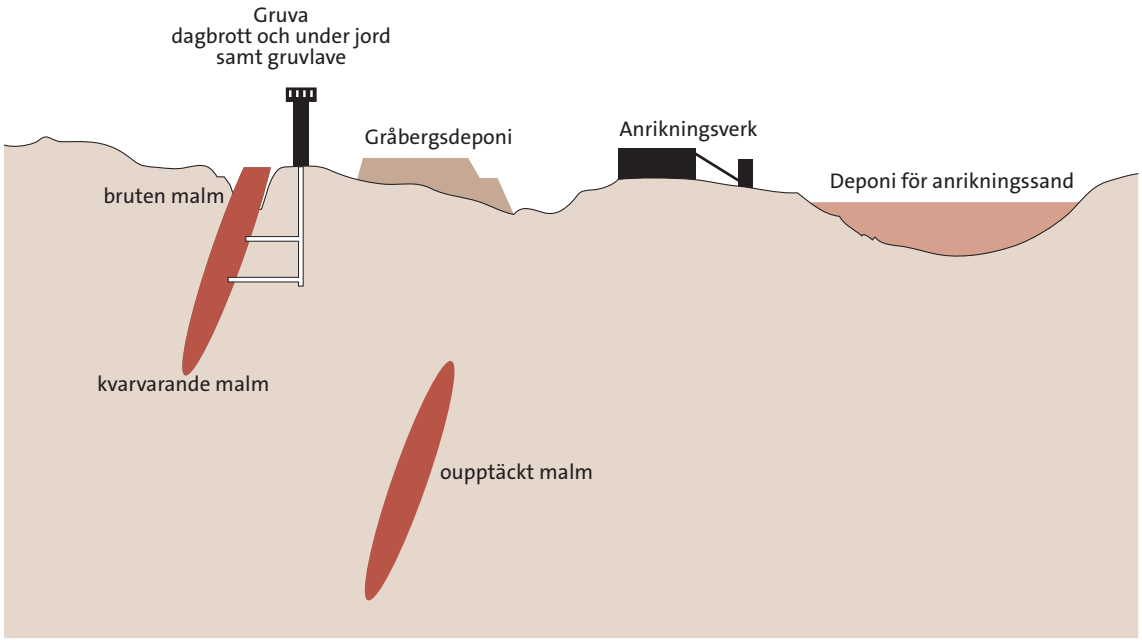


Figur 10. Karta som visar stängda gruvor i Sverige (grön fylld cirkel) samt stängda gruvor med moderna mineraltillgångar (röd cirkel). (FODD och SGU malmdatabas)

Oupptäckta tillgångar

Mineralprospektering bygger på att det fortfarande finns oupptäckta mineraltillgångar i berggrunden. För att ge ett svar på hur mycket av vårt lands totala mineraltillgångar som redan har upptäckts och hur mycket som finns kvar har flera metoder och modeller för att göra uppskattningarna av oupptäckta mineraltillgångar utvecklats. Redan 1973 publicerade USAs geologiska undersökning (USGS) en uppskattning av USAs oupptäckta mineraltillgångar för en stor mängd metaller och mineral samt ställde dessa uppgifter i relation till vad man beräknade var nationens behov fram till år 2 000. En ny studie gjordes i slutet av 1990-talet (USGS 2 000).

Några av slutsatserna i USGS senaste rapport (USGS 2 000) var att förhållandet, beräknat till en kilometers djup, mellan den totala mängden producerat guld, den kända mängden guld och den uppskattade mängden av ännu inte funna guldtillgångar var27:33:40. För silver och zink beräknades den oupptäckta tillgången till ungefär 60 % av den totala mängden metall och för koppar och bly angavs siffror runt 45 %.



Figur 11. Läget på de olika tillgångarna som diskuteras i texten.

Även om det inte går att direkt tillämpa USGSs kvantifiering av oupptäckta fyndigheter på Sverige har vi ändå gjort en översiktlig beräkning av vad USGS,s uppgifter skulle resultera i om de tillämpades på Sverige. Resultaten av den beräkningen av oupptäckta fyndigheter ned till en kilometers djup finns redovisad i tabell 3, kolumnen ”Oupptäckta tillgångar”. Dessa uppgifter som är mycket osäkra är enbart till för att illustrera vad som kan dölja sig i den svenska berggrunden.

Finlands geologiska undersökning (GTK) har använt USGS,s modellering för att uppskatta Finlands oupptäckta tillgångar av platina, palladium, guld, nickel och koppar i lagrade intrusioner (Rasilainen m.fl. 2010), nickel, koppar och kobolt i nickel-koppar förekomster (Raisilainen m.fl. 2012) och koppar, molybden, silver och guld i ”porphyry copper” mineraliseringar. Någon total summering av landets oupptäckta mineraltillgångar har ännu inte publicerats.

I Sverige har motsvarande modelleringar, men med andra statistiska metoder, utförts för Skellefteфältet (Sadeghi, 2008, Carranza & Sadeghi, 2010). Resultaten från den modelleringen säger att det kan finns 48 oupptäckta massiva sulfidmalmer kvar att hitta ner till ca 500 m djup med ett totalt uppskattat malmtonnage på 95 miljoner ton innehållande 0,709 miljoner ton koppar och 3,19 miljoner ton zink. I ett projekt från tidigt 1970-tal,”Malmstyrande strukturer i Bergslagen” (Grip m.fl. 1974), genomförde en omfattande dokumentation av gruvor i Bergslagen med syftet att påvisa malmernas fortsättning mot djupet. Någon kvantifiering av kvarvarande mängd mineralisering eller oupptäckta mineraliseringar gjordes inte men det samlade materialet kan ligga till grund för framtida undersökningar liknande de som USGS har gjort.

Genom att använda USGS uppgifter om oupptäckta tillgångar i relation till kända tillgångar och historisk produktion har vi ändå gjort en översiktlig beräkning av mängden metaller i oupptäckta fyndigheter svensk berggrund ner till en kilometers djup. De uppgifter om metallinnehåll som vi redovisar i tabell 3 är enbart till för att visa vad som möjligtvis döljer sig i den svenska berggrunden.

Informationen i kolumnerna *mineralreserver*, *mineraltillgångar 2a*, *mineraltillgångar 2b* och *mineraltillgångar, historiska data* är hämtad från SGUs malmdatabas. De antaganden och beräkningar som ligger till grund för de mycket spekulativa siffrorna i kolumnen Oupptäckta tillgångar beskrivs i texten.

METALLTILLGÅNGAR I DEPONIER FÖR RESTMATERIAL FRÅN GRUVVERKSAMHET

Restmaterial från gruvdrift inkluderar allt restmaterial som genereras vid utvinning av malm i gruvor och de följande anrikning av malm till ett mineralkoncentrat. Utöver det finns också det restmaterial som kommer från utvinning av metaller ur den anrikade malmen vid smältverk och masugnar, något som inte diskuteras i denna del av rapporten. Var och en av dessa processer resulterar i olika typer av restmaterial med olika egenskaper och sammansättning som, om de inte återutnyttjas, deponeras på olika ställen. En utförligare diskussion om restmaterial från mineralutvinning, metoder för att undersöka dessa samt en uppskattning av deponiernas storlek och metallinnehåll finns i Bilaga 3 Restmaterial från mineralutvinning.

Restmaterial från mineralutvinning kan vara intressanta för utvinning med moderna metoder av de mineral och metaller som äldre tiders anrikningsmetoder inte lyckades att utvinna men detkan också finnas mineral och metaller som var ekonomiskt ointressanta när malmen bröts och anrikades men som idag har blivit eller i framtiden kommer att bli efterfrågade. De två typer av restmaterial som är av störst intresse är gråberg, mineraliserat eller inert, och deponier för anrikningssand. Dessa diskuteras nedan.

Ytterligare information finns i bilaga 3.

Gråberg

Gråberg är bergmaterial som måste tas bort för att kunna bryta malmen. Bergmaterialet kan komma från schakt och tunnlar i sidoberget, de yttre delarna av dagbrott eller andra källor men kan även utgöras svagt mineraliserat berg och fattigare delar av malmen som måste tas bort för att kunna bryta malmen men som det inte lönar sig att processera på grund av de låga metallhalterna. Deponimalm, B-malm, sovringsavfall är andra begrepp som ryms i denna kategori av restmaterial.

På grund av sitt obetydliga ekonomiska värde har bergmaterialet vanligtvis lagts nära gruvan och har använts för att bygga upp infrastrukturen runt gruvan. I många fall har materialet använts som malm i ett senare skede när stigande metallpriser, förbättrad anrikningsteknik eller överkapacitet i anrikningsverk har gjort det möjligt att processera materialet för ekonomisk vinning.

Materialet kan även användas som ballast utanför gruvan om billiga transporter är tillgängliga och avståndet till användningsplatsen inte är för stort, även efter det att gruvan är stängd.

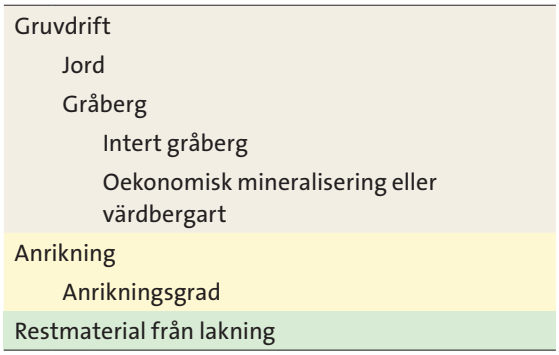
Kartan i figur 5b visar läge och ackumulerad mängd bergmaterial för c. 800 gruvor och gruvområden från 1800-talet till 2013.

Någon uppskattning av metallinnehållet i gråbergdeponier har inte varit möjligt att genomföra eftersom uppgifter om metallhalterna är alltför få och materialet mycket inhomogent. Data om mängd gråberg kommer från SGUs malmproduktionsdatabas.

Anrikningssand

Anrikningssand är det restmaterial som blir kvar när malmen har krossats, malts och genomgått någon form av anrikning (magnetisk, gravimetrisk, kemisk, flotation) där de värdefulla mineralen har extraherats. Anrikningssanden deponeras vanligen i dammar som hålls vattentäckta eller som täcks med jord när anläggningen stängs. Vid äldre anrikningsverk deponerades anrikningssanden i närmaste sänka eller vattendrag utan tanke på senare vatten- eller jordövertäckning. I många fall ligger anrikningsverket i direkt anslutning till gruvan men det finns exempel där malm transporteras flera tiotals kilometer, ex. vis malm från Kristineberg som fraktas till anrikningsverket i Boliden, 91 kilometer österut. Syftet med anrikningsprocessen är att skilja de värdefulla mineralen från resten av malmen. I praktiken går det inte att med ekonomisk vinning nå fullt utbyte utan en del av de värdefulla mineralen följer med restmaterialet och hamnar i sandmagasinet. För sulfidmalmer ligger utbytet på ungefär 90 %, d.v.s. 10 % av de ekonomiskt mest intressanta mineralen hamnar i restmaterialet. För skarnjärnmalmer är utbytet betydligt lägre, ungefär 50 %, men för guldmalmer ligger utbytet över 90 %. Metallinnehållet i anrikningssanden går att beräkna från halter och mängd ingående malm och halter och halter och mängd producerat koncentrat om de uppgifterna finns tillgängliga, alternativt går det att uppskatta utbytet och beräkna anrikningssandens metallinnehåll från ingående mängd anrikningsmalm till anrikningsverk. Anrikningssand är den ekonomiskt sett mest intressanta typen av restmaterial från gruvdrift eftersom den redan är uppfordrad från gruvan, krossad och mald, sanden ligger samlad i dammar och är lättillgängligt, metallinnehållet är relativt jämt fördelat, tonnaget är ofta stort, metal-

Figur 12. Förslag på indelning av restmaterial från malm och metallutvinning.



Tabell 4. Bedömda metallmängder i sandmagasin. Källa för information om fosfor och REE: LKAB. Källa för övrig information: SGUs malmdatabas.

Metaller i sandmagasin	ton
Järn	52 043 792
Koppar	358 251
Bly	640 349
Zink	1 206 140
Guld	45
Silver	1 845
Antimon	43
Fosfor	1 500 000
Mangan	189 686
Wolfram	2 005
Molybden	1 645
REE	41 000
Arsenik	500

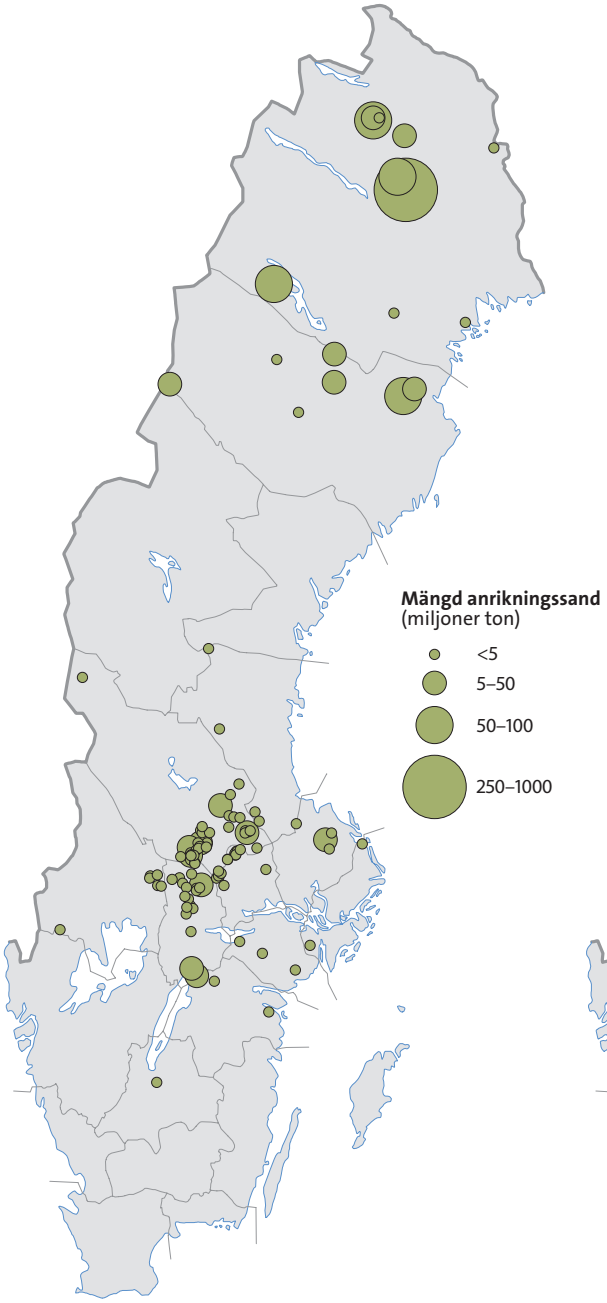
linnehållet går att uppskatta och en provtagning av materialet är relativt okomplicerad. Vidare så är restmaterial i form av anrikningssand från flera gruvor ofta samlade på ett ställe. Det finns dock åtskilliga problem, materialet är alltför finkornigt för att lakningslösningar ska kunna passera och mineralogin är inte alltid densamma som i den friska malmen då mineral i sanden har oxiderats och vittrat. Den totala mängden anrikningssand kan vara svår att beräkna då sanden ofta har använts för återfyllnad i utbrutna gruvrum. Enligt muntlig uppgift går idag nästan 50 % av anrikningssanden från anrikningsverket i Garpenberg tillbaka till gruvan. Den uppskattade mängden metall i deponier av anrikningssand finns redovisad i tabell 4. Figur 13 visar läget för och mängden producerad anrikningssand vid 111 anrikningsverk. Metoden för att beräkna metallinnehållet finns beskriven i bilaga 3 Restmaterial från mineralutvinning.

Uppskattningen av mängden metall i samtliga deponier för anrikningssand visar att deponierna skulle kunna ersätta 2013 års malmproduktion i 3 till 5 år, sen är deponierna tomma och någon annan metallkälla måste hittas.

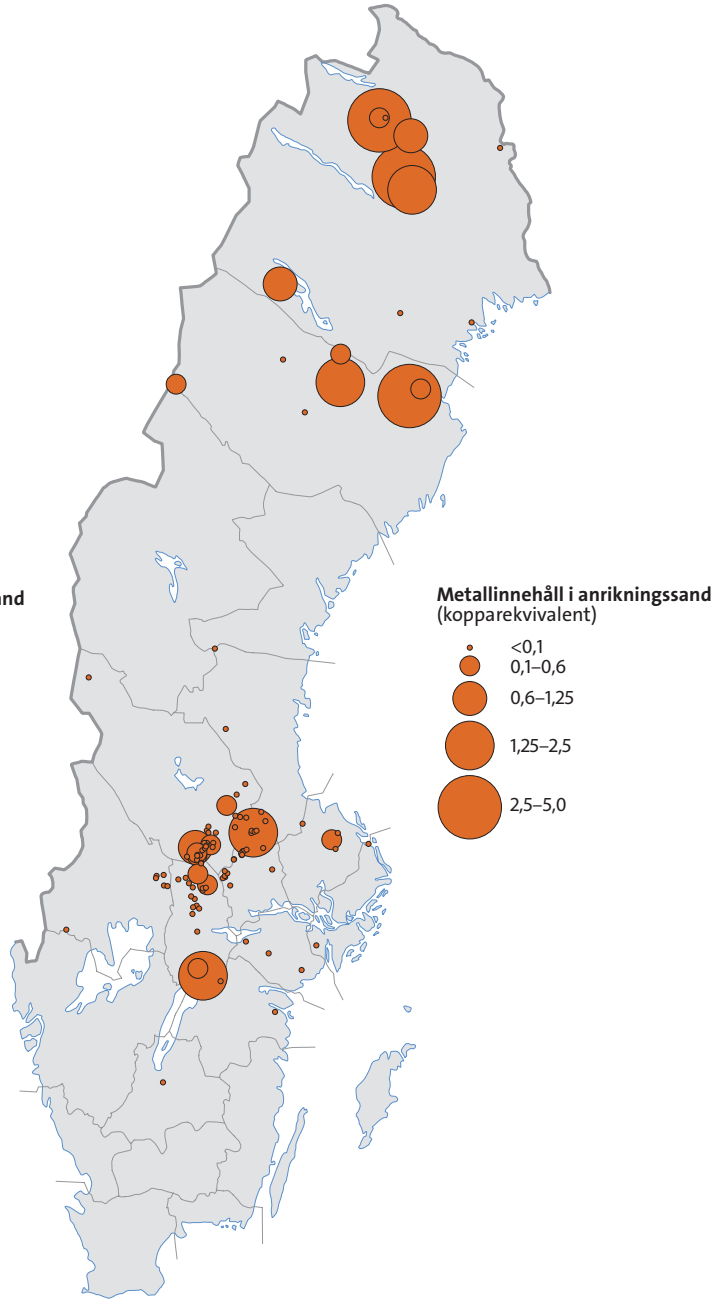
Fosfat

Fosfat är en grupp av mineral som faller utanför den återvinning av metaller som beskrivits ovan. Den dominerande användningen av fosfat eller fosfor är i mineralgödsel som växtnäringsämne till jordbruket. Den fosfat som idag används i gödsel kommer ursprungligen från importerad fosforråvara (apatit). Fosfor kan också återvinnas ur stallgödsel och slam från reningsverk. Nettotillskottet från dessa källor motsvarar cirka 25 % av den årliga tillförseln i dagsläget. Merparten av den lättillgängliga globala fosforråvaran utgörs av råfosfat i sedimentära bergarter, vilka också innehåller relativt höga kadmiumhalter. I takt med ökande livsmedelsproduktion har kadmiumhalten i råvaror ökat, och mineralgödsel med låga föroreningshalter kan komma att bli en framtida bristvara i världen. Människans exponering för kadmium sker i huvudsak via födan och kan medföra hälsoeffekter såsom njurproblem och benskörhet.

Idag tillförs fosfor till svensk åkermark, totalt 38 000 ton, i första hand i form av stallgödsel, mineralgödsel (drygt 9 000 ton), eller via slam från reningsverk. Merparten av den mineralgödsel som idag används i Sverige är producerad med apatit som fosforråvara. Ett mycket stort fosforflöde, cirka 60 000 ton fosfor per år, uppstår i svensk järnmalmsproduktion och hamnar tills vidare i sandmagasin som gruvavfall tillsammans med bl.a. REE. Gruvavfallet utgör den största lättillgängliga fosforresursen i Sverige med ett lager av cirka 1 miljon ton fosfor i Kiruna och Malmberget. Naturvårdsverket har på regeringens uppdrag utrett hur en hållbar återföring av fosfor skulle kunna utvecklas i Sverige (Naturvårdsverket, 2013).



Figur 13. Kartan visar läge för 111 anrikningsverk och mängd producerad anrikningssand.

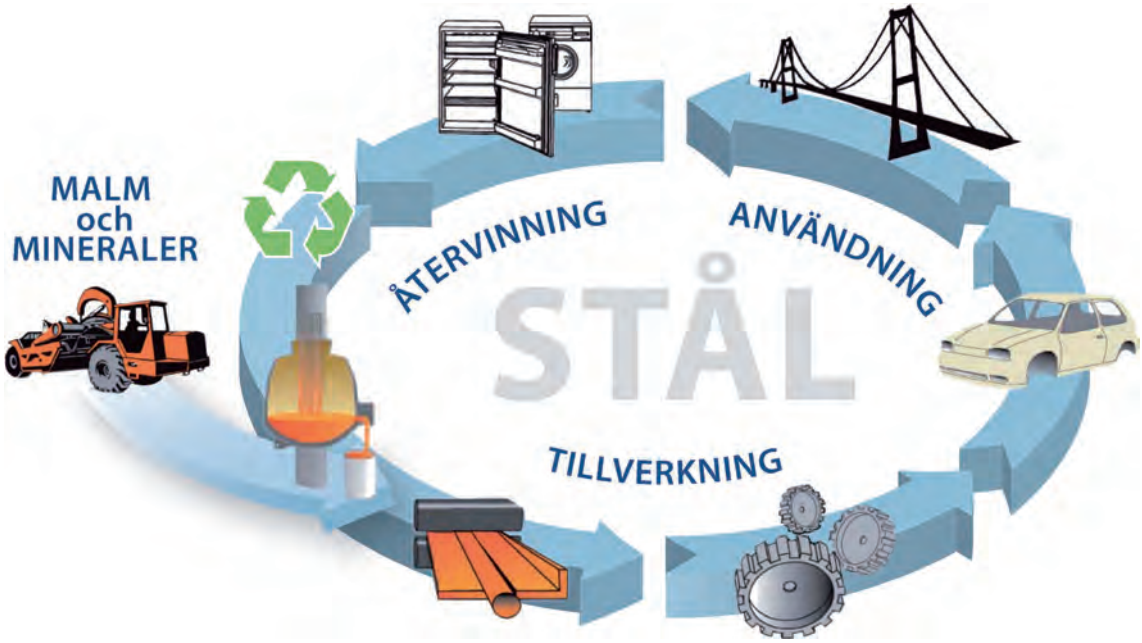


Figur 14. Kartan visar metallinnehåll i anrikningssand omräknat till kopparekvivalenter där varje kopparekvivalent motsvarar 100 000 ton koppar.

ÅTERVINNINGSPOTENTIAL FRÅN ANDRA KÄLLOR I SAMHÄLLET

Metaller är unika och många kan återvinnas igen och igen. Till exempel har stål (järn) i produkter en unik egenskap genom att det kan återvinnas som stålskrot gång på gång och vara råvara för nytt stål. Genom den industrialiserade återvinningen kan man säga att stål är ett permanent cirkulerande material. Det ”stannar” i samhället utan att konsumeras och dessutom blir det i princip fullständigt återvunnet när det blivit avfall. Detta illustreras i Figur 15.

Sverige är idag bra på att återvinna järn, aluminium och koppar och bly. Kunskapen och tekniken finns också i stor utsträckning för återvinning av andra metaller. Återvinningen skulle



Figur 15. Stålets kretslopp från utvinning, via tillverkning av produkter, användning av dem och slutligen återvinning, som kan illustrera möjligheten för många metaller att recirkulera och ”stanna kvar” i samhället (Jernkontoret 2014).

kunna ökas för metaller där återvinningsgraden idag generellt är lägre. Sverige är världsledande på tillverkning av specialstål med tillsatser av många legeringsmetaller. För att möta behovet av legeringsmetaller är det viktigt att fortsätta utveckla och ytterligare öka återvinning av metall i allmänhet och legeringsmetaller i synnerhet.

Kapitlet om återvinningspotential från andra källor i samhället baseras på bilaga 5–10. Bilagorna utgörs av sammanställningar av uppgifter om mängden metall och mineral i omlopp och möjligheter till återvinning, utifrån olika branscher med omfattande hantering av metall. Uppgifterna visar att det finns en hel del information hos olika aktörer i branschen om metalltillgångar vad gäller uppskattade mängder. Det är dock tydligt att informationen inte är heltäckande och huvudsakligen rör basmetaller. Vad gäller legeringsmetaller och framförallt vad gäller sällsynta jordartsmetaller, är informationen betydligt mer bristfällig.

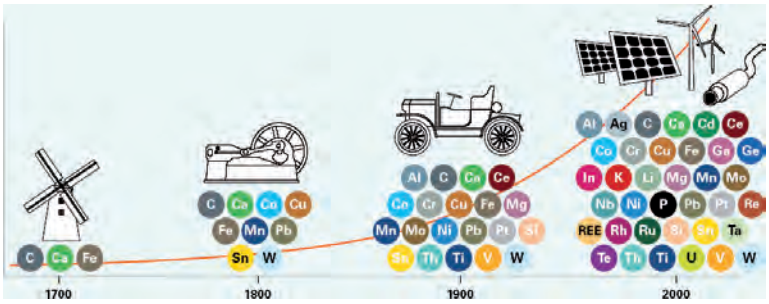
Återvinning av metall har ökat kraftigt

Människan har alltid försökt återvinna och återanvända material utifrån olika drivkrafter och incitament, för överlevnad, ekonomisk vinning eller utifrån lagstiftarens krav. I vårt samhälle genererar vi stora mängder avfall. Mängden avfall är nära förknippad med våra konsumtions- och produktionsmönster. På en global nivå gör mångfalden av avfallstyper och de komplexa vägarna för avfallsbehandling det svårt att få en kvantitativ överblick över det avfall som genereras och var det finns någonstans. På svensk nivå kan en mer samlad bedömning göras, även om statistiken inte är heltäckande.

Metallanvändningen i samhället har historiskt sett ökat med ökad välfärd. Samhällsutvecklingen i stort gör att behovet av metall bedöms fortsätta öka. Mängden metaller i samhället i olika konstruktioner och produkter, vars livslängd tagit slut eller är på väg att ta slut, är idag stor. Det medför att återvinning är av stor betydelse och nyttorna med återvinning flera.

Den förändring som ses på energimarknaden mot fler system som använder förnyelsebara energikällor innebär att metallbehovet ökar ytterligare för att producera energi. I figuren 16 visas vilka metaller och mineral som historiskt varit viktiga för energiproduktionen i världen. Figuren kan också illustrera hur användningen av olika metaller ökat med tiden sedan 1700-talet fram till idag.

Framtidens metallprodukter bedöms generellt också komma att innehålla fler och kanske också större mängder legeringsämnen jämfört med idag.



Figur 16. I samhället har användningen av mängden metall och mineral, liksom antalet metaller, ökat med tiden sedan den industriella utvecklingen och med ökande välfärd (bilaga 6).

I ny elektronik och inom miljöindustrin används också en hel del mindre vanliga metaller som REE, indium, germanium, etc., i ökande omfattning. Exempelvis innehåller en modern mobiltelefon i storleksordningen 40 olika metaller.

Under de senaste årtiondena har återvinningen av skrot innehållande järn, stål, basmetaller (Cu, Pb, etc.) samt ädelmetaller ökat kraftigt. För de mindre vanliga metallerna är återvinningen ännu mycket blygsam. Återvinningen av stålskrot har i Sverige gått från cirka 50 % på 1950-talet till 92 % år 2010, vilket illustreras i figur 17. Det har varit möjligt till följd av utveckling av processer och tekniskt kunnande vilket också ger höga återvinningsgrader.

Några viktiga återvinningsbegrepp

I följande avsnitt används begreppet ”återvinning” i en ganska vid betydelse, och det är återvinning av metall som avses. Andra begrepp som används är ”återanvändning”, ”recirkulation” eller ”återcirkulation”. Med det kan man avse återvinning, men det kan också handla om återcirkulation av till exempel energi, värme eller vatten i industriella eller andra processer, återanvändning av material. Livscykel räknas som tiden från det att produkten skapas till dess att den förstörs.

Begreppet återvinningsgrader

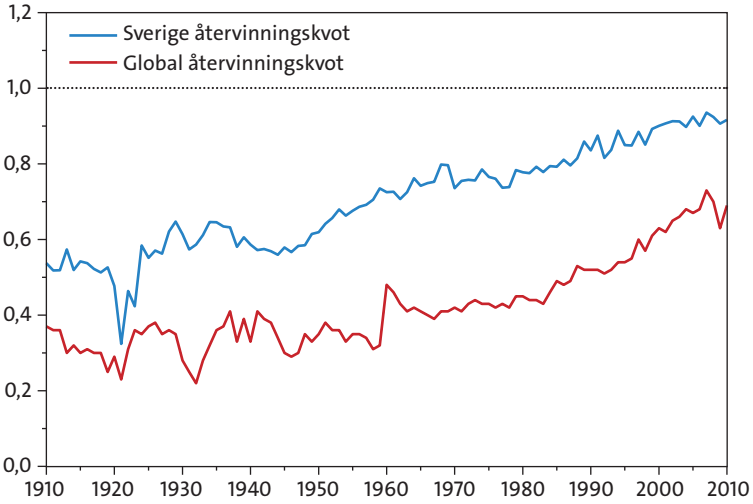
Utbytet i återvinning, återvinningsgraden, kan mätas på olika sätt. UNEP Resource Panel definierar tre olika återvinningsgrader: (betydelsen av g, d etc. framgår av figuren som följer):

EOL-RR (*end of life recycling rate*): hur stor del av avfallet från uttjänta produkter som återvinns,
EOL-RR = g/d (om funktionell återvinning),
EOL-RR = f/d (om icke-funktionell återvinning)

EOL-RC (*end of life recycled content*): hur stor del av användningen som täcks av återvunnet material
RC = (j+m)/(a+j+m)
EOL-OSR (*end of life old scrap collection rate*): hur stor del av det återvunna materialet som kommer från uttjänta produkter som gått igenom hela sin livscykel och inte från produktionsspill.
OSR = (g)/(g+h) = e/d
Recycling process efficiency rate = g/e, dvs. återvinningsgrad (eller utbyte) över enskilda återvinningsprocesser.

I figur 18 illustreras en förenklad livscykel för metaller där de begrepp som används ovan beskrivs.

Vid återvinning skiljer man på funktionell och icke-funktionell återvinning. Vid funktionell återvinning behålls de fysiska och kemiska egenskaperna som ett material ursprungligen designades för och används på nytt. Icke-funktionell återvinning resulterar i ett fullt användbart, men nedgraderat material, där de ursprungliga egenskaperna förlorats. Skillnaden är tydlig i definitionen av EOL-RR ovan. Skillnaden mellan funktionell och icke-funktionell gäller generellt, men typiska fall är vid återvinning av komplexa material som metallegeringar. Det är vanligt att man prioriterar att återvinna en eller några få av de metaller som ingår, medan andra metaller följer med men förlorar sin ursprungliga funktion. Återvinningen resulterar då i ett fullt användbart, men nedgraderat material. Ett exempel är höghållfasta specialstål för fordon som efter återvinning ofta utnyttjas som mer lågvärdigt stål där legeringsmetallerna inte kommer till nytta. Järnet kan då sägas vara funktionellt återvunnet, medan legeringsämnena är icke-funktionellt återvunna såvida man inte återvinner dem från slagg eller stoft om de hamnar där.



Figur 17. Utvecklingen av återvinningen av stålskrot i Sverige i jämförelse med återvinning i världen, utifrån återvinningskvoter mellan 1920-talet fram till idag (Gauffin m.fl. 2014).

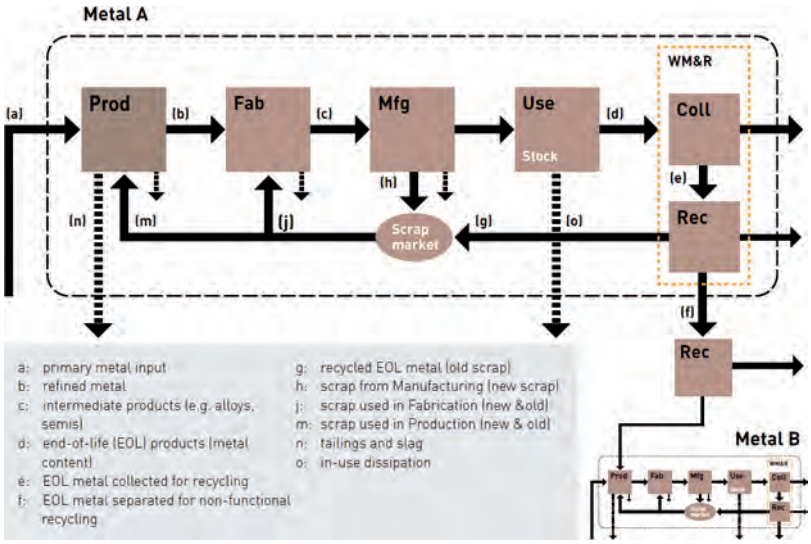
Återvinningsgrader i ett globalt perspektiv

I tabell 5 visas den funktionella återvinningsgraden efter konsumtion (EOL-RR) för sextio metaller som grundämnen utifrån ett globalt genomsnitt. Ur tabell 5 kan utläsas att återvinningsgraden idag generellt är högre för basmetaller som järn, koppar och aluminium, än för legeringsmetaller som molybden och vanadin. Det är den funktionella återvinningsgraden vid återvinning av uttjänta produkter i konsumtionsavfall, EOL-RR, som presenteras i tabell 5. Det innebär att återvinning av produktionsavfall inte finns med i sammanställningen. tabell 5 motsvarar återvinningsgraden utifrån ett nuvarande, globalt genomsnitt. För vissa material skiljer sig återvinning av produktionsavfall stort från återvinning av konsumtionsavfall. Ett exempel på detta är germanium, som återvinns till närmare 60 % från visst produktionsavfall, men där återvinningen av konsumtionsavfall är mycket låg. De material som används som tillsatser i tillverkning och förädling av andra material, kommer aldrig att ingå i en slutprodukt och har per definition noll i återvinningsgrad. Flusspat, som är rödmarkerad i tabell 5, är ett exempel på det men som till viss del återvinns från processer såsom oljealkylering, stålbetning och urananrikning. En sammanställning utgående från svenska förhållanden har inte gjorts och skulle sett annorlunda ut, men tabell 5 belyser brister i återvinningsgraden för många ämnen.

Metoder för återvinning av metaller

Största delen av återvinning idag utgörs av att man omhändertar material där innehållet återvinns som basmetaller eller att innehållet av ”rätt legeringsmetaller” är känt för det stål eller annat material som ska tillverkas. Det finns i huvudsak två metoder för återvinning som används kommersiellt idag, vilka i princip är de samma som vid primär utvinning: pyrometallurgisk och hydrometallurgisk återvinning. Den helt dominerande metoden i Sverige och i Europa är pyrometallurgisk återvinning av stål och basmetaller. Övriga metaller och mineral fordrar ofta hydrometallurgisk återvinning. Som komplement till dessa metoder sker utveckling av nya metoder, bland annat saltextraktion, MEFOS och utvinning av metalloxider ur slagger. Metoderna beskrivs översiktligt i bilaga 4.

Det finns bland annat metallurgiska svårigheter i att omhänderta eller få ut varje metall i ett skrotmaterial. Återvinningshjulet i Figur 18 visar svårigheten att återvinna till exempel legeringsmetaller i olika matriser. Med en given process kommer vissa metaller att kunna återvinnas funktionellt medan övriga inte kommer till nytta. Så är fallet i många av specialstålverken i Bergslagen, liksom vid elektronikskrotåtervinningen i Rönnskärsverken. Det kan jämföras med svårigheterna i primärutvinning från gruva, där möjligheterna att med tillgängliga metoder få ett fullt utbyte av all metall som malmen innehåller också är begränsade. Det finns också andra begränsningar som påverkar såsom metallpriser, höga kostnader för utveckling av nya metoder, etc.



Figur 18. Förenklad livscykel för metaller för att förklara använda begrepp och illustrera hur olika återvinningsgrader beräknas (bilaga 6).

ÅTERVINNING I STÅL- OCH METALLINDUSTRIER, UR DEPONIER SAMT FRÅN URBAN MINING

Här följer en sammanställning av inhämtade uppgifter om uppskattade metalltillgångar i samhället utifrån olika branscher med stor hantering av metaller. Uppskattade mängder är inte rakt av jämförbara beroende på underlag och metodik och kan i viss mån överlappa varandra. Mängder av återvinningsbara metaller respektive det tillvägagångssätt med vilka de uppskattats framgår av bilagorna 5–10.

De olika branscher eller sakområden varifrån information är hämtad motsvarar:

- Stålindustri inkl deponier kopplade till verksamheten
- Aluminiumindustri
- Gjuteriindustri
- Elektronikavfall
- Industrideponier i övrigt
- Kommunala deponier, *landfill mining*
- Urban Mining
- Förorenade områden

Stålindustri

Inom svensk stålindustri finns väl utvecklade arbetssätt där syftet är att ta tillvara metallinnehållet till så stor del som möjligt med avancerade processer inom varje tillverkningssteg. Mängden metalliskt råmaterial som används årligen inom den svenska stålindustrin uppgick till cirka 5,6miljoner ton för 2013. Stålproduktionen var cirka 4,3 miljoner ton och det internt cirkulerande skrotet vid stålverken motsvarar cirka 1,1miljoner ton. Differensen mellan råmaterial och produktion, inklusive recirkulation, är cirka 200 000 ton och består främst av metaller ingående i slagger, oxiderat stoft och slam som inte återvinns vid stålverken.

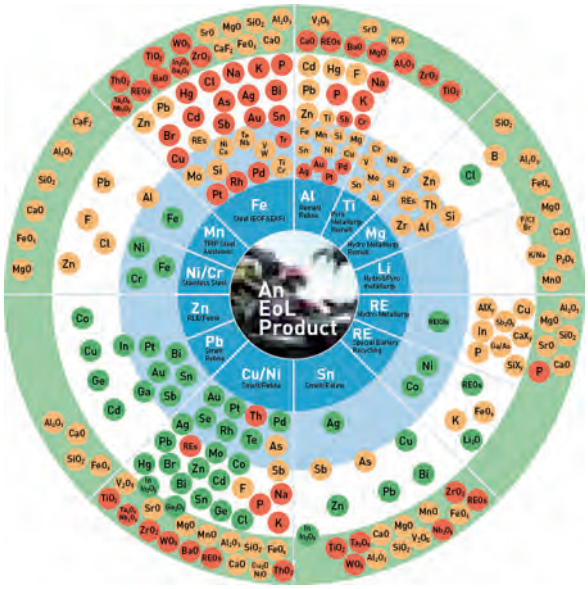
De metallurgiska slaggerna innehåller rester av stål. För att tillvarata metallvärden (järn och legeringselement) är det vanligt med olika typer av metallutvinning i slagghanteringskedjan vid stålverken. På en del verk görs detta redan i smält tillstånd där slaggen försiktigt hälls ur slaggrytan och den sista metallrika delen förs tillbaka till stålproduktionen. Vid de flesta stålverk 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. Sammantaget gör detta att slaggerna som lämnar stålverken generellt innehåller låga halter av återvinningsbara metaller.

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 avsevärt. Ur det stoft som avskiljs kan det ingående metallinnehållet återvinnas (t.ex. järn, zink, nickel, krom och molybden). Beroende på om gasreningen är torr eller våt bildas gasreningsstoft eller gasreningsslam. Stoft som uppstår vid tillverkning av rostfritt stål innehåller förutom

Tabell 5. Återvinninggrad (EOL-RR) för olika kandidatmaterial per produktkategori utifrån ett globalt genomsnitt. Grått är användningsområden utan data på återvinning. Blå innebär återvinning över 50 %. Grön 25–50 %. Gul 10–25 %. Orange 1–10 %. Röd <1 %. Violett innebär att det finns återvinning men att procentsatsen är okänd. Grönmarkerade material är inte kritiska för EU (bilaga 6).

Kandidatmaterial Användning	Ag	Al	Au	Be	Bor	Co	Cr	Cu	Fe	Fluss-pat	Fos-fat	Ga	Ge	Gips	Gra-fit	Ha	HREE	In	Kalk-sten	Koks	Li	LREE	Mag-nesit	Mg	Mn	Mo	Nb	Ni	PGM	Re	Sb	Sc	Se	Sn	Ta	Te	Ti	V	W	Zn
Batterier																																							
Belysning och optik																																							
Bränsleceller																																							
Bygg och konstruktion																																							
Eldfasta industriutrustning																																							
Elektronik																																							
Förpackningar																																							
Glas och keramiska ämnen[1]																																							
Hårdmetaller[2]																																							
Jordbruk																																							
Katalysatorer																																							
Kemisk industri																																							
Läkemedelsindustri																																							
Lödning																																							
Magneter																																							
Medicinteknik och Tandvård																																							
Motorfordon[3]																																							
Nukleär teknik																																							
Smycken																																							
Smörjmedel																																							
Solceller																																							
Stålproduktion[4]																																							
Superlegeringar[5]																																							
Övriga legeringar																																							

[1] Inkluderar ITO, [2] För förklaring se avsnitt "Förklaringar" , [3] Även flyg/rymd (ej batterier), [4] Tillsatser vid framställning av stål (ej legeringar), [5] För förklaring se avsnitt "Förklaringar".



Figur 19. ”Återvinningshjulet”, där de olika stora cirklarna från mitten och ut illustrerar olika återvinningsprocesser, och de små cirklarna olika metaller och mineral associerade med huvudmetallerna (UNEP 2013).

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 kan legeringsmetallerna återvinnas vid externa anläggningar. Från malmbaserad ståltillverkning har stoft och slam från gasreningen 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 det senare fallet förloras dock metallinnehållet ur kretsloppet.

Stålindustrin har en produktion av restprodukter på ca 2 miljoner ton per år, metallinnehållet i dessa restprodukter har inte uppskattats i denna rapport. Restprodukterna fördelar sig på olika typer av material, se figur 21. En stor del av dessa återutnyttjas för olika ändamål eller materialåtervinns med avseende på metallinnehåll. En betydande del deponeras dock fortfarande,.

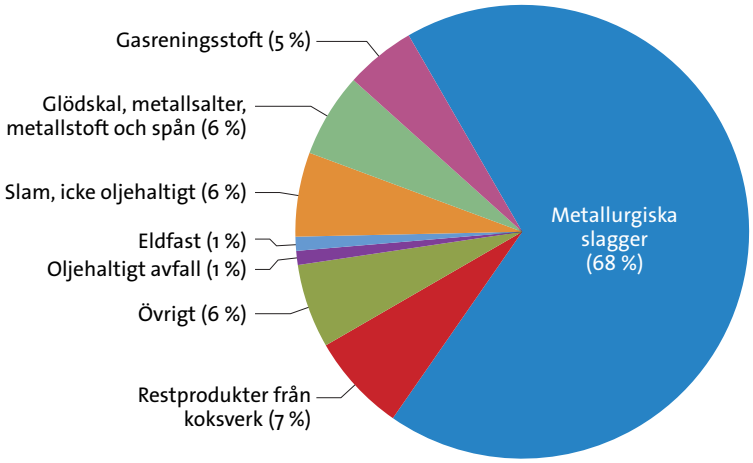
Stålindustrins deponier

I Jernkontorets sammanställning finns uppgifter om de mängder av legeringsmetaller som idag finns deponerat inom svensk stålindustri. Det påpekas dock att det inte är ett komplett underlag utan ger en storleksordning på mängden metaller, I tabell 6 redovisas indikativa mängder av metaller i industrideponier associerade till metallindustrin.

Ska metallmängderna bedömas mer detaljerat bör en förnyad studie göras med en mer specificerad inriktning. Vad gäller krom indikerar data att det kan finnas potentialer i deponierna.

Vanadin

En annan aspekt är att metaller associerade till de huvudmetaller som utvinns inte tas eller kan tas tillvara vid stålverken idag, till exempel till följd av höga kostnader eller begränsningar i tillgänglig teknik. Ett exempel på en ”outnyttjad metall” är vanadin i järnmalm. Den järnmalm som LKAB bryter innehåller drygt 0,1 % vanadin. SSAB använder i sin tur huvudsakligen sådan järnmalm vid sin stålframställning. Vanadinet hamnar i komplexa oxider i stålslaggen som är svåra att utvinna till kommersiell produkt (bilaga 10D). 2013 använde SSAB i Sverige nästan 4 miljoner ton järnmalm från LKAB, vilket ger att slaggen innehöll i storleksordningen 4 000 ton vanadin. Det motsvarar ungefär hälften av Europas behov av vanadin. SSAB i Sverige använder själva omkring 100 ton vanadin som legeringsmetall. SSAB har undersökt och fortsätter att undersöka möjligheten att återvinna vanadin, men det kräver stora investeringar i nya processer och har hitintills bedömts som olönsamt.



Figur 21. Procentuell fördelning av restprodukter som uppkommer i den svenska stålindustrin (läs mer i bilaga 10D).

ALUMINIUMINDUSTRI

I Sverige produceras 130 000 ton primärt aluminium och 60 000 ton återvinns årligen (Svenskt aluminium 2014). Återvinning av aluminium kostar en tjugondel av energin jämfört med primärproducerad aluminium. Idag är mer än en tredjedel av Europas aluminiumproduktion sekundäraluminium. Här skiljs på omsmält och återvunnet aluminium. Omsmält aluminium motsvarar mestadels processkrot, vilket finns drivkrafter hos branschen att minimera.

Återvunnet aluminium motsvarar mestadels produkter som tjänat ut (post consumer). Den andelen tjänar samhället på att öka. Idag är återvinningsgraden över 95 % för aluminium från byggnads- och transportsektorn, medan den genomsnittsliga återvinningsgraden är 73 %. Aluminiumbranschen räknar med att kunna nå en återvinningsgrad på 90 % i snitt med ett väl utbyggt återvinningssystem.

Gjuterindustri

Gjuterierna tillverkar en rad olika gjutgods och tillsätter också en lång rad legeringsmetaller. Totalt tillverkas ca 300 000 ton gjutgods per år i Sverige, importen är ungefär lika stor. I Sverige finns tre grupper av gjuterier och deras ungefärliga procentuella fördelning, utifrån metall, är följande:

- järngjuterier (75 %)
- stålgjuterier (7 %)
- icke-järnmetallgjuterier (18 %), huvudsakligen aluminium, men även koppar, magnesium, mässing, zink, brons och bly.

Tabell 6. Indikativa mängder (ton) metaller (metall + oxid) i deponerat material från stålindustrin (läs mer i bilaga 10D).

Metall	Indikativ mängd metall + oxid i deponerade material (ton)
Krom	180 000
Zink	33 000
Mangan	70 000
Magnesium	18 000
Nickel	17 500
Molybden	8 000
Vanadin	se text nedan

I den genomgång av vilka tillsatsmedel som används vid Sveriges gjuterier som gjorts av Swerea SWECAST (bilaga 5), framgår att många av de potentiellt kritiska metallerna, dvs. HREE, LREE, Pt, Ni, Nb, Cr, Li, Co, B, Be, Sb och Bi, används som tillsats i en eller flera produkter. Det har dock inte redovisats några exakta mängder av respektive metall eller mineral. Återcirkulation av metaller och mineral inom den svenska gjuteriindustrin har med åren blivit en viktig faktor, även om det fortfarande deponeras en del rester till exempel i form av slagg (cirka 30 000 ton per år), stoft och gjuterisand (cirka 70 000 ton per år). Metallinnehållet i dessa deponirester har inte uppskattats. Däremot återvinns ca 60 000 ton per år metallspån. Ytterligare information finns i bilaga 5.

ELEKTRONIKAVFALL

Utvecklingen av elektronikprodukter har under de senaste 10 åren varit mycket snabb, både sett till mängd och antal produkter. Det är en utveckling som förväntas fortsätta. Livscykeln för produkter blir i sin tur kortare och kortare, vilket gör återvinning allt viktigare. Branschen lyfter följande som viktiga ”hinder” för återvinning:

- Låga halter av ovanliga metaller finns i allt fler produkter, vilket dock inte framgår i någon produktinformation som är tillgänglig för återvinnaren,
- Många metaller finns i designen, blandat med andra material, vilket försvårar återvinningen eller gör att materialet inte lämnas till materialåtervinning,
- Förlusterna av ädelmetaller finns främst i material som inte lämnas in för materialåtervinning utan energiåtervinns i Sverige (jmf med design), och
- Förlusterna av andra metaller än ädelmetallerna i elektronikskrot kan vara stora med tanke på deras hantering utifrån design och att de finns i material som inte återvinns.

I tabell 7 visas en beräkning av insamlade materialflöden i Sverige av WEEE, utifrån Elkretsens statistik för år 2012 (Elkretsen 2012). Data indikerar mängder av metaller som återfinns i dessa olika materialflöden. Det bör noteras att de totala mängderna av bulkmetaller inom elektronikindustrin i Sverige är väldigt liten i jämförelse med samhällets totala behov.

I tabell 8 visas en uppskattning av mängden ackumulerade metaller i deponerat elektronikavfall i Sverige.

Ytterligare information finns i bilaga 7.

Återvinning i bilindustrin

En annan potentiell källa till metaller är återvinning från skrotade bilar. År 2011 skrotades totalt cirka 184 000 personbilar i Sverige. Genomsnittlig ålder för en bil i Sverige är 18 år. De flesta bilar som skrotas just nu tillverkades således sannolikt under senare halvan av 1990-talet. Information om innehållet av potentiella kritiska metaller i dessa bilar finns inte tillgänglig. Om man ska göra en uppskattning av flödena av potentiella kritiska metallerna i dagens bilåtervinning får man sannolikt en överskattning om man använder till exempel nya Volvomodeller och deras innehåll av kritiska metaller. De nya konventionella Volvo-modellerna är representativa för de fordon som kommer att skrotas om 15–20 år. Gör man således istället en uppskattning utifrån storleksordningen av de flöden som kan komma in till svensk bilåtervinning inom ett tiotal år, utifrån att antalet bilar motsvarar dagens nivå och inga radikala skiften i förfaranden eller tekniska lösningar sker, så erhålls uppskattningsvis de storleksordningar på potentiellt kritiska metall som presenteras i tabell 9. Metallinnehållet är en uppskattning utifrån en lågutrustad konventionell bilmodell (Volvo), eftersom en sådan motsvarar lika eller lägre metallinnehåll än andra modeller. Eftersom dieseldrivna bilar utgör cirka 20 % av den nuvarande personbilsparken, är mängden partikelfilter dock överskattad (som bl.a. innehåller platina). I uppskattningen i tabellen nedan inkluderas inte el- och hybridbilar eftersom dessa fortfarande är få och det bara går att spekulera i om och i så fall när ett större antal kommer att lämnas för återvinning.

Industriella deponier i övrigt

Det finns uppskattningsvis omkring 1 000 industrideponier i Sverige. Generellt har industrideponier en ganska homogen sammansättning, jämfört med kommunala deponier. Sammansättning varierar dock stort från deponi till deponi, som en följd av verksamhetens art där deponin uppkommit. En del deponier, till exempel deponier med huvudsakligt innehåll av metallhydroxidslam, kan ha högt metallinnehåll. Andra deponier såsom schaktdeponier (jord, grus och stenar) eller sågverksdeponier saknar metaller i skrotform.

Aska från förbränning av avfall, olja, kol och biobränsle är det kanske mest homogena material som återfinns i stora mängder i våra deponier (industrideponier och kommunala deponier). Det finns också en del studier gjorda där mängderna av metall i olika askor uppskattats. Sannolikt finns det mer information, i alla fall när det gäller mer sentida producerade askor, att hämta från analys av askorna som respektive avfallslämnare utfört inför deponeringen.

Det saknas dock så långt nationella antaganden om totalmängder av metaller, med undantag av beräkning av mängden järnskrot respektive icke järnhaltigt skrot, samt innehåll av aluminium, titan och koppar i askor från avfallsförbränning.

Data i Tabell 10 är hämtat från en sammanställning gjord av Linköpings universitet (bilaga 9). Endast en mycket liten del av metallerna i askorna återfinns i elementär form varför utvinning av metaller idag knappast är ekonomiskt.

Ytterligare information finns i bilaga 8.

Kommunala deponier

Uppskattningsvis finns runt 4 000 kommunala deponier i Sverige. Deponierna innehåller väldigt varierat material och innehållet påverkas av under vilken tidsperiod en deponi har använts. De kommunala deponierna som helhet är dock sannolikt relativt jämförbara och innehåller ungefär samma saker oavsett i vilken del av landet de finns. Detta gör att medelvärden för innehåll av metall kan uppskattas samlat för samtliga deponier. Många kommunala deponier innehåller dock också en blandning av hushålls- och industriellt avfall. Metallinnehållet i de kommunala deponierna i Sverige har uppskattats till 16 miljoner ton metaller i skrotform, varav cirka 80 % utgörs av järn och 20 % av icke-järn metaller. Förekomsten av basmetaller finns kartlagd (se tabell 11), medan uppgifter för andra metaller saknas.

I underlaget bedöms de mer sentida deponierna vara mest intressanta ur metallåtervinningssynpunkt, till följd av att metallinnehållet i hushållsavfall ökat med ökande metallkonsumtion. Sannolikt är de kommunala deponierna från 1970- och 1980-talet de med högst metallinnehåll. Sedan 1990-talet har sorteringen ökat, i och med till exempel producentansvaret. Deponeringen av hushållsavfall är idag begränsad och idag deponeras inte hushållsavfall direkt, utan först i form av aska efter avfallsförbränning. Sedan mitten av 2 000-talet sorteras kvarvarande metaller ur hushållsavfallet innan förbränning varför metallinnehållet i askor är ännu lägre idag.

Urban Mining

Begreppet ”urban mining” utgår från samhället som resursbas och att material som över tid samlas i byggnader, tekniska system, fortifikationer, urbana sediment, etc. utgör ett materialförråd som kan komma till användning genom återanvändning eller återvinning. I underlaget sammanfattas att merparten av de samhälleliga materialförråden är i användning men att det även finns stora mängder material som tagits ur bruk men som inte ingår i avfallshanteringen och därmed inte återanvänds eller återvinns. Sådana material befinner sig i ”dvala”. Infrastruktur, byggnader och tekniska maskiner och apparater är de stora metallförråden i vårt samhälle, där infrastrukturen står för 28 % av kopparanvändningen i Sverige. Den ledningsburna, markförlagda infrastrukturen är särskilt framlyft i underlaget. Aluminium, koppar och järn eller stål är de vanligaste metallerna i den markförlagda infrastrukturen. Årligen återvinns en sjättedel av de kablar som byggs in i de svenska näten för el- och telekommunikation. Det gäller sannolikt även för rörbaserade system för stadsgas och fjärrvärme. I tabell 12 redovisas en uppskattning av mängden metall i ett antal infrastruktursystem i det svenska samhället.

Metallförråden ökar således i storlek med tiden. Metaller hamnar i dvala till följd av att system tas ur bruk i sin helhet och ersätts av nya utan att tas tillvara, till exempel system för stadsgas och likström. Metaller hamnar också i dvala i samband med löpande underhåll och reparationer, samt vid större stadsbyggnadsprojekt när större zoner av infrastruktur kopplas ur. En grundläggande anledning till varför infrastruktur lämnas kvar i marken är höga kostnader för att tillvarata den.

Ytterligare information finns i bilaga 9.

Förorenade områden

Arbetet med efterbehandling av förorenade områden till följd av miljöpåverkan från olika industriella verksamheter har vuxit under senare delen av 1990-talet och tagit fart på riktigt under 2 000-talet. Var de förorenade områdena i landet är lokaliserade är i stort känt. Sammanställning av resultat från inventeringsarbete och många av de utredningar och undersökningar som gjorts av de förorenade områdena finns samlade i en databas som ägs och förvaltas av länsstyrelserna (s.k. ”EBH-stödet”). Uppskattningsvis finns uppemot 80 000 potentiellt eller konstaterat förorenade områden i Sverige (Naturvårdsveket 2014). De är indelade in i fyra olika riskklasser, där riskklass 1 och 2 innebär stora, eller mycket stora risker för negativ påverkan på människors hälsa eller miljön. En grov överslags- och schablonmässig uppskattning är att det i dagsläget omhändertas i storleksordningen cirka 1 miljoner ton förorenad jord årligen vid deponier eller behandlingsanläggningar i samband med efterbehandlingsinsatser (Arnerdal och Skogsjö 2014). Metallinnehållet i dessa jordmassor varierar stort från område till område, beroende på den tidigare förorenande verksamheten, fastläggningsförmåga i marken, geokemiska egenskaper, osv. En annan aspekt är att de analyser som görs

Tabell 7. Beräkning av insamlade materialflöden i Sverige av WEEE, (Elkretsens 2012).
För mer information se statistikdelen bilaga 7. Alla värden är i ton per år.

Metall	Diverse elektronik	Vitvaror	Kylskåp & Frys	Batterier	Totalt
Järn	19 260	21 740	17 630	800	59 430
Koppar	4 560	480	500		5 540
Aluminium	3 040	670	680	7	4 397
Silver	5				5
Guld	0				0
Palladium	0				0
Övriga metaller	420			10	430
Bly	1 140			130	1 270
Zink				730	730
Nickel				110	110
Kadmium				66	66
Litium				21	21
Kobolt				10	10
Totalt	28 426	22 890	18 810	1 884	72 010

Rad 13. Bildskärmsglas, antagen blyoxidkoncentration i konglaset 15 %.

Tabell 8. Uppskattning av kvarvarande mängder metaller (ackumulerat) i elektronikavfall i deponier i Sverige. Avser slagg eller finfraktion (< 7 mm stora bitar). Läs mer i statistikdelen ibilaga 7.

Elskrot i deponier	Deponi i Sverige
Metall	ackumulerat (ton)
Aluminium	2 000
Bly (som blyoxid)	1 000
Indium	0,5
Koppar	3 000
Tantal	30
Dysprosium	4,0
Praseodym	10
Neodym	20
Summa	6 065

Tabell 9. Framtida potential, dvs. inom ett tiotal år, att återvinna potentiellt kritiska metaller i bilindustrin, utifrån uppskattning om storleksordningar för årliga mängder.

Material till svensk bilåtervinning	Uppskattad storleksordning inom ett tiotal år
Eu, Gd, Rh, Tb	enstaka kg
Ce, Er, In, Sm, Yb, Y	10-tals kg
Dy, Pd, Pr	100-tals kg
Ag, Au, Co, La, Li, Mn, Nd, Nb, Pt, Ta	enstaka ton
Mb	100-tals ton
Cu, Mg	1000-tals ton

Tabell 10. Uppskattning av mängden metaller (ton) i förbränningsaska på deponier. Läs mer i bilaga 8.

Metall	Uppskattad mängd i deponi (ton)
Järn	1 000 000
Icke-järnmetaller	250 000
Aluminium	900 000
Titan	90 000
Koppar	66 000

Tabell 11. Uppskattade mängder metaller i skrot i kommunala deponier. Läs mer i bilaga 8.

Metall	Mängd skrot i kommunala deponier, uppskattad mängd (ton)
Järn& stål	13 000 000
Aluminium	1 000 000–1 200 000
Koppar	600 000
Zink	400 000–500 000
Bly	300 000
Krom	600 000–1 000 000

inte omfattar, eller inriktas, på alla de metaller som är av intresse i den här utredningen (till exempel undersöks inte sällsynta jordartsmetaller). Alla områden är inte heller förorenade av metaller.

Inom ramen för olika efterbehandlingsprojekt kommer frågan upp om det inte vore samhällsekonomiskt lönsamt att försöka utvinna metallerna ur det förorenade området och samtidigt minska spridningen från det deponerade materialet. Få faktiska försök att återvinna metaller ur förorenad jord har hittills gjorts. Dock förekommer till exempel jordtvätt som behandlingsmetod, där vissa metaller kan avskiljas från jorden och där jorden därefter kan återanvändas för till exempel återfyllnad, eller deponeras som ett mindre farligt avfall. Det huvudsakliga syftet har då varit att minska farligheten hos jorden, snarare än att återvinna metall.

Potentialer i deponier och infrastruktur i dvala

Sammanfattning av potentialer i deponier och infrastruktur i dvala presenteras i tabell 14.

Återvinning av metaller 2013

Tabell 15 visar en uppskattning av återvinningen på basmetaller samt några legeringsmetaller för år 2013. De senare har beräknats med antagande om vissa återvinningsgrader. Se även tabell 29 och tabell 30.

Sammanfattning av potentialer i deponier och i berggrund

Figur 22 är en sammanfattning av totala potentialer för järn och tre basmetaller som finns i Sverige fördelat på det som finns i berggrunden och det som finns ute i samhället. För dessa metaller finns merparten av potentialerna i berggrunden, mellan 97 % och 82 %. Statistiken bygger på teoretiska beräkningar och delvis för berggrundsdatat uppmätta reserver och tillgångar. Se avsnittet Malm i Sverige. Merparten av det som bryts av primära resurser exporteras direkt eller indirekt i metallvaror. Tabell 16 visar översiktliga beräkningar för metall som används i samhället och bygger på hur mycket som återvinns per år samt hur länge materialet används, den så kallade återvinningscykeln. För järn och stål är det 35 år, för koppar 20 år o.s.v.

RESURSBEHOVET I SVERIGE AV METALLER OCH MINERAL (SVENSK IN DUSTRIS ANVÄNDNING)

För mer information se bilaga 5, 6 och 10.

Förädlingsvärden, export och import

Metaller och mineral är den viktigaste råvaran till den svenska industrin, ca 50–60 procent av industrins förädlingsvärde (varuproduktion) baseras på produkter i huvudsak framställt från metaller och mineral. Det totala förädlingsvärdet för dessa sektorer är ca 300–500 miljarder kronor. Förutom metallverken är metaller och mineral råvara i verkstadsindustrin, elektronikindustrin, byggnadsindustrin och i mindre mängd i kemiindustrin. Metallanvändningen har under den senaste 20 åren ökat både i mängd, värde och procentuellt sett, se figur 23. Sammanlagt har varuproduktion baserat på metaller ökat med 5 procentenheter från 1993 till 2011. Utöver själva varuproduktionen genererar den svenska industrin också tjänsteproduktion i en stor omfattning.

Jämförelse med andra länder och EU

Den svenska industrin består i högre grad av näringsgrenar baserat på metaller, räknat på förädlingsvärden, än i EU som helhet. Endast Tyskland visar större andel metallproducenter

Export och import

Globaliseringen och den ökande tillväxten i världen, har inneburit en stark efterfrågan på metaller och metallprodukter. Kina har den högsta tillväxten och fungerar som motor i världsekonomin. Tillväxten har även ökat starkt i Sydostasien och på senare tid även i Afrika och Sydamerika. Globaliseringen har inneburit stigande metallpriser och påverkat den svenska metallindustrin och exporten positivt. Metallnäringen utgör tillsammans med verkstadsindustrin en väsentlig del av den svenska nettoexporten, ca 46 procent. För Sverige som är ett land med en stor import är värdet av nettoexporten, export minus importerade insatsvaror, extra viktig för bytesbalansen och samhällsekonomin.

Sveriges export från gruvor, stål och metallverk hade för 2011 ett värde på 140 miljarder kronor. Inkluderas även export från verkstadsindustrin blir det totala värdet över 500 miljarder kronor. Om man bryter ned exporten på enskilda metall-

Tabell 12. Uppskattning av mängden (ton) metall i ett antal infrastruktur i det svenska samhället, ”metallförråd i städer”. Läs mer i bilaga 9.

Källa	Koppar (totalt), kton	Koppar (”dvala”), kton	Aluminium (totalt), kton	Aluminum (”dvala”), kton	Järn/stål (totalt), kton	Järn/stål (”dvala”), kton
Växelström*	1 400	60	850	10		
Telekom	1 250	375	-	-		
Trafiksignaler**	315	-	60	-		
Gatubelysning**	17,5	-	3,5	-		
Likström	-	6	-	-		
Fjärrvärme	-	-	-	-	560	50
Stadsgas***	-	-	-	-	-	60
Totalt	1 583	441	914	10	560	110

*Utgår från markförlagda ledningar, 15 000 km långa stamnätet ingår inte (huvudsakligen luftburet).
** System i tätorter, system längs lands- och riksvägar ej medräknade.
*** Baserat på ett 40-tal svenska städer, ej Stockholm, Göteborg, Malmö, Helsingborg eller Landskrona, där gasnäten i delar används och de urkopplade delarna inte har tagits med.

Tabell 13. Mycket översiktlig uppskattning av mängden (ton) metall i förorenad jord i det svenska samhället (Arnerdal och Skogsjö 2014). De metaller som ingår i denna mängd är vanligen koppar, bly, arsenik, kadmium, krom, nickel, vanadin och zink.

	Uppskattad mängd metaller, totalt
Förorenad jord som årligen grävs upp (antaget innehåll av metaller är 1–10 g/kg torrsubstans)	1 000–10 000
Vid 75 % av de förorenade områden som ska åtgärdas till 2050 (antaget 10 000 ton jord per objekt och innehåll av metaller är 1–10 g/kg TS)	100 000–1 000 000

Tabell 14. Sammanfattning av bedömda potentialer i deponier och infrastruktur i dvala redovisat i ovan. Värdena anges i ton.

Järn, bas- eller ädelmetall	Industri Industrideponier	Elskrot WEE till deponi	Deponier aska	Kommunala deponier	Urban Mining Infrastruktur	Summa deponerat
Järn			1 000 000	13 000 000	110 000	14 110 000
Järnaska	250 000			60 000		310 000
Koppar		3 000	66 000	600 000	441 000	1 110 000
Bly		1 000		300 000		301 000
Zink	33 000			400 000–500 000		533 000
Aluminium		2 000	900 000	1 000 000–1 200 000	10 000	2 102 000
Nickel	17 500					17 500
Icke-järn			250 000			250 000
EU - kritiska						
Indium		0,5				1
Krom	180 000			600 000 - 1 000 000		1 180 000
Magnesium	70 000					70 000
REE		5				5
Övrigt						
Molybden	8 000					8 000
Tantal		30				30
Vanadin	4 000					4 000
Titan			90 000			90 000

Tabell 15. Återvinning av metaller 2013. Källa: World Metal Bureau Statistics, Jernkontoret bilaga 10. Uppgiften om omsmältning är en uppskattning av SGU.

Metall	Ton	Kommentar
Järn	1 500 000	Återvunnit stålskrot
Koppar	65 300	
Bly	49 300	
Zink	730	Osäkert värde
Aluminium	56 500	
Nickel	14 610	Omsmältning, även import + WEEE
Guld	10	
Silver	27	
Krom	64 000	Omsmältning, även import
Kobolt	10	Omsmältning
Molybden	6 000	Omsmältning

Tabell 16. Sammanfattning av potentialer i bergrund och återvinningspotentialer.

Metall	Potentialer		Varav				Beräkningar för övrig användning i samhället		
	Berg-grunden	Samhället, deponi och i arbete	Deponi	Gruvavfall	Infrastruk-tur	Övrigt i användning i samhället	Årlig återvinning	Antal år	Totalt
Järn	2 652 275 302	119 213 792	14 110 000	52 043 792	560 000	52 500 000	1 500 000	35	52 500 000
Koppar	20 487 862	4 351 251	1 110 000	358 251	1 583 000	1 300 000	65 000	20	1 300 000
Bly	13 326 994	1 434 349	301 000	640 349		493 000	49 300	10	493 000
Zink	57 555 203	2 159 140	533 000	1 206 140		420 000	12 000	35	420 000

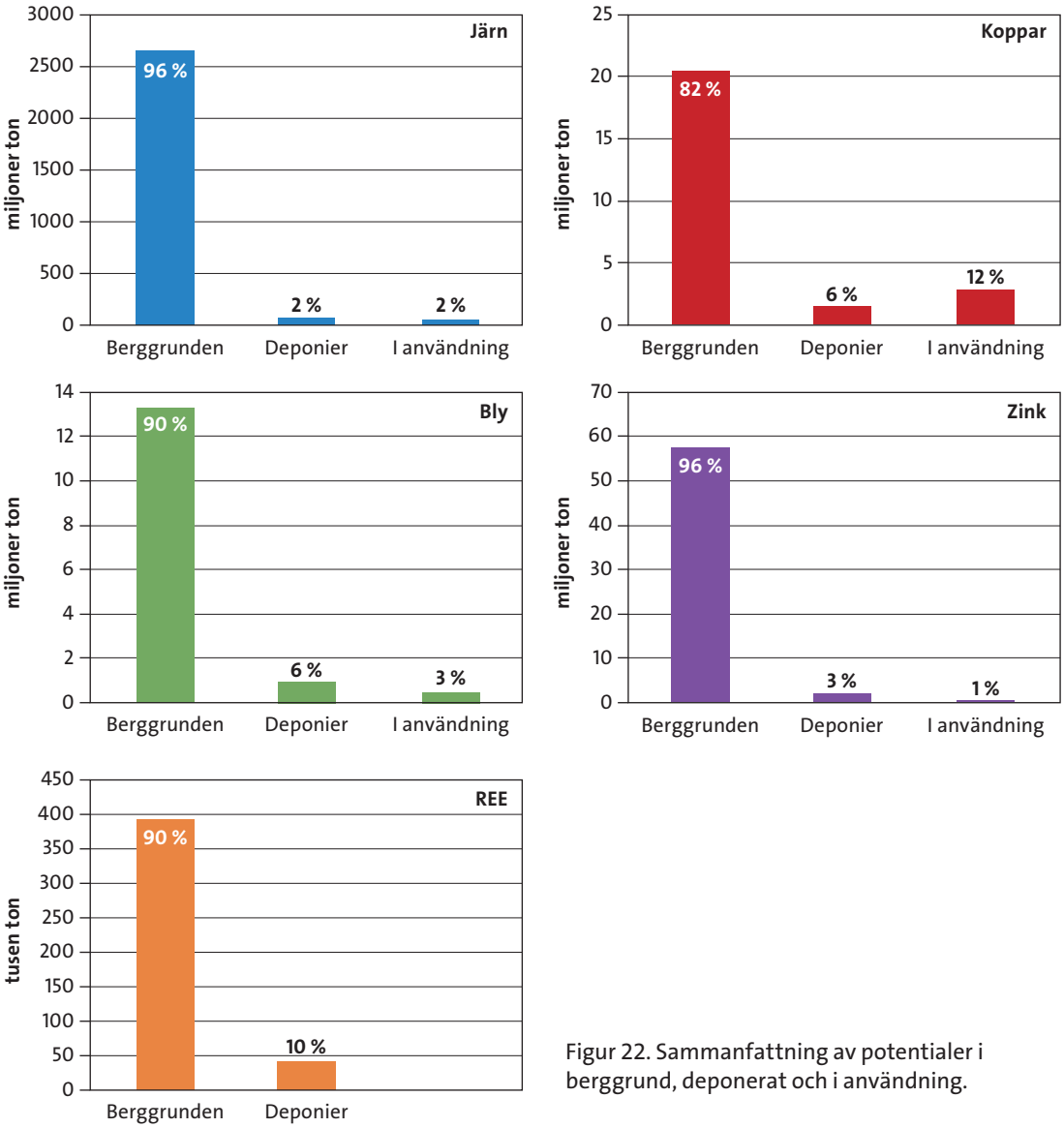
ler visar Tabell 18 att stål och järnmalmsexporten är mest betydelsefull. Därefter följer artiklar av aluminium, koppar med värden över 11 miljarder kronor samt över 1 miljard kronor guld, silver och nickel. Statistiken från Comtrade är en en mix av råvaror och förädlade varor i form av material och halvfabrikat. För färdiga produkter från verkstadsindustrin har det inte varit möjligt att beräkna mängder och värden på enskilda metaller. Enligt SCBs materialflödesräkenskaper består 27 viktprocent av exporten från Sverige av färdiga produkter. Exportvärdena för alla potentiellt kritiska mineral visas i bilaga 6.

Import till Sverige

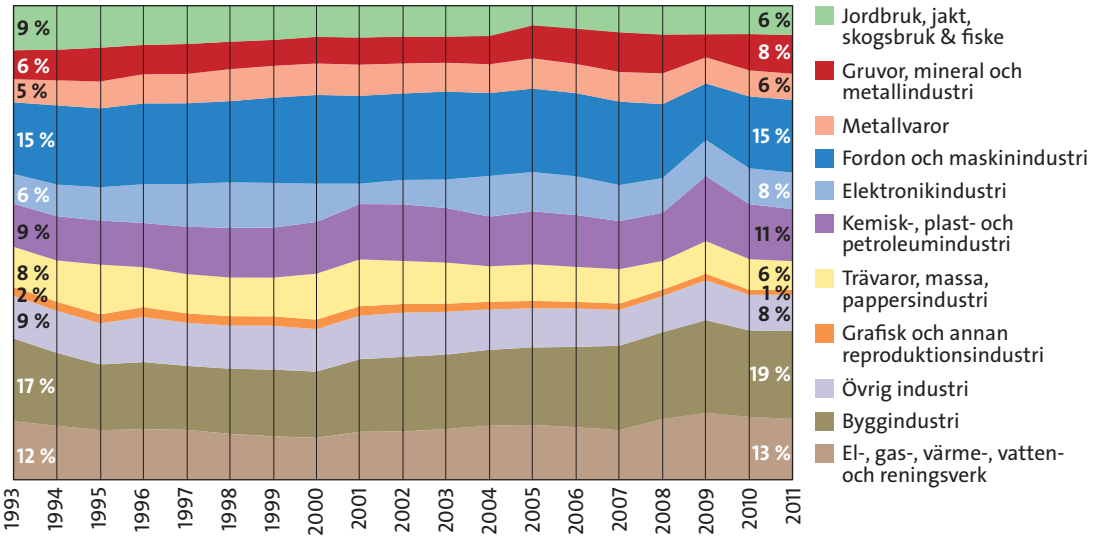
Importen av metaller till Sverige består av dels koncentrat till stål- och metallverken, dels metallprodukter för vidareförädling till stål- och metallverken samt halvfabrikat och färdiga produkter till verkstadsindustrin eller konsumtion i samhället. Importen kompletterar den inhemska framställningen av metaller och kan också visa på vilka metaller som kan vara potentiellt kritiska för landet. Studerar man SCBs handelstatistik visar den värdet på den totala importen av råvaror var för 2011 ca 22 miljarder kronor, vilket var betydligt lägre än exporten räknat på samma sätt, ca 33 miljarder kronor, (SCB handelsstatistik 2011).

Enligt Comtrade översteg det ekonomiska värdet av importen av järn, aluminium, koppar respektive nickel ca 9 miljarder kronor år 2013, se Tabell 19. Därefter följer import av zink, molybden, litiumceller och litiumbatterier, titan respektive guld till ett värde mellan 300 miljoner kronor och 4 miljarder kronor. Importvärden för alla potentiellt kritiska mineral visas i bilaga 6. Förutom denna redovisning importeras uran till kärnkraftsverken med ett värde på 7 miljarder kronor.

Flöden av material mellan nationsgränserna är komplex. Bolag är multinationella och har verksamheter i olika länder. Bolidens zinkmalm, kan man ta som ett exempel, exporteras från Sverige till smältverk i Finland och Norge. Därifrån importeras färdig zink till Sverige och används i metall- och verkstadsindustrin till produkter som i sin tur exporteras. Totalt sett är Sverige i huvudsak ett metallexporterande land.



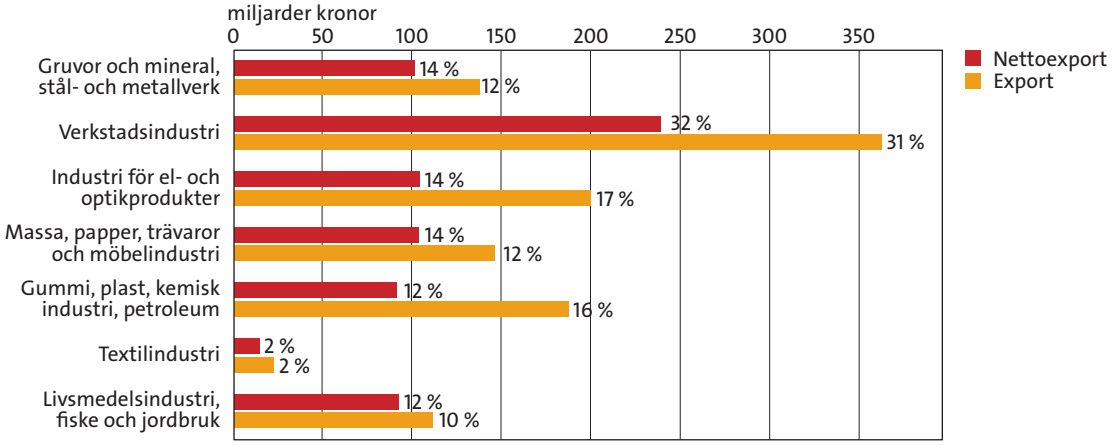
Figur 22. Sammanfattning av potentialer i berggrund, deponerat och i användning.



Figur 23. Näringslivets förädlingsvärden varuproduktion Gruv, och metallverken har ökat sin andel till 8 % fram till 2011. (SCB 2011).

Tabell 17. Förädlingsvärden från industriproduktion med metallbaserade produkter. Industrin som baseras på metaller bedöms ha ca 60 % av det totala förädlingsvärdet (Eurostat 2013).

Industriproduktion	Metall ingår förädlings värde milj. €	Totalt förädlings-värde. milj. €	Procentuell andel	per capita milj. €
Sverige	33 412	57 027	59 %	3 549
Finland	12 515	26 998	46 %	2 328
Tyskland	315 000	496 050	64 %	3 853
Frankrike	92 290	197 867	47 %	1 420
Storbritannien	87 616	207 604	42 %	1 390
EU27	855 688	1 740 400	49 %	1 709



Figur 24. Export och nettoexport 2011. Sveriges nettoexport går främst från gruv eller metall- och verkstadsindustrin. Tillsammans utgör de 46 % av den svenska nettoexporten. Tjänsteexport och turism är inte inräknad. Nettoexport är export – importerade insatsvaror (SCB Handelstatistik 2011). Fördelning av insatsvaror är bedömt av SGU.

Svensk stålindustri

För att förstå den svenska stålindustrins marknadssituation är det nödvändigt att ha en bild över den globala och regionala användningen av stål. Stål är världens mest använda konstruktionsmaterial. Under år 2010 producerades nästan 1 500 miljoner ton stål i världen. Av denna mängd utgjorde rostfritt stål cirka 32 miljoner ton. Alla andra metaller tillsammans var mindre än 80 miljoner ton.

Flera prognoser tyder på att världens råstålsproduktion kommer att öka till storleksordningen 2 200 till 3 000 miljoner ton år 2050. Detta innebär en stålkonsumtion på mellan 2 035 och 2 776 miljoner ton år 2050. För år 2060 räcker återvinningen av stålskrot till cirka 50–55 procent av världens stålproduktion. För att inte få en brist på stål i samhället måste resterande mängd stål tillverkas av en ökande andel (primär) järnmalm även om återvinningen av stålskrot är maximal.

Den stora efterfrågan av stål medför att behovet av legeringsmetaller successivt ökar eftersom metallerna behövs för basstålen, men också för att producera en allt större andel avancerade stålsorter med högre legeringsinnehåll, som är starkare och beständigare även om accelererad kylning, härdning och hårdvalsning tillsammans med lättviktskonstruktioner bromsar mängden legeringselement.

För den svenska stålindustrin med världens högsta andel av legerade stål är det avgörande att försörjningen av metaller och mineral tryggas under överskådlig tid. Ungefär 60 procent av allt producerat stål i Sverige är legerat, jämfört med 15 procent i övriga EU, 15 procent i Japan och 10 procent i USA.

Tabell 18. Export av råvara och halvfabrikat av råvara till Sverige 2013, metaller och mineral med sammanlagt värde över 16 mijoner kr. (Comtrade 2013 och SCB handelsstatistik 2011)

Exportvärden	Comtrade 2013				SCB 2011	
	Kvantitet	ton	miljoner USD	miljoner skr	ton	miljoner skr
Järn och stål	ingen		6 570	42 771		
Järnmalm					26 113 000	22 968
Järn och stål, även varor av stål	ingen		2 950	19 205		
Aluminium och varor av aluminium	ingen		1 750	11 393		
Koppar och artiklar av koppar	ingen		1 740	11 327		
Zinkmalm					31 263	1 877
Guld (obearbetat eller i halvfabrikat, eller i pulverform)	ton	16	729	4 746		
Silver (obearbetat eller i halvfabrikat, eller i pulverform)	ton	446	342	2 226		
Nickel och varor av nickel	ingen		141	918		
Titan (obearbetat eller varor av, inbegripet avfall och skrot)	ton	997	46	299		
Zinc (obearbetat eller varor av zink, inbegripet avfall och skrot)	ingen		33	214		
Volfram och varor av volfram including waste and scrap.	ton	572	19	122		
Kalk (kalksten av sådana slag som används för framställning av kalk eller cement)	ton	1 582 311	19	120		
Sällsynta jordartsmetaller (REE), skandium and yttrium, även blandade eller legerade med varandra	ton	65	5	32		
Koks av stenkol, brunkol eller torv	ton	26 180	4	26		
Gips	ton	6 524	3	19		
Magnesium och varor av gips, inbegripet avfall och skrot.	ton	387	3	17		
Platina, obearbetad eller i halvfabrikat, eller i pulverform	ton	0,1	2	16		

Stål framställs vid tolv anläggningar i Sverige. Vid tio av dessa är produktionen baserad på skrot, övriga två producerar malmbaserat stål. Vidare finns även Höganäs Sweden AB där de använder en direktreduktionsprocess för att producera s.k. järnsvamp, som i sin tur används till att tillverka järnpulver. Svenska ståltillverkare är inom många användningsområden världsledande avseende högrena stål, verktygsstål, rostfria stål, värmebeständiga värmereflekterande stål, starkare och extremt starka stål, sömlösa rör för extrema miljöer, etc.

Den största delen av den svenska järnmalmen exporteras främst till EU men även till Asien. Leverans sker också till de två malmbaserade stålverken i landet som finns i Luleå och Oxelösund. Resterande stålverk, med undantag för Höganäs AB, använder skrot som råvara. Deras andel av stålproduktionen är ca 35 %. En mindre mängd främst legerat skrot importeras. Av metallproduktionen exporteras drygt 50 %, ungefär samma mängd importeras och tillsammans med den inhemskt producerande metallråvaran utgör det basen för vidare förädling i produktionskedjan. Malmbaserat järn är också en viktig råvara vid framställning av höghållfast stål.

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.

Mängden metalliskt råmaterial som används årligen inom stålindustrin uppgår till cirka 5,6 miljoner ton. Stålproduktionen är cirka 4,3 miljoner ton Läs mer i bilaga 10 C.

Tabell 19 Import av råvara och halvfabrikat av råvara till Sverige till ett värde större än 29 miljoner USD under 2013 (Comtrade, 2013).

Varor	Kvantitet	Nettovikt	Miljoner USD	Miljoner SKR
Järn och stål		ingen	4 360	28 384
Järn och stål, även varor av stål		ingen	3 170	20 637
Aluminium och varor av aluminium		ingen	1 430	9 309
Koppar och varor av koppar		ingen	1 400	9 114
Kopparmalm och koncentrat		ingen	579	3 769
Nickel och varor av nickel		ingen	443	2 884
Zink och varor av zink		ingen	94	611
Molybdem malm och koncentrat	ton	5 987	90	583
Litium (galvaniska element och batterier)	antal	12 153	73	477
Titan och varor av titan, även avfall och skrot	ton	2 120	54	354
Guld (obearbetat eller i halvfabrikat, eller i pulverform)	ton	1	50	326
Silver (obearbetat eller i halvfabrikat, eller i pulverform)	ton	50	40	262
Ferrokisel, med kiselinnehåll på 55 % eller mer	ton	24 431	36	236
Koks av stenkol, brunkol eller torv	ton	98 898	35	226
Bly och varor av bly		ingen	34	220
Övriga ferrolegeringar	ton	13 743	29	189

Den svenska stålindustrin inkl. gjuterierna använder totalt något mer än 2,5 miljoner ton järnskrot per år som råvara för tillverkning av nytt stål. Stålverken köper in ca 1,5 miljoner ton järnskrot från återvinningsindustrin i Sverige men även som import och återanvänder allt fallande skrot från sin egen tillverkning, ca 1 miljon ton för tillverkning av nya stålprodukter.

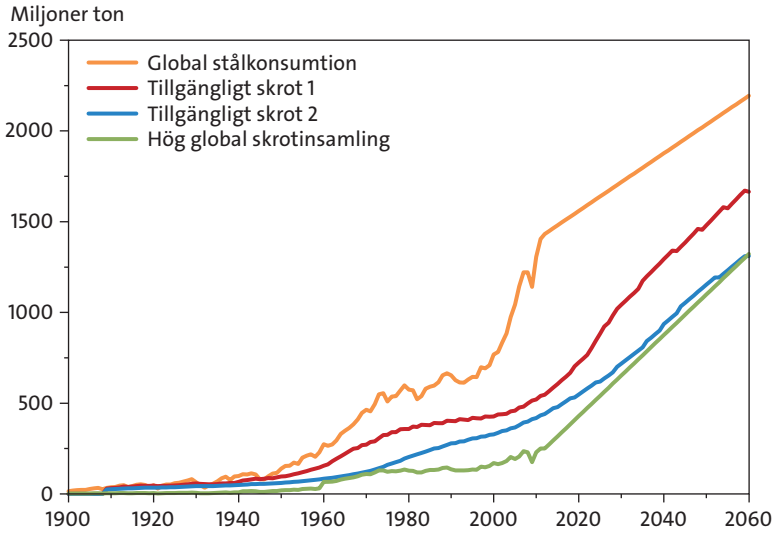
Balansen och behovet av råmaterial och skrot för de svenska stålverken inkl. gjuterier kan generellt se ut som i tabell 20.

Den svenska återvinningen av järn- och stålprodukter är hög ur ett internationellt perspektiv. Studier på KTH visar att dagens återvinning av järn och stål från produkter och anläggningar är närmare 90 procent. Sverige har nära nog dubbelt så hög återvinningsgrad som det globala genomsnittet.

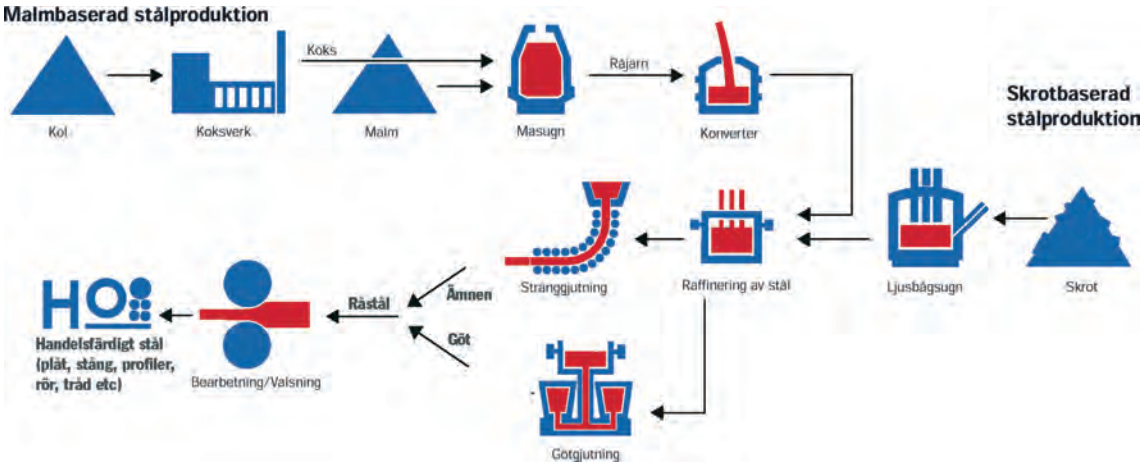
Den genomsnittliga användningstiden för stål i samhället är 35 år men varierar stort från några månader för t.ex. konservburkar till sekel för större konstruktionsanläggningar (tabell 21). Totalt återvinns för närvarande cirka 2,4 miljoner ton järnskrot årligen i Sverige.

Legerings- och specialmetaller

Den svenska stålindustrin är inriktad mot rostfria stål, verktygsstål, höghållfasta stål. Legeringsmetaller används i tillverkningen av dessa ståltyper, vilket gör att behovet av legerings- och specialmetaller är större i Sverige än EU. Den ekonomiska betydelsen av dessa metaller blir då större i Sverige än i EU, vilket påverkar att metallerna kan kategoriseras som mer kritiska än vad som görs i EUs kritiska lista. se avsnitt 4.1. Mest produktkomplexitet finns inom elektronikindustrin där bl.a. REE-metaller och ädelmetaller är viktiga. För närvarande sker ingen primär eller sekundär produktion av REE i Sverige trots att det finns både primära fyndigheter och återvinningsbara mängder. Endast en smärre mängd, ca 4 procent av behovet av REE importeras som ren råvara.



Figur 25. Stålanvändningen och stålskrotinsamlingen fram till 2060. Återinsamlingsgraden (EOL/RR) har beräknats till 76 % år 2060). Skrot 1 och skrot 2 är två olika estimeringar av hur hög tillgängligheten av skrot förmodas bli (Gauffin m.fl. 2014).



Figur 26. De två huvudprocesserna vid framställning av stål (Jernkontoret 2001).

En grov uppskattning av den totala förbrukningen av legeringsämnen för 2013 baserat på de uppgifter som insamlats genom Jernkontorets enkätundersökning finns presenterad i tabell 22. Dessa uppgifter ska ställas i relation till den samlade stålproduktionen i Sverige som 2013 uppgick till cirka 4,3 miljoner ton.

Totalt importerade den svenska stålindustrin ca 200 000 ton ferrolegeringar till ett värde av 3 miljarder kronor. Ferrolegeringar är legeringsämnen blandade med järn. Därutöver sker också en omsmältning av stålskrot med passande legeringsmetaller.

Aluminium

Aluminiumproduktionen har i världen fördubblats under de senaste tio åren. Det finns inga tecken som tyder på att den globala tillväxten skall avmattas, tvärtom beräknas produktionen öka till 2050 med flera procent per år. Tillväxten sker idag dock inte i Europa. Precis som för stålet, är det Kina som står för den största ökningen. Betydande investeringar och produktionsökningar görs dessutom i Gulfstaterna.

Produktionen i Europa minskar, vilket dock inte gäller Sverige. Här ökar produktionen och landets två producenter satsar långsiktigt. Kubikenborg Aluminium AB, Kubal som är primär-

Tabell 20. Balans och behov. Läs mer i bilaga 10 B.

	kton
Internt cirkulerande skrot hos stålverken	1 000
Råjärn vid malmbaserade verk	3 000
Svenskt olegerat köpskrot	900
Svenskt legerat köpskrot	200
Legerat importskrot	200
Tillkommande i legeringar	140
Summa metalliskt råmaterial	5 600

Tabell 21. Genomsnittliga livscykeltider för olika produktslag i Sverige. Läs mer i bilaga 10 B.

Stålanvändnings-sektor	Livstid (år)	Stålanvändning (%)
Byggnadsstål	80	26
Maskinverk	30	17
Elektroniska varor	10	5
Varvsindustrin	40	1
Fordon	18	17
Metallvaror	25	6
Förpackningar	1	4
Kokkärl	20	4
Andra industrier	15	20
Medellivslängd	35	

metallproducent har nyligen genomfört en stor investering. Kubal planerar nya investeringar och ytterligare tillväxt. Stena Aluminium som är den andra metallproducenten, tillverkar återvunnet aluminium. Stena Aluminium planerar också för en betydande kapacitetsökning. Ca 60 % är primärproduktion av aluminium i landet, vilket kommer från importerad råvara.

Verkstads- och tillverkningsindustrin i Sverige använder mer aluminium än vad som produceras i Sverige. Importen är lika stor som produktionen, t.ex. är all aluminiumplåt importerad.

Basmetaller

I Sverige sker gruvdrift av basmetallerna koppar, bly och zink men även tillverkning av aluminium från aluminiumoxid. I figuren 27 ingår dessa. Det finns också framställning av aluminium och bly från återvunnit material, vilket illustreras av de röda fälten i figuren. Det återvunna blyet kommer främst från insamlade blybatterier. Återvinningsgraden på bly är mycket hög. Samtliga basmetaller både exporteras och förädlas i landet. Koppar framställs i Rönnskärsverken från gruvor i Sverige och från importerat kopparkoncentrat. De färdiga kopparprodukterna går till användning inom landet och exporteras. För primärt brutit zink finns inget smältverk i landet och allt går på export. Av de färdiga metallerna går ca 0,5 miljoner ton direkt på export medan 0,8 miljoner ton för fortsatt användning i förädlingsprocessen. Importen i den fortsatta förädlingsdelen är lika stor som exporten. Basmetallerna används inom flera sektorer i industrin och används också till legeringar inom stålindustrin.

Den svenska gjuteriindustrin

Den svenska gjuteriindustrin består av cirka 170 gjuterier och tillverkar knappt 300 000 ton gjutgods per år. Importen av gjutgods är ungefär lika stor. Järngjuterierna svarar för den tonnagemässigt största delen av produktionen, ca 75 procent, stålgjuterierna bidrar med ca 7 procent och sedan finns icke-järnmetallgjuterier som har ca 18 procent av tonnaget. Icke-järnmetallgjuterierna består till största del av aluminiumgjuterier men i denna grupp ingår även gjuterier för bland annat koppar, magnesium, mässing, zink, brons och bly.

Gjutgods består av olika typer av legeringar där många olika metaller ingår. Det finns mängder med olika legeringar anpassade för olika gjuteritekniker och ändamål i samhället. Vissa metaller förekommer också som föroreningar men är inget som tillsätts aktivt.

Cirka 70 % av det svenska gjutgodset levereras till fordonsindustrin. Gjuterierna är en del i ett kretsloppsamhälle där i stort sett alla gjutna produkter återtas efter användandet och smälts om för att forma nya produkter. Metallråvaran utgörs i huvudsak av skrot och sekundärt råmaterial, dvs. skrot som har smälts om vid smältverk för att producera nya metalltackor. Små mängder primära råvaror används. Läs mer i bilaga 5.

Metallanvändningen, analys av metaller

Användningen av metaller sker antingen i form av råvaror, färdigt material eller produkter (halvfabrikat eller slutprodukter). Det finns ingen statistik som samlar alla former av användning utan bedömningen i den sammanfattande figuren nedan bygger på utrikeshandel och varuproduktion. Analysen utgår från nuvarande ekonomisk bety-

Tabell 22. Uppskattad förbrukning av legeringsämnen i den svenska stålindustrin.

Uppskattning av	Ton
Aluminium	10 000
Bor	500
Dolomit (slaggbildare)	100 000
Flusspat (slaggbildare)	10 000
Fosfor	250
Kalcium	500
Kalksten (slaggbildare)	300 000
Kisel	25 000
Kobolt	500
Kokskol	1 000 000
Koppar	1 000
Krom	100 000
Mangan	50 000
Molybden	10 000
Nickel	25 000
Niob	1 000
Olivin (slaggbildare)	5 000
Sällsynta jordartsmetaller	500
Titan	5 000
Vanadin	1 000
Zink	15 000

Tabell 23. Import av ferrolegeringar. Läs mer i bilaga 10 C. Källa: Jernkontoret.

Import ferrolegeringar 2013	ton	Miljoner kr
Ferromangan innehållande > 2 viktprocent kol	16 402	106
Ferromangan innehållande <= 2 viktprocent kol	20 099	180
Ferrokisel kiseljärn innehållande > 55 viktprocent kisel	24 430	236
Ferrokisel kiseljärn innehållande <= 55 viktprocent kisel	13 743	189
Ferrokiselmangan	15 241	130
Ferrokrom innehållande > 4 viktprocent kol	74 251	604
Ferrokrom innehållande <= 4 viktprocent kol	10 175	205
Ferrokiselkrom	1 250	12
Ferronickel	11 819	329
Ferromolybden	5 205	621
Ferrovolfram och ferrokiselvolfram	23	6
Ferrotitan och ferrokiseltitan	1 421	43
Ferrovanadin	766	114
Ferroniob	1 645	275
Ferrolegeringar (resterande)	2 352	41
Totalt	198 822	3 089

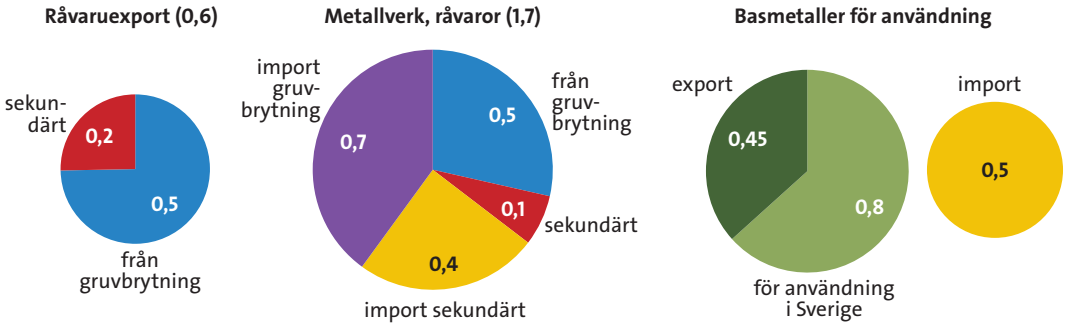
delse för Sveriges ekonomi som helhet. Detta kan naturligtvis skilja sig från vad som är betydelsefullt på längre sikt och för enskilda branscher och individuella företag.

Det är komplext att peka ut olika användningsområdens betydelse för svensk ekonomi. Industrins varuproduktion tyder på att bränsleceller, smycken och solceller möjligen skulle kunna vara områden med lägre betydelse för närvarande. Potentiella kritiska metaller som dessa använder är bor, gallium, germanium, grafit, guld, indium, krom, PGM, skandium, selen, silver, tenn och titan. Alla har dock sin huvudsakliga användning inom andra områden. Eftersom guld och tenn har omfattande användning inom andra områden, kan de inte enkelt sägas ha låg betydelse för svensk ekonomi.

Det är uppenbart att basmetaller som järn, aluminium och koppar har stor betydelse för svensk ekonomi. Metaller med flera användningsområden är: bor, kobolt, koppar, järn, flusspat, grafit, REE, mangan, molybden, nickel, PGM, rhenium, antimon, kisel, och tenn.

RESURSBEHOVET I EU AV METALLER OCH MINERAL

EU är ett av världens viktigaste industriella områden och användningen av traditionella metaller i Europeisk industri är stort även jämfört med övriga världen. Metallefterfrågans andel av världens efterfrågan ligger kring 14 % och 16 % vilket är betydligt högre än genomsnittet i världen räknat per capita. Däremot är produktionen av metallråvara låg i EU. Ingen av järn- och basmetallerna kan försörjas inom EU, varken primärt eller genom återvinning. Den större användningen gör att det är ett importbehov på minst ca 23 miljoner ton järn- och basmetaller. Denna balans är förenklad eftersom det sker export från EU-länder till utanför EU både av primär produktion och återvunnit material. Detta gör att importen är större än differensen (produktion – användning). Importen av t.ex. järnmalm från Brasilien till EU är ungefär 65 miljoner ton.



Figur 27. Basmetaller användning i Sverige 2011. Samtliga värden miljoner ton. Figuren visar sammantaget, koppar, bly och zink samt aluminium som tillverkas i landet med importerad råvara. I importen ingår också tenn och nickel som traditionellt räknas till basmetallerna Det sker ingen primär utvinning av dessa i Sverige (SCB 2011).

EUs kritiska mineral

Som ett led i att säkerställa EUs behov av metaller och mineral inrättades Råvaruinitiativet (RMI) 2010 där 13 råvaror listades som kritiska ur försörjningssynpunkt. En revidering har sedan gjorts under våren 2014 vilket medförde att listan utökades till 20 kritiska mineral. På nationell basis har Finland, Storbritannien och USA gjort liknande listningar. Tanken bakom listningen är att klargöra behovet av råvaran och säkerställa den framtida tillgången till metallråvaran. Det kan vara genom riktad handel med bilateralt handelsutbyte, möjliggöra ökad primär brytning eller återvinning, men även forskning efter substitut. EUs kritiska mineral utgår från 2 kriterier. Det första kriteriet är den ekonomiska betydelsen för varje metall eller mineral. Värdet mäts i de slutprodukter där råvaran ingår. I figur 28 visas det ekonomiska värdet på den horisontella axeln. Den vertikala axeln visar utbudsrisken för råvaran, d.v.s. om det finns stora risker att industrin i EU inte får tillgång till råvaran p.g.a. knapphet, leveransrisker, få producenter, få producentländer och andra politiska skäl som instabilitet.

Figur 28 visar EUs ranking av de viktigaste mineralerna. Totalt har beräkningar gjorts för 40 metaller och mineral. Av dessa ansågs 20 som kritiska. De kritiska ligger inom den rosa rektangeln i figuren. Ingen av de traditionella basmetallerna kom att ingå i listningen utan kritikaliteten sågs som svårare i de mindre metallerna – legerings och specialmetallerna. Utöver de metaller och mineral som anses som kritiska finns ett dussintal som har högt ekonomisk värde men ändå inte anses kritiska därför att risken för importstopp till EU har ansets vara liten. Däribland även sådana känsliga metaller som tantal, tenn och nickel trots att de två första rankas som konfliktmineral och nickel produceras i länder med politisk styrning av handel.

Legerings- och specialmetaller

De flesta metaller som blev listade av EU är av typen legerings- eller specialmetaller och mineral. Dessa används för tillverkning av stål med speciella egenskaper som rostfritt, hårdhet eller ett höghållfast stål. De kan också vara huvudmetall för tillverkning av speciella produkter som exempelvis mycket små magneter vilket REE-metallerna neodym och dysprosium är viktiga beståndsdelar. Se bilaga 1 där varje metall och mineral beskrivs mer utförligt. Därutöver listades också mineral koks och fosfat, den förra används inom stålindustrin. Fosfat används främst som gödningsämne men har andra användningsområden.

EU står för en ansenlig del av världens användning av legerings- och specialmetaller. Största förbrukning har EU av Niob och Kisel med över 20 % av världsmarknaden. Produktionen i EU är mycket liten med undantag för koks, magnesit och flusspat som har relativt stora tonnage, men det är ändå långt från behovet. För samtliga metaller används mer i EU än världen i genomsnitt undantaget gallium som tillverkas i Tyskland från zinkkoncentrat i en volym som också överstiger EUs behov. Gallium används i främst i elektronikindustrin. Sju specialmetaller produceras överhuvudtaget inte inom EU. Återvinningen är också mycket liten. För sex av metallerna finns ingen återvinning överhuvudtaget. För sju av metallerna finns inga uppgifter på mängder men det är troligt

Tabell 24. Användning av metaller i Sverige. RÖD = huvudsaklig användning, BLÅ = omfattande användning, GRÅ = mindre omfattande användning. Vita celler innebär att användning inte identifierats. Grönmarkerade material är inte kritiska för EU enligt EU-kommissionen (CRM 2014). Förkortningar som inte är kemiska beteckningar på grundämnen förklaras i bilaga 6.

	Kandidatmaterial																																								
Användning	**Ag**	**Al**	**Au**	**Be**	**Bor**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Fluss-pat**	**Fos-fat**	**Ga**	**Ge**	**Gips**	**Gra-fit**	**Ha**	**HREE**	**In**	**Kalk-sten**	**Koks**	**Li**	**LREE**	**Mag-nesit**	**Mg**	**Mn**	**Mo**	**Nb**	**Ni**	**PGM**	**Re**	**Sb**	**Sc**	**Se**	**Sn**	**Ta**	**Te**	**Ti**	**V**	**W**	**Zn**
Batterier																																								
Belysning och optik																																								
Bränsleceller																																								
Bygg och konstruktion																																								
Eldfasta industriutrustning																																								
Elektronik																																								
Förpackningar																																								
Glas och keramiska ämnen[1]																																								
Hårdmetaller[2]																																								
Jordbruk																																								
Katalysatorer																																								
Kemisk industri																																								
Läkemedelsindustri																																								
Lödning																																								
Magneter																																								
Medicinteknik och tandvård.																																								
Motorfordon[3]																																								
Nukleär teknik																																								
Smycken																																								
Smörjmedel																																								
Solceller																																								
Stålproduktion[4]																																								
Superlegeringar[2]																																								
Övriga legeringar																																								

[1] Inkluderar ITO, [2] För förklaring se avsnittet Förklaringar. [3] Även flyg/rymd (ej batterier). [4] Tillsatser vid framställning av stål (ej legeringar).

Tabell 25 Traditionella metaller i Europa 2013. Röda siffror indikerar dels högre användning än genomsnittet i världen dels brist mellan produktion och användning. (WBMS April 2014, SGU 2014:3, UNCTAD 2013)

Mineral	Användning Världen (ton)	Användning EU/Europa (ton)	EU produktion, primärt	kommentar	EU produktion, återvinng	EU/Europa, av världen	Differens EU, prod. -använd.
Järn & stål	1 481 400 000	138 300 000	27 285 000	Sverige	94 139 000	9 %	-16 876 000
Koppar	21 028 043	3 018 100	860 600	Polen, Bulgarien, Sverige	760 400	14 %	-1 397 100
Bly	10 379 254	1 612 800	152 200	Sverige, Polen, Irland	1 186 000	16 %	-274 600
Zink	13 148 621	1 840 900	752 300	Irland, Sverige, Polen	320 000	14 %	-768 600
Aluminium	46 193 400	6 160 500	2 137 500	Grekland, Ungern, Frankrike	2 116 600	13 %	-1 906 400
Nickel	1 791 600	264 600	48 800	Finland, Grekland, Spanien	60 000 (uppskattat)	15 %	-155 800
Tenn	360 700	56 100	Ingen		EU ej känt	16 %	-56 100
Guld	2 777	300	27	Finland, Sverige, Bulgarien	339	11 %	39
Silver	25 970	5 040	1 962	Polen, Sverige, Finland	1 423	19 %	-1 655

att det är mycket små mängder. För PGM finns en mindre mängd återvinning medan återvinningen på volfram är rätt så stor, men det täcker ändå inte EUs behov.

Sveriges betydelse och andel av EUs metall- och mineralbehov

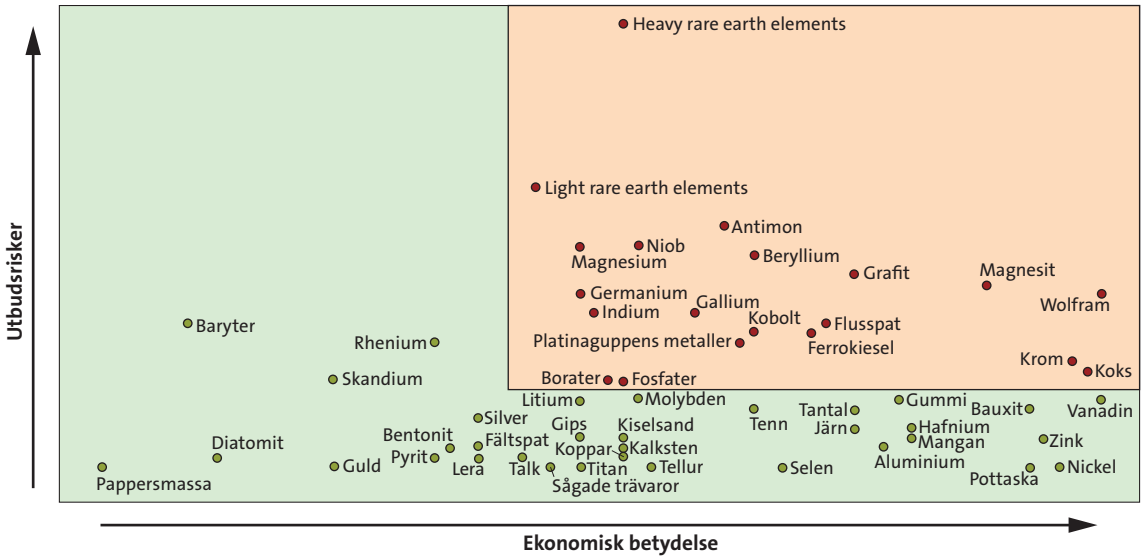
Tabell 28 visar Sveriges betydelse för EU och EUs betydelse för Sverige för metaller och mineral. Statistiken kommer från EuroStat som är Eus gemensamma statistik. Första kolumnen ”Export internt” visar Sveriges andel av export av mineral till länder inom EU. Siffran 30 % för järnmalm är missvisande eftersom det är enbart Sverige som exporterar järnmalm inom EU. Troligen finns det reexport av järnmalm från länder utanför EU som har påverkat statistiken. I övrigt stämmer det väl med produktionsvolymerna. Sverige bidrar med bly, zink och ädelmetaller till Europa. Exporten av stålskrot från Sverige är ca 1 200 ton per år vilket är en stor andel av Sveriges recirkulation men endast ca 2 % av EUs interna export.

Nästa kolumn visar export till länder utanför Europa. Här svarar Sverige för 92 % av järnmalmen räknat på tonnaget. Övriga metaller som Sverige har stor andel av exporten till utanför EU är zink och gruvavfall.

Sverige har också relativ stor import, från EU av basmetaller. Värt att notera är att av sekundärt nickel är Sveriges andel 23 % av EUs interna import vilket förklaras med den relativt stora produktionen av rostfritt stål i Sverige. Utanför EU är det också nickel och koppar som står för större mängder. Koppar består av koncentrat från Sydamerika eller Kanada som går till Rönnskärsverken.

Sveriges användning av traditionella metaller är högre än EU i genomsnitt. Användningen är högre för Järn, koppar och nickel och för de två förstnämnda finns också svensk produktion som kan svara upp för den högre användningen. För tenn saknas också produktion i Sverige. I övrigt är Sverige ett exporterande land av metaller.

Sveriges användning av legerings och specialmetaller är till stora delar högre än i EU i genomsnitt. Det beror mycket på att Sveriges stålindustri har större andel produktion av rostfritt- och specialstål än i EU. Den primära produktion av dessa metaller är låg, endast grafit och tellur vilket



Figur 28. EUs kritiska mineral. Samtliga metaller eller mineral som utvärderas. Metaller och mineral på rosa botten är definierade som kritiska (Critical Raw Materials 2014).

Tabell 26. Kritiska metaller och mineral i EU (CRM 2014). I bilaga 1 finns en faktasamling om kritiska mineral.

Mineral	Främsta tillämpningar	Främsta producentländer
Antimon	Flamskyddsmedel, Bly-syre batterier, Blylegeringar	Kina (87 %)
Beryllium	Mekanisk utrustning, IT-elektronik, Elektronisk utrstning och hushållsaparater	USA (90 %)
Borater	Glastillverkning, Frits och keramik, Jordbruket	Turkiet (38 %), USA (30 %), Argentina (10 %)
Krom	Rostritt stål, stål	Sydafrika (43 %), Khazakstan (20 %), Indien (13 %)
Kobolt	Batterier, Superlegeringar, Hårdmaterial	DRC Kongo (56 %)
Koks	Stålproduktion	Kina (51 %), Australien (18 %)
Flusspat	Flurvätesyra (rening av metaller), Stålproduktion, Aluminiumproduktion	Kina (56 %), Mexico (18 %)
Gallium	Integrerade kretsar, LED, Sol-paneler, Legeringar, Batterier & magneter	Kina (69 %)
Germaniium	Fiberoptik, Infraröd optik, Solpaneler, Katalysatorer	Kina (59 %), Kanada (16 %)
Indium	Platta skärmar , Lödmetall, Solceller	Kina (58 %)
Mangnesit	Refraktoriskt material (?)	Kina (69 %)
Magnesium	Aluminium-legeringar, Magnesium-gjutning, Avsvavling av stål	Kina (86 %)
Grafit	Elektroder, Refraktoriskt material (?)	Kina (69 %), Indien (14 %)
Niob	Ståltillverkning	Brasilien (92 %)
Fosfat	Fosforsyra, Fosfor	Kina (38 %), USA (17 %), Marocko (15 %)
PGM	Katalysatorer, smycken, elektronik	Sydafrika (61 %), Ryssland (27 %)
REE (Heavy)	Lysämnen, Keramiska material, Magneter	Kina (99 %)
REE (Light)	Magneter, glas-polering. FCCs (Oljeindustrin)	Kina (87 %)
Kisel	Kemikalier, Pigment, Metallurgi	Kina (56 %)
Wolfram	Hårdmetall, Verkygsstål	Kina (85 %)

Tabell 27. Legerings- och specialmetaller och mineral 2013. Röda siffror indikerar dels högre användning än genomsnittet i världen dels brist mellan produktion och användning (WBMS April 2014, SGU 2014:3).

Mineral	Användning Världen (ton)	Användning EU/Europa (ton)	EU produktion, primärt	kommentar	EU produktion, återvinng	EU / Europa, av världen	Differens EU, prod. -använd.
Antimon	200 000	20 000	Ingen	Tidigare Portugal	Ingen	10 %	-20 000
Beryllium	335	20	Ingen		EU ej känt	6 %	-20
Borater	4 600 000	300 000	Ingen		Ingen	7 %	-300 000
Krom	9 700 000	1 800 000	240 000	Malm, Finland	EU ej känt	19 %	-1 560 000
Kobolt	75 000	11 000	Ingen		Trolig	15 %	-11 000
Koks	892 000 000	70 000 000	35 000 000	Polen, Tjeckien	Ej möjligt	8 %	-35 000 000
Flusspat	6 500 000	879 000	177 000	Spanien, Tyskland	Ingen	14 %	-702 000
Gallium	284	30	48	Tyskland, Ungern	EU ej känt	11 %	18
Germanium	120	16	7	Finland	EU ej känt	13 %	-9
Indium	670	57	45	Belgien, Tyskland fr. zinkslig	Ingen	9 %	-12
Mangnesit	25 700 000	3 000 000	2 313 000	Belgien, Tyskland	Ingen	12 %	-687 000
Magnesium	1 100 000	165 000		Tyskland	Små mängder	15 %	-165 000
Grafit	1 000 000	78 000	8 000	Rumänien	Ingen	8 %	-70 000
Niob	60 300	13 000	Ingen		EU ej känt	22 %	-13 000
Fosfat	46 100 000	3 000 000	Ingen		Ej möjligt	7 %	-3 000 000
PGM	572	127	2	Polen, Finland	10	22 %	-115
REE	113 000	8 000	Ingen		EU ej känt	7 %	-8 000
Kisel	2 200 000	540 000	175 000	Frankrike, Spanien, Tyskland	EU ej känt	25 %	-365 000
Wolfram	90 000	12 000	1 920	Portugal. Österrike	3 600	13 %	-6 480

också utvinns i Sverige. Återvinning sker främst som omsmältning av legeringsmetaller t.ex. krom. Ändå kan inte det svara upp till behovet och det importeras också stora mängder legerings- och specialmetaller. Statistiken på dessa metaller är bristfällig så det är inte möjligt att göra vidare analyser.

Utvinning eller återvinning i Sverige

Tabellerna ovan visar att det är en stor skillnad mellan traditionella metaller och de mindre metallerna avseende produktion. För de traditionella metallerna: järn, bas och ädelmetallerna är det hög primär brytning och även hög återvinning. Aluminium i tabell 30 utgör ett undantag där återvinningen är hög, men där vi saknar primär brytning i Sverige. När det gäller special- och legeringsmetaller är det däremot nästan ingen primär brytning medan det finns en del återvinning i form av omsmältning av metaller. Det är främst stålverkens legeringsmetaller: Krom, Kobolt, Molybden och Nickel som återvinns.

Tabell 28. Sveriges andel av export och import av råvaror inom och utom EU. Avser år 2013 och procentvärden är räknat på tonnaget. Sekundärt innebär återvunnen metall (EuroStat 2013). Siffror i rött är sannolikt felaktiga värden.

Metall eller mineral	Internt	Externt
Export		
Järnmalm	39 %	92 %
Stålskrot	2 %	4 %
Blymalm	14 %	
Zinkmalm	15 %	10 %
Gruvavfall (aska, slagg)		39 %
Ädelmetaller annat än silver	12 %	
Import		
Koppar	7 %	6 %
Nickel	5 %	
Aluminium	8 %	
Molybdem	14 %	
Gruvavfall (aska, slagg)	6 %	
Koppar sekundärt	7 %	11 %
Nickel sekundärt	23 %	10 %
Aluminium sekundärt		6 %
Bly sekundärt	6 %	

Listning av kritiska metaller är ett led av EUs strategi för att säkerställa metallbehovet inom EU. EUs industri efterfrågar metaller och mineral i betydligt högre än vad som kan utvinnas inom unionen. Sverige har också en stor industri som efterfrågar metaller. Den svenska metallbaserade industrin har en betydligt större andel av den totala industrin än EU-snittet. Det är enbart Tyskland som har en större andel metallbaserad industri. Sverige är som industrination mycket olik de andra länderna i Europa. Sverige har förutom en stark industri även stor råvaruproduktion. Sverige utvinner i betydligt större grad metallråvaran som behövs i landet och har följdaktningen en stor export. Samtidigt är också importen av mineralråvaror hög. Det beror i hög grad på att produktionen i landet är specialiserad. Där metaller och råvaror som inte finns användning för exporteras medan där landets egen produktion inte räcker till importeras råvaror. Exempel på detta är den svenska metall- och verkstadsindustrin som är nischad för rostfritt-, höghållfast- och lättviktskonstruktioner i stål, vilket inneburit import av stålskrot som passar till dessa produkter och export av annat oftast enklare stålskrot.

DEFINITION OCH IDENTIFIERING AV KRITISKA MINERAL I SVERIGE

EUs kritiska lista är gjord utifrån kvantitativa beräkningar för varje enskild metall med avseende på ekonomisk betydelse och utbudsrisk. I utredningen har en svensk kritisk lista föreslagits med utgångspunkt från EUs lista. Till skillnad mot denna så har kvalitativa bedömningar gjorts för varje metall och mineral. Dessa har bedömts utifrån de skillnader som finns mellan EU och Sverige och användningen av metallen eller mineralen i Sverige. Bruttolistan på kandidatmineral finns i bilaga 1, andra delen.

Det här är första försöket att göra ett urval av de mest kritiska metallerna för Sveriges resursbehov. Kunskapsläget är delvis bristfälligt och statistiken behöver bli mer komplett. Fördjupade studier behöver göras för att förbättra analysen och kunna dra mer långtgående slutsatser.

Metallerna och mineral har rankats efter hur värdefulla de bedömts för stål- och elektronik och övrig industri. Även metallvärdet i sig har ingått i bedömningen. Därefter har risker i form av leveransrisk, EUs risklista används i bedömningen. Det har gett en lista på 18 mineral, samtliga illustrerade i figur 29. Detta har ställts mot de tillgångar, såväl primära som återvinningsbara, som finns i landet vilket anses reducera risken. De metaller och mineral som ansets som mest kritiska är de utan några större tillgångar i landet, de 3 översta i figur 29. De är: koks, PGM och bor. Därefter följer en grupp där mindre tillgångar finns i landet. De är 5 stycken: kobolt, niob, tenn, wolfram, magnesium. Slutligen kritiska metaller och mineral med större tillgångar av primära tillgångar eller återvinningsbara potentialer: molybden, ferrokisel, flussspat, titan, REE, nickel, krom, mangan, vanadin och dolomit (kalksten).

Bedömningen illustreras i figur 29. De ljusblå kulorna representerar den ekonomiska betydelsen och antalet avspeglar viktigheten men även om metallerna förekommer inom många användningsområden. De mörkblåa kulorna representerar värden utifrån olika mätningar, bl. a. importvärden. De gula kulorna är dels EUs kritiska lista men även leveransrisker till industrin ingår i bedömningen. Grönt är potentialer och tillgångar. Mindre primära tillgångar är de mindre gröna kulorna. Svart är om det sker en produktion av metallen eller mineralet i landet.

Tabell 29. Svensk användning och produktion av traditionella metaller. Uppgiften om omsmältning är en uppskattning av SGU (WBMS April 2014, SGU 2014:3, UNCTAD 2013).

2013	Användning		Sverige produktion			EOL/ RR %	kommentar	Andel Sverige/EU	Differens Sveriges prod. -anv.
Mineral	EU/Europa (ton)	Sverige (ton)	Primärt	Från import	Återvinng				
Järn	138 300 000	4 326 000	27 285 000		2 032 000	70–90		3 %	24 991 000
Koppar	3 018 100	121 800	82 760	123 000	65 300			4 %	26 260
Bly	1 612 800	17 000	59 466		49 300			1 %	91 766
Zink	1 840 900	23 900	175 711		730	50	Osäkert värde	1 %	152 541
Aluminium	6 160 500	90 500	Ingen	131 000	56 500	90		1 %	97 000
Nickel	264 600	25 000	Ingen	1 100*	14 610	50	Omsmältning + import + WEEE	9 %	-10 390
Tenn	56 100	70	Ingen		Ingen	75		0,1 %	-70
Guld	300	2,6	6		10	10–15		1 %	14
Silver	5 040	35	340		27	50	År 2010	1 %	332

* Sannolikt från importerat koncentrat

Tabell 30 A. Svensk användning och produktion av legerings- och specialmetaller. Uppgiften om omsmältning är en uppskattning av SGU (WBMS April 2014, SGU 2014:3, Jernkontoret bilaga 10).

EU-kritisk mineral	Användning		Sverige Produktion		EOL/ RR %	Kommentar	Andel Sverige/ EU	Differens Sveriges prod. -anv.
	EU/Europa (ton)	Sverige (ton)	Primärt	Återvinng				
Antimon	20 000	Uppgift saknas	Ingen	Ej möjligt	-			
Beryllium	20	Uppgift saknas	Ingen	Uppgift saknas	< 1			
Bor	300 000	500	Ingen	Ej möjligt	-		0 %	-500
Krom	1 800 000	100 000	Ingen	64 000		Omsmältning, även import	6 %	-36 000
Kobolt	11 000	500	Ingen	10	68		5 %	-490
Koks	70 000 000	1 000 000	Ingen	Ej möjligt	-		1 %	-1 000 000
Flusspat	879 000	10 000	Ingen	Ej möjligt	-		1 %	-10 000
Gallium	30	Uppgift saknas	Ingen	Ingen				
Germanium	16	Uppgift saknas	Ingen	Uppgift saknas				
Indium	57	Uppgift saknas	Ingen	Uppgift saknas	< 1			
Mangan	3 000 000	50 000	Ingen	Ingen	50		2 %	-50 000
Magnesit			Ingen	Ej möjligt				
Magnesium	165 000	Uppgift saknas	Ingen	Ingen	39			
Grafit	78 000	Uppgift saknas	fr. 2015	Ej möjligt	-			
Niob	13 000	1 000	Ingen	Ej praktiskt möjligt	20	EOL i omsmältning	8 %	-1 000
Fosfat	3 000 000	9 000	Ingen	Ej möjligt	-		0 %	
PGM	127	?	Ingen	Mindre mängd	60	Restprodukt från Boliden till anläggningar i Europa		
REE	8 000	500	Ingen	Ingen	< 1		6 %	-500
Kisel	540 000	25 000	Ingen	Ingen		?	5 %	-25 000
Wolfram	12 000	600	Ingen	Mindre mängd	60–70			
Totalt	79 826 250	1 187 500	0	430			1 %	-1 187 070

Tabell 30 B.

Övriga kandidat-mineral	Användning		Sverige Produktion		EOL/ RR %	Kommentar	Andel Sverige/ EU	Differens Sverige prod. -anv.
	EU/Eu-ropa (ton)	Sverige (ton)	Primärt	Återvinng				
Dolomit		100 000	Ingen	Ej möjligt				
Kalcium		500	Ingen	Ej möjligt				
Kalksten		300 000	Ingen	Ej möjligt				
Molybden		10 000	Ingen	6 000		Omsmält-ning		-10 000
Olivin		5 000	Ingen	Ingen		Omsmält-ning		
Titan		5 000	Ingen	Ej möjligt				
Vanadin		1 000	Ingen	Ej möjligt		Delvis oms-mältning		
Litium		Uppgift saknas	Ingen	21				
Tantal		Uppgift saknas	Ingen		< 1			
Tellur		Uppgift saknas	fr. 2014		< 1			
Total		421 500						

Beskrivning av kritiska mineral

Se även bilaga 1 och 6.

Kritiska mineral utan fyndigheter i Sverige:

Koks

Den huvudsakliga användningen av koks är som bränsle i stålverk. Koks används också i aluminiumförädling.

PGM

Till platinagruppen (PGM) hör de sex ädelmetallerna: platina (Pt), palladium (Pd), rhodium (Rh), rutenium (Ru), iridium (Ir) och osmium (Os). Främsta användningsområdet är i katalysatorer i bilar (drygt halva konsumtionen av PGM). Andra viktiga applikationer är i industriella katalysatorer glastillverkning, tandvårdsapplikationer.

Bor

Presshärdat borstål kan användas i bilar med syfte att bygga lätt och ändå starkt.

Kritiska mineral med mindre fyndigheter i Sverige:

Kobolt

Användningen av kobolt har förändrats mycket de senaste 10 åren. Idag är de främsta applikationsområdena batterier (23 %) och superlegeringar (21 %). Kobolt används även i hårdmetall till verktyg för bearbetning av metall (ca 11–14 %).

Niob

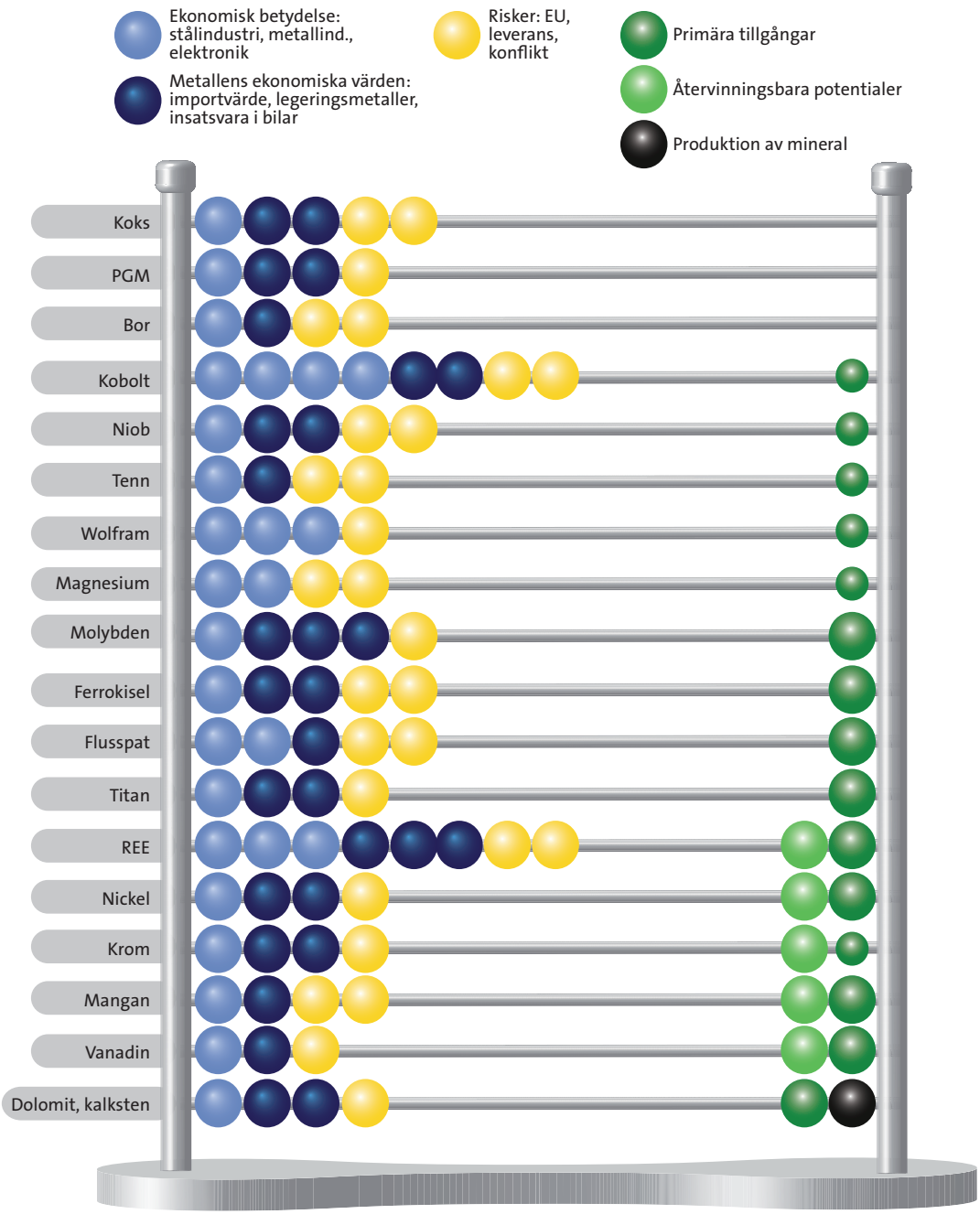
Den främsta användningen (85 %) av niob är som legeringsämne i hög-hållfasthetsstål för viktreduktion av bilar och i speciallegeringar för flygindustrin. Niob används också i superlegeringar. Andra mindre applikationsområden är magneter, supraledare, smycken, termometrar, kondensatorer och katalysatorer.

Tenn

Drygt hälften av allt tenn används som lödning, främst i elektroniska komponenter. Denna användning har ökat i takt med ökade restriktioner kring blybaserad lödning.

Volfram

Volfram används framförallt (60 %) i hårdmetall baserad på volframkarbider (WC). Hårdmetallerna används i verktyg för bearbetning av sten och metall. Volfram används även som legeringsämne i stål, superlegeringar och volframlegeringar. Volframlegeringar används i ett stort antal applikationer, bl.a. belysning, elektronik, högtemperaturteknik, svetsning, gnistbearbetning (EDM), flyg- och rymdfarkoster, vapen och laserteknik.



Figur 29. Kritiska metaller och mineral i Sverige.

Magnesium

Magnesium används framförallt i legeringar med aluminium (40 %) samt i formgjutna lättviktsdelar (40 %). Sådana aluminiumlegeringar används huvudsakligen inom konstruktion samt i motorfordon och förpackningar. Formgjutna lättviktsdelar används främst i bilar, men även i t.ex. laptops

Kritiska mineral med större fyndigheter eller återvinningspotentialer i Sverige:

Molybden

Molybden har många användningsområden. Den största användningen är som legeringsämne i stål för applikationer som kräver god hållfasthet, korrosionsresistans och tålighet för höga temperaturer. Molybden används även i superlegeringar. Exempel på användningsområden för Molybden är pipelines för olja och gas, bilar och maskiner i processindustri.

Ferrokisel
Aluminiumframställning. Kisel används för att förbättra viskositeten till smält aluminium och för att förbättra de mekaniska egenskaperna till aluminiumlegeringar.

Flusspat
Flusspat används vid tillverkning av stål-, aluminium och glas.

Titan
Titan används även i lättviktsdelar inom rymdteknik, hårdmetaller, färgsensibiliserade solceller, mikrokondensatorer, svetselektroder, avsaltningsteknik, medicinska implantat

REE
Används i en rad olika områden, framförallt i fosforiserande belysning och polering av glas, Andra användningsområden är fiberoptik, laserteknik, keramiktillverkning och magneter. Magneterna används i ett stort antal applikationer från små elektroniska apparater, till industriella motorer, hårddiskar, elektriska motorer och generatorer i vindturbiner. Magneter tros bli ett viktig framtida användningsområde för REE.

Nickel
Den största användningen av nickel är i rostfritt stål.

Krom
Det absolut största användningsområdet är som legeringsämne i rostfritt stål.ManganDen absolut största användningen av mangan är som reduktions- och avsvavlingsagent i stålproduktion samt även i koppar och nickelproduktion. Det är även vanligt att stål och aluminium legeras med mangan. Mangan används i lättviktskonstruktioner för t.ex. bilar och flygplan och i exempelvis mikrokondensatorer och litium-mangan-batterier.

Vanadin
Vanadin används främst som legeringsämne i stål, men även i icke-järnhaltiga legeringar. Slutprodukter för vanadinlegeringar är oftast inom konstruktion eller verktygstål, men kan också vara inom rymdteknik, batterier, militära applikationer och motordelar.

Dolomit och kalksten
Bränd kalk används som slaggbildare i metallförädling, framför allt stål, men även zink, bly, koppar och antimon.

Viktiga men icke-kritiska mineral (kandidatmineral)

Figur 5.2. visar metaller och mineral vilka har bedömts att inte ha den sammanlagda kritikaliteten enligt kriterierna ovan för att ingå i listan över svensk kritisk mineral. För att metallen eller mineralet ska bedöms som kritisk skall två kriterier uppnås, vilket är samma utgångspunkt som gäller för EUs listning. Att metallen eller mineralet har högt ekonomiskt värde (blått i figuren) samt att det finns någon slags utbudsrisk (gult i figuren) som kan medföra att svensk industri kan komma att få svårigheter att tillgodogöra sig metallen eller mineralet. Enbart högt ekonomiskt värde räcker inte för att metallen eller mineralet skall klassas som kritiskt, vilket gäller exempelvis för järn och aluminium. Några metaller och mineral har båda kriterierna uppfyllda men ingår ändå inte i den kritiska listan. Dessa har bedömts att inte ha lika höga ekonomiska värden och risker totalt, vilket har gällt t.ex. för indium eller gallium.

Sällsynta jordartsmetaller – varför är de kritiska mineral?

Sällsynta jordartsmetaller (*Rare Earth Elements,* REE) är ett samlingsnamn på 17 olika metaller med flera unika egenskaper. De har en stor och ökande betydelse i en rad högteknologiska, innovativa och energisparande produkter såsom hybridbilar, elbilar och vindkraftverk. De fyller även viktiga funktioner i mer alldagliga produkter som lågenergilampor, batterier, datorminnen och magneter.

REE är trots sitt namn inte så sällsynta grundämnen. Världsproduktionen är idag ca 125 000 ton REE per år. Det samlade marknadsvärdet för REE är relativt blygsamt, både jämfört med motsvarande värde för andra basmetaller och jämfört med det totala värdet i den ofta högteknologiska slutprodukt där de har en viktig funktion.

Fram till år 2010 kom mer än 95 % av den globala REE-produktionen från gruvor i Kina. I samband med en politisk konflikt med Japan ströp Kina exporten av REE, vilket fick allvarliga effekter för försörjningen av REE till stora delar av världens varuproducerande industri. Gruvor har därefter öppnats eller återöppnats i bland annat Australien och USA så att Kina numera (2014) beräknas stå för cirka 75 % av REE-produktionen i världen.

REE indelas i tunga (HREE) och lätta (LREE). Tillgången på LREE är relativt god medan tillgången på HREE för närvarande är mer kritisk. För HREE står Kina fortfarande för bortåt 90 % av världsproduktionen. Leverantörskedjan från gruva till färdig magnet består av ett antal steg. Magnetproduktionen är ett bra exempel som åskådliggör att Kina är nästan lika dominerande på världsmarknaden i de efterföljande stegen som i själva REE-utvinningen i gruvan.

En av de mer lovande fyndigheterna av HREE utanför Kina finns i Sverige i Norra Kärr, nära Gränna. Det är fler faktorer som gör den fyndigheten lovande, bland annat dess låga halt av radioaktiva komponenter som Uran och Thorium, i jämförelse med andra fyndigheter i världen. I Norra Kärr är mineraltillgångarna (enligt kategori 2a) angivna till cirka 390 000 ton REE. Som jämförelse innehåller en konventionell bil ett 50-tal gram REE, en hybridbil använder bortåt ett kilogram REE. Den samlade svenska bilskrotningen beräknas om cirka tio år, då REE-tekniken är spridd i skrotbilarna, få in totalt enstaka ton REE i de uttjänta bilarna.

I EUs aktuella lista över kritiska mineral anses HREE vara mest kritisk av alla, följd av LREE. EU Parlamentet och EU Kommissionen etablerade genom ett gemensamt initiativ år 2013 ett europeiskt expertnätverk ERECON. Syftet var att ta fram förslag på hur EU skulle kunna minska beroendet av extern försörjning av REE till näringslivet. Nätverket fokuserade på möjligheterna till primär REE-försörjning, ökad resurseffektivitet och återvinning samt på möjligheterna till REE-substitution (ERECON).

FORSKNING, INNOVATION OCH UTVECKLING

Mineral och metaller i äldre varphögar

Vid institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, bedrivs ett projekt som handlar om att testa gamla varphögar, rester från hundratals år av gruvbrytning, på deras innehåll av sällsynta och kritiska metaller. Projektet har visat på både att det finns en stor spännvidd av sällsynta metaller i Bergslagens varphögar, och delvis också exakt hur de förekommer, alltså i vilka mineral (fig. 31). Inte minst metaller som är kritiska för modern och grön teknologi förekommer i flera områden. Projektet skall vara klar under våren 2015.

Pågående ”Raw Material Initiative” relaterade projekt i Europa

Fennoscandian Ore Deposit Database

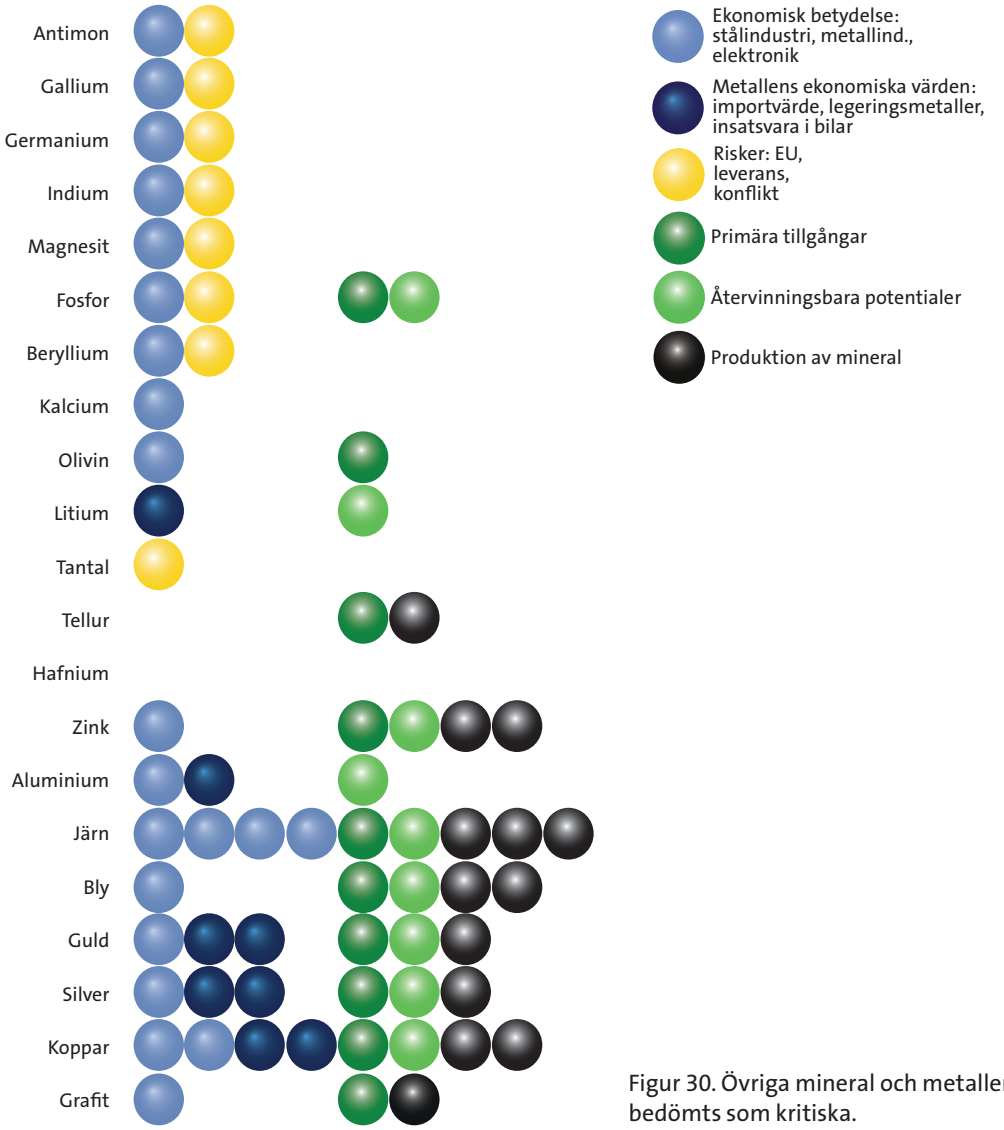
Arbetet med att skapa en gemensam databas för den Fennoscandiska skölden startades 2001 på ett möte med deltagare från de geologiska undersökningarna i Norge, Sverige och Finland samt motsvarande organisationer i Ryssland. År 2007 var den första fasen i arbetet klar och en karta och databas över de största metallfyndigheterna, en beskrivning till kartan och en karttjänst hos Finlands geologiska undersökning (GTK) blev klara. Arbetet har sedan dess resulterat i en karta, beskrivning och karttjänst över metallogenetiska områden och industrimineral. Databasen och karttjänsterna uppdateras årligen, den tryckta kartan har uppdaterats en gång.

http://en.gtk.fi/informationservices/databases/fodd/

Råvaruinitiativet – Raw Material Initiative

För några år sedan uppmärksammades, på EU-nivå, att länderna inom EU förbrukade betydligt mer mineral och metaller än vad de producerade samt att olika protektionistiska tendenser inom den globala råvaruekonomin hade börjat uppträda. 2008 publicerade Europakommissionen ett dokument med titeln ”The raw materials initiative – meeting our critical needs for growth and jobs in Europe”. Uppropet följdes av ett flertal råvarurelaterade projekt, bland annat ett projekt som utarbetade en lista över så kallade kritiska mineral och metaller i EU. En första version avrapporterades 2010 och en uppdaterad rapport var klar 2014. Listan över kritiska metaller och mineral brukar sammanfattas i ett diagram med den ekonomiska betydelsen för EUs industri på x-axeln och försörjningsrisken på y-axeln.

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm



Figur 30. Övriga mineral och metaller som inte bedömts som kritiska.

Promine och EuroGeoSource (avslutade projekt)

Promine startade 2009 och syftade till att utveckla en pan-Europeisk GIS-baserad databas över metall och icke-metallfyndigheter i Europa men även till att utveckla nya mineralbaserade produkter. Deltagare var geologiska undersökningar, universitet och företag i Finland, Sverige, Polen, Portugal, Grekland, Nederländerna, Tyskland, Malta, Frankrike, Spanien och Storbritannien. Arbetet resulterade bland annat i en karttjänst där de största fyndigheterna visades. Projektet avslutades 2013.

http://promine.gtk.fi/

EuroGeoSource projektet inleddes 2010 och hade ungefär samma syfte som Promine. Även det arbetet resulterade i en karttjänst. Deltagare var

Figur 31. Gamla varphögar med bland annat förhöjda halter av ädelmetaller, docent Karin Högdahl (t vänster), institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, med en student i fält i Bergslagen. Foto: Erik Jonsson, SGU.

huvudsakligen de geologiska undersökningar i Nederländerna, Slovenien, Bulgarien, Rumänien, Polen, Belgien, Portugal, Italien, Estland, Slovakien, Spanien och Danmark. Projektet avslutades 2013.

http://www.eurogeosource.eu/home

Circum Arctic Ore Deposit Map

På initiativ av Norges geologiska undersökning (NGU) startade projektet Circum Arctic Ore Deposit Map 2012. Projektet syftar till att skapa en karta över mineralresurser, huvudsakligen metalliska mineralresurser, över Arktisområden ned till 60:e breddgraden, en karta som ska komplettera de tidigare publicerade geologisk och geofysiska kartorna över området (http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=287868). Samarbetspartner är de geologiska undersökningarna eller motsvarande organisationer i Norge, Sverige, Finland, Ryssland, USA, Kanada, Danmark & Grönland samt Island. Arbetet ska slutredovisas 2016.

Minerals4EU

Projektet fortsätter det arbete som gjorts inom Promine och EuroGeoSource men denna gång med deltagande från geologiska undersökningar i hela EU och dessutom med ambitionen att projektet ska överleva efter att projekttiden har gått ut. I arbetet finns flera så kallade work-packages med uppgiften att skapa ett nätverk, att skapa en GIS-baserad databas över Europas mineralförekomster samt att sätta samman en årlig publikation över Europas mineraltillgångar (Minerals Yearbook). Arbetet, som stöds av EUs 7:e ramprogram, FP7, startade 2013 och ska pågå till 2015.

http://www.minerals4eu.eu/

EURARE

Eurare-projektet startade 2013. Projektet undersöker och dokumenterar förekomster av sällsyta jordartsmetaller (REE) i EU och har samtidigt delar som arbetar med utvinningsmetoder samt skapandet av ett nätverk av experter.

ProSUM

Det nyligen startade projektet ProSUM har som mål att inventera sekundära råvaror i EU, inkluderande skrotade bilar, elektroniskt skrot och deponier för restmaterial från gruvdrift.

Andra projekt som är i startfasen eller som söker finansiering

Explore
Explore inkluderar analys av oupptäckta malmer.

MINCE, "Minerals in Circular Economy"
Mince undersöker återflödet av metaller och mineral i samhället.

http://www.mince.fi/index.html

EIP innovationspartnerskap för råvaror
EIP är ett EU-projekt för att främja forskning och innovation av råvaror. Projektet arbetar för närvarande med att:

- Utveckla innovativa tekniker och lösningar för en hållbar och säker råvaruförsörjning.
- Utveckla innovativa och hållbara lösningar för lämplig substitution av kritiska och sällsynta råvaror.
- Förbättra EUs regelverk berörande råvaror, samt kunskap och infrastrukturbas.

Exempel på detta är:

- Ersättningsmaterial för åtminstone tre viktiga tillämpningar där man idag använder sig av s.k. kritiska mineral.
- Öka resurseffektiviteten (ta ut mer från mindre) och öka återanvändning och återvinning.
- Europeiska standardiserade, statistiska instrument för undersökning av resurser och reserver och en 3D geologisk karta.
- Ett dynamiskt modelleringssystem som länkar trender i tillgång och efterfrågan med ekonomiskt utvinningsbara reserver och en full livscykelanalys.

Återvinning och utveckling av återvinningsarbetet i industriprocesser och skrothantering
Inom ramen för Jernkontorets forsknings- och utvecklingsverksamhet bedrivs ett flertal framåtriktade projekt gemensamma med återvinningsindustrin för att ytterligare effektivisera och om möjligt öka återvinningsgraden. Projekt bedrivs även inom branschens EU-organ Eurofer och RFCS. En förhoppning som branschen har är att de svenska specialstålsindustrin ska kunna använda en större andel återvunnet material, som idag inte är möjligt att använda till rimliga kostnader på grund av föroreningar i skrotråvaran. Bland faktorer som är av betydelse för att det ska fungera nämner branschen:

- Möjlighet att använda slipmull från verkstadsindustrin som idag delvis deponeras.
- Metoder för att industrin bra och snabbt ska kunna klassificera och verifiera skrotkvalitet och skrotanalys.

Det finns en vilja att hitta lösningar till ökad användning av s.k. biprodukter, recirkulation internt eller återvinning av metaller i stoft. Genom egen återvinning skapas en ökad metallproduktion. Material kan också lämnas vidare till annan aktör för återvinning, förutsatt att materialet passar både processkemiskt och processtekniskt. Ett exempel är metallhaltigt stoft som i vissa fall kan omhändertas för metallåtervinning.

Idag saknas ofta kunskap om innehållet av övriga metaller som krom, zink, nickel, REE, etc. i material och produkter. Tillsammans med basmetallerna återvinns uppskattningsvis också en hel del andra metaller genom sin förekomst i legeringar. Idag saknas dock överlag provtagning och analys av metallinnehållet i olika materialströmmar (avfall, återvinning, deponi, etc.), vilket gör att det svårt att bedöma vilka mängder av olika metaller och mineral som potentiellt finns att tillgå eller som går förlorade.

I underlaget gällande skrothantering, både från återvinningssidan och från Jernkontorets utredningar, framgår att kunskapen om vilka metaller, utöver basmetallerna, som finns i skrotet ofta saknas. Enligt Jernkontorets sammanställning bedöms mängden tillfört skrot inom stålindustrin vara cirka 1,3 miljoner ton per år. Återvinningen av metaller, främst andra än basmetallerna, kan ökas till exempel genom noggrannare sortering och detektering av ämnen i skrot. För att få till stånd en ökad returnering och återvinning av metallskrot krävs insatser i hela återvinningsledet bl. a. mer tillämpad forskning för att effektivisera och utöka sortering, analys och kvalitetssäkring.

Produktdesign är idag en viktig försäljningsfaktor. Produktdesignen har dock ofta inte skett med hänsyn tagen till hur produkten ska omhändertas och återvinnas i avfallsledet. Värdefulla metaller kan ha infogats i produkterna på ett sätt som försvårar återvinning och i praktiken medför att den inte blir ekonomiskt möjlig. När designen av produkten försvårar materialåtervinningen leder

det till minskat utbyte i återvinningssteget6. Att minska mängden spill och skrot från den egna tillverkningen som skickas till annan mottagare, skulle innebära att utspädningen och förlusten av legeringsmetaller skulle minskas.

Det MISTRA-finansierade miljöforskningsprogrammet, ”Stålkretsloppet”, har visat exempel på vilka möjligheter som föreligger med till exempel on-line analys med laserteknologi, och andra tekniker eller incitament för ökad möjlighet till klassificering av stålskrot. Därmed skulle stålskrot kunna precisionsriktas till önskad stålsort. Liknade metoder och tankesätt borde kunna tillämpas även för andra metallmaterial än stål, där tillsatserna av legeringsmetaller spelar viktig roll för materialets egenskaper och ekonomiska värde.

Det pågår forskning och utveckling hos företagen för att hitta nya produkter, användningsområden och återvinningsvägar. De svårigheter som är genomgående är att återvinning är svårgenomförbar på grund av metallernas förekomstformer i de material som idag istället deponeras. Det är inte ovanligt att metallerna föreligger i kemiskt bunden komplexform, vilket gör dem svåra att ”komma åt”. Processande av ett material kan vidare medföra risk för till exempel ökade (eller andra) utsläpp.

KÄLLFÖRTECKNING

Referenser i avsnitten:

Brobst, D.A. & Pratt, W. P. (eds.), 1973: United States Mineral Resources. US Geological Survey Professional Paper 820

Eilu, P., Hallberg, A., Bergman, T., Feoktistov, V., Korsakova, M., Krasotkin, S., Lampio, E., Litvinenko, V., Nurmi, P.A., Often, M., Philippov, N., Sandstad, J.S., Stromov, V. & Tontti, M. , 2007: Fennoscandian Ore Deposit Database – explanatory remarks to the database, 2007, Geological Survey of Finland, Report of Investigation 168

Rasilainen, K., Eilu, P., Halkoaho, T., Iljina, M. & Karinen, T., 2010: Quantitative mineral resource assessment of platinum, palladium, gold, nickel, and copper in undiscovered PGE deposits. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 180, 340 s.

Rasilainen, K., Eilu, P., Äikäs, O., Halkoaho, T., Heino, T., Iljina, M., Juopperi, H., Kontinen, A., Kärkkäinen, N., Makkonen, H., Manninen, T., Pietikäinen, K., Räsänen, J., Tiainen, M., Tontti, M. & Törmänen, T., 2012: Quantitative mineral resource assessment of nickel, copper and cobalt in undiscovered Ni-Cu deposits in Finland. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 194, 523 s.

Rasilainen, K., Eilu,P., Kärkkäinen,N., Nironen, M., Tiainen, M., Kousa, J., Västi, K., Lauri, L. & Niiranen, T., 2013: Quantitative Assessment of Porphyry Copper Resources in Finland, in ed. Jonsson, E. et al. 12th. Biennial SGA Meeting, Uppsala, Sweden, Proceedings volume 2.

Saltikoff, B., Puustinen, K. & Tontti, M. 2000: Metallic mineral deposits of Finland: explanatory remarks to the Mineral deposits map of Finland. Geological Survey of Finland. Guide 49. 29 s.

SGU, 2009: Metals and minerals. Sweden’s contribution to raw material supply in Europe. Uppsala: SGU. 44 p.

U.S. Geological Survey National Mineral Resource Assessment Team, 2000: 1998 Assessment of Undiscovered Deposits of Gold, Silver, Copper, Lead, and Zinc in the United States. U.S. Geological Survey Circular 1178

SGUs databaser

FODD

Fennoskandiska fyndighetsdatabasen (Fennoscandian Ore Deposit Database, FODD) innehåller information om de större malmerna och mineraliseringarna på den Fennoskandiska skölden. Information inkluderar namn och geografiskt läge, reserver, tillgångar och brutet tonnage, metallhalter, geologi och mineralogis samt referenser.

http://en.gtk.fi/informationservices/databases/fodd/

Mineralresursdatabasen

Mineralresursdatabasen innehåller information om metall-, mineral- och kolväteförekomster i Sverige, från mineraliserade hällar till större förekomster såsom nedlagda och producerande gruvor. Informationen inkluderar namn, läge, typ av mi-

neralisering, mineralogi och geologi samt referenser till informationen.

http://www.sgu.se/produkter/kartor/kartvisaren/berg-malm-mineral-och-ballastteman/

Malmproduktionsdatabasen

Innehåller information om produktion av malm och gråberg från 1833 till 2013 med vissa metallhalter.

Reserver & tillgångar

Reserver och tillgångar innehåller information om mängd malm, metallhalter, rapporteringssystem etc. för fyndigheter för vilka mineralreserver och mineraltillgångar har rapporterats.

Anrikningsdatabas

Innehåller information om mängd och metallhalt på ingående malm i anrikningsverk samt producerat koncentrat. Även geografisk information om anrikningsverket läge.

Övriga statistikreferenser

SCB BNP, 2007: BNP från produktionssidan (ENS95), efter näringsgren SNI 2007

SGU 2014: Periodisk publikation 2014:2, Bergverksstatistik 2013

EuroStat 2013: EU28_INTRA och EU28_EXTRA

WBMS April 2014: World Bureau of Metal Statistics 2013.

Comtrade 2013: FNs handelsstatistik

SCB 2011: Handelsstatistik

Mineralrättregistret

Mineralrättsregistret innehåller information om områden med undersökningstillstånd och bearbetningskoncessioner. Data om namn, identitet, tillståndsperiod, yta samt ägare.

http://www.sgu.se/bergsstaten/om-bergsstaten/kartvisaren-mineralrattigheter/

Övriga referenser

Arnerdal & Skogsjö 2014: SGU, pers. komm. Uppskattning utifrån SGU:s erfarenhet av arbete som huvudman för efterbehandlingsprojekt (oktober, 2014)

EEA 2014: Europeiska miljöbyrån – Avfall: Ett problem eller en resurshttp://www.eea.europa.eu/sv/miljosignaler/signaler-2014/artiklar/avfall-ett-problem-eller-en-resurs,2014–10–-29

Elkretsen 2012: Elkretsens statistik 2012

Gauffin A., Andersson N. Å. I., Storm P., Tilliander A. and Jönsson P. G.. "Use of volume correlation model to calculate lifetime of end-of-life steel." Ironmaking & Steelmaking. 2014

Jernkontoret 2014: Stålkretsloppet, http://www.stalkretsloppet.se/hem/index.php

Naturvårdsverket 2013: Hållbar återföring av fosfor. Naturvårdsverkets rapport 6580.

Naturvårdsverket 2014, Lägesbeskrivning av arbetet med efterbehandling av förorenade områden, Skrivelse, ärendenummer NV-06370-13

RVF 2003: Avfallsanläggningar med deponering, Statistik 2002, RVF rapport 2003:08, ISSN 1103-4092

SGI 2014: Statens geotekniska institut, SGI publikation 14: Inventering, undersökning och riskklassning av nedlagda deponier. Information och råd

Svenskt aluminium 2014: http://www.aluminiumriket.com/, 2014–11–26

UNEP 2013: Environmental Risk and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles

CRM, 2014: Report On Critical Raw Materials For The Eu. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, May 2014.

CRM, 2014: Report On Critical Raw Materials For The Eu. Critical Raw Materials Profiles. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, May 2014.

Jernkontoret, 2001: Stålet och miljön, Stockholm 2001. s. 29.

BEGREPPSFÖRKLARING

Begrepp	Förklaring
anrikning	process där de eftersökta mineralen skiljs från gråbergsmaterial. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
anrikningssand	restprodukt som blir över efter att de värdefulla malmmineralen har separerats ut ur malmen i anrikningsverket. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
anrikningsverk	en anläggning där man förädlar finmald malm genom mekanisk eller kemisk behandling och framställer ett koncentrat (eller slig) av värdefulla malmmineral.
apatitjärnmalm	en typ av järnmalm som bl.a. karakteriseras av sitt innehåll av fosformineralet apatit.
ballast	Sand, grus, morän och krossat berg som används i bygg- och anläggningsverksamhet.
basmetall	sammanfattande benämning på metallerna koppar, zink, bly, nickel, tenn och ibland även aluminium.
bearbetningskoncession	tillstånd från bergmästaren att i enlighet med minerallagens bestämmelser bedriva gruvdrift.
bergmaterial	material som består av någon bergart.
B-malm	för tillfället oekonomisk del av en malm men som bedöms kunna vara ekonomisk i framtiden.
dagbrott	gruvverksamhet som sker i dagen (ej under jord).
deponi	plats för deponering av material, i denna rapport för gråberg och anrikningssand. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
deponimalm	malm som lagts i deponi, oftast vid anrikningsverk, för framtida processering. Jmf. B-malm.
floatation	process i anrikning där de eftersökta mineralens ytegenskaper utnyttjas för att skilja dem från gråbergsmaterial. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
fyndighet	en plats där en mineralisering finns
gravimetrisk anrikning	anrikningsprocess där skillnader i mineralens densitet utnyttjas
gråberg	allt berg som inte är malm, ofyndigt berg. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
GTK	Finlands geologiska undersökning (Geologian tutkimuskeskus)
igensättningsbrytning	brytmetod under jord där de rum som bildas efter den utbrutna malmen fylls med restmaterial, ofta blandat med cement
industrimineral	beteckning på icke-metalliska mineral och bergarter som har användning på grund av sina fysiska och kemiska egenskaper.
inert	reaktionströg, i detta sammanhang ett bergmaterial som inte vittrar eller lakas på metaller.
lagrade intrusioner	typ av bergart där magman i en magmakammare avsatts som lager.
legeringsmetall	metall som används för att smältas ihop med en annan metall, vanligen järn.
malm	en mineralisering som går att bryta med ekonomisk vinning
malm	en i naturen förekommande metallhaltig mineralkoncentration som är brytvärd ur ekonomisk synvinkel, där en eller flera metaller kan utvinnas.
malmpotential	möjligheten att hitta malm.

malmproduktion	produktion av malm (från en gruva, en region, ett land osv.).
malmreserv	se mineralreserv
malmtillgång	se mineraltillgång
malmtonnage	mängd malm, vanligen uttryckt i ton eller miljoner ton (Mt).
metallhalt	halt av en viss metall i ett material.
metallpriser	priset för metallen när den säljs på marknaden.
mineralisering	en bergart som innehåller anomala halter av något mineral eller metall.
mineralkoncentrat	en produkt som har högre koncentration av ett visst mineral, i detta sammanhang slutprodukten från ett anrikningsverk.
minerallagstiftning	reglering av rätten att undersöka och utvinna mineraltillgångar.
mineralreserv	den ekonomiskt utvinnbara delen av en mineraltillgång. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
mineraltillgång	en koncentration av ekonomiskt intressanta förekomster i sådan form, kvalitet och kvantitet att det finns rimliga möjligheter till eventuell ekonomisk utvinning. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
mineralutvinning	processen när mineral utvinns ur en malm.
orogen	en bergartsbildande epok.
porphyry copper	en typ av kopparmalm som förekommer disseminerad i en granit, vanligen en porfyrisk granit, därav namnet.
prospektering	Letande efter ekonomiskt intressanta mineral (”malmer”) genom undersökningar av berggrunden. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
provanrikning	försök att anrika malm i laboratorieskala.
restmaterial	det material som blir över, i detta fall gråberg och anrikningssand. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
skarnjärnmalm	en typ av järnmalm som bl.a. karakteriseras av sitt innehåll av olika skarn (kalk-silikat) mineral.
sovring	en form av anrikning av grovt material där den eftersökta malmen separeras från gråbergsmaterial.
sovringsverk	industriellanläggning där sovring utförs.
specialmetall	en löst definierad grupp av metaller som inkluderar sällsynta jordartsmetaller, metaller som används inom halvledarteknik etc.
sulfidmalm	malm där metallerna huvudsakligen är bundna till svavel och bildar olika metallsulfider.
undersökningstillstånd	Ett undersökningstillstånd ger innehavaren tillträde för undersökningsarbete inom tillståndsområdet, ensamrätt till undersökningar inom undersökningsområdet i förhållande till andra prospektörer och fastighetsägaren samt företrädesrätt vid en eventuell ansökan om koncession.
USGS	USAs geologiska undersökning (U.S. Geological Survey).
utbyte	den del, uttryckt i procent, som man lyckas utvinna ur en malm under anrikningen. Se vidare förklaring i bilaga 2 och 3.
ädelmetall	sammanfattande benämning på metallerna guld, silver och platinagruppens metaller (PGE).

Bilaga 1: Faktablad - metaller och mineral

decemberr 2014

SGU

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Metall/mineral	**Kemisk formel**
Antimon	Sb
Lätta sällsynta jordartsmetaller (LREE)	La, Ce, Pr, Nd, Pr, Sm
magnesit	MgCO3
Magnesium	Mg
Nickel	Ni
Niob	Nb
Platinagruppen (PGE)	Pt, Os, Ir, Pd, Rh, Ru
Volfram	W
Beryllium	Be
Bor	B
flusspat	CaF2
fosfat	CaPO4
Gallium	Ga
Germanium	Ge
grafit	C
Tunga sällsynta jordartsmetaller (HREE)	Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y
Indium	In
kisel	Si
Kobolt	Co
koks	C
Krom	Cr

Potentiellt kritiska mineral och metaller (EU lista över kritiska mineral och metaller samt den svenska industrins behov.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

Kritiska material, Faktablad ***Antimon (Sb)***

	Antimon	**Källa**
Användningsområde	Huvudsaklig användningsområde : • *Flamskyddsmedel i textilier, plast och elektronik .* Mindre användningsområden: • *Legering med bly i blybatterier .* • *Tillsats för att öka styrkan på legeringar, framför allt blylegeringar .* • *Katalysator i produktion Polyetylentereftalat (PET).* • *Värmestabilisator i plast.* • *Glas och keramik.* Framtida användningsområden: • *Halvledare, billigare alternativ till indium-tenn-oxid föreningar i LCD skärmar.*	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Uppskattade tillgångar i Sverige uppgår till 28000t. (från rapporterade malmtonnage och Sb-halter från publikationer)* • *Sb-anomala massiva sulfidförekomster.*	*FODD (2011)*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Återvinning av blybatterier.*	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Sb-förande massiva sulfid förekomster.*	*FODD (2011)*
Global produktion (år 2013 estimerat)	• *Värdens gruvproduktion av antimon är estimerad av USGS att uppgå till 163000 ton år 2013.*	*USGS (2014)*
Största producentland (år 2013 estimerat)	• *Kina 80%, Bolivia 3%, Ryssland 4%, Tadzjikistan 3% , andra 10%.*	*USGS (2014)*

Viktigaste fyndighetstyper	• *Epithermala och orogena fyndigheter (stibnit förande) och massiva sulfidmalmer (sulfosalter).*
Teknologiska utmaningar i produktionen	• *Komplicerat att separera antimon från koppar i komplexa massiva sulfidmalmer.*
Återvinning	Nutid: • *Bilbatteri* Framtiden: • *Återvinning av flygaska efter förbränning av plastavfall.*

Referenser

EU (2014): European Commission, May 2014, REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU, Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials May 2014. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm

European Commission, May 2014, ANNEXES TO THE REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU, Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm

European Commission, May 2014, REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU, Critical Raw materials Profiles http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-critical-material-profiles_en.pdf

USGS (2014): USGS Commodity Statistics and Information

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2014/mcs2014.pdf

FODD (2011) Fennoscandian Ore Deposit Database

http://geomaps2.gtk.fi/website/fodd/viewer.htm

Kritiska material, Faktablad ***Lätta sällsynta jordartsmetaller (LREE)***

	LREE (La, Ce, Pr, Nd, Pr, Sm) *Indelningen baserat på EU Critical Raw Materials Study*	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde:</u> • *Permanentmagneter (främst Neodym i så kallade neodym-järn-bor magneter.)* • *Batterier (NiMH) (främst Lantan i så kallade nicel-metall-hydridbatterier).* • *Bilkatalysatorer för avgasrening* • *Krackningskatalysatorer för oljeraffinering* • *Polering* • *Glastillverkning* • *Fluorescens* <u>*Mindre användningsområden:*</u> • *Keramer* • *Metallurgi och superlegeringar* • *Fiberoptik* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Bränsleceller* • *Magneter* • *Superlegeringar*	*EU (2014)* *USGS (2014)* *SGU (2011)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Alkalina intrusioner, ex. vis Norra Kärr* • *Apatitjärnmalm, ex. vis Kiruna* • *Skarn, ex. vis Bastnästypen*	*SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Anrikningssand från anrikning av apatitjärnmalm.*	*SGU*
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Alkalina intrusioner* • *Apatitjärnmalmer*	*SGU*
Global produktion (uppskattat år 2012)	• *LREE: 114200 ton. Osäkerhet i uppskattningen p.g.a. osäkerhet i kinesiska produktionssiffror.*	*EU (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Magnesit (MgCo3)***

	Magnesit	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde :</u> • *Huvudanvändningen (84 %) för magnesit är som råvara för framställning av magnesiumoxid som p.g.a. sina eldfasta egenskaper har användning inom stål och cementproduktion.* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Jordbruk och miljöteknik*. <u>Framtida användningsområden</u>: •	*EU (2014)* *USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Flera magnesitfyndigheter finns rapporterade från fjällkedjan och från Bergslagen. Inga tonnageuppskattningar.*	*Shaikh(1974)* *Hogmalm et al (2012)* *SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige		
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Hydrotermalomvandlade kalkstena*r.	*SGU*
Global produktion (estimerad år 2013)	• *USGS estimerar att global gruvproduktion av magnesit år 2013 uppgick till 5,96 Mt.* •	*USGS (2014)*
Största producentland (estimerad år 2013)	• *Kina (67%), Ryssland (7%), Turkiet (5%), andra (21%).*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	• *Omvandlade kalkrika bergarter* • *Omvandling av of serpentinhaltiga bergarter.*	*USGS (2014)* *EU (2014)*
Teknologiska utmaningar i produktionen		
Återvinning	<u>Nutid:</u>	

Kritiska material, Faktablad ***Magnesium (Mg)***

	Magnesium	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde :</u> • *Legeringar med aluminium för användning inom bilindustri och konstruktion.* • *Formgjutna lättviktsdelar bl.a för användning i bilindustrin .* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Avsvavlingsagent vid ståltillverkning* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Användning av magnesium i bildelar förväntas öka eftersom tillverkare försöker uppnå viktminskning och reducerade utsläpp.*	*EU (2014)* *USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	•	
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	•	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Hydrotermalomvandlade kalkstenar*	*SGU*
Global produktion (upskattat år 2013)	• *910 000 ton.*	*USGS (2014)*
Största producentland (uppskattat år 2013)	• *Kina (88%), Ryssland(3%), Israel(3%), andra(6%)*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	• *Omvandlade kalkstenar* • *Evaporiter.* • *Magnesium-rika salter* • *Havsvatten*	*USGS (2014)* *EU (2014)*
Teknologiska utmaningar i produktionen		

Kritiska material, Faktablad ***Nickel (Ni)***

	Nickel	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Rostfritt stål (61%)* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Nickellegeringar (12%),* • *Yttäckning och övriga ståksorter.* • <u>Framtida användningsområden</u>:	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *130 000 ton Ni från fyndigheter inom Nickellinjen i Västerbotten..* • *3 100 000 ton Nickel från låghaltiga malmer i fjällkedjan*	*SGU data: Reserver&tillgångar*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Återvinning av rostfritt stålskrot*	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Sulfidmalmer i basiska bergarter* • *Omvandlade ultramafiska bergarter*	*SGU*
Global produktion (2013)	• *2,49 miljoner ton*	*USGS (2014)*
Största producentland (år 2013)	• *Indonesien 18 %* • *Filippinerna 18 %* • *Ryssland 10%*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	• *Lateriter* • *Sulfidmalmer*	*USGS (2014)*
Teknologiska utmaningar i produktionen		
Återvinning	<u>Nutid:</u> • *Rostfritt stål* <u>Framtiden:</u>	

Kritiska material, Faktablad ***Niob (Nb)***

	Niob	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Niob används som legeringsämne i så kallad "High-strengh low-alloy" (HSLA) stål för användning i strukturer och byggkonstruktioner som kräver hög hållfasthet, korrosionsstabilitet och låg vikt. Bilindustrin, oljeindustrin (offshore oljeplattformer, rörledningar för olja och gas) är några exempel på användningsområden.* • *Niob används i superlegeringar får användning inom kärnkraftsindustrin och flygindustrin.* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Magneter, superledare, kondensatorer, katalysatorer, smycken.* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Ökad efterfrågan på HSLA-stål inom konstruktion, infrastrukturbyggen och bilindustrin.*	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Ingen kända ekonomiska fyndigheter i Sverige. Li-Sn pegmatiter en möjlig Nb-källa. Det finns en potentiellt stor fyndighet i Finland (Sokli).*	*FODD (2011)*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	.	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige		
Global produktion (estimerad år 2013)	• *USGS estimerar att global gruvproduktion är 2013 var 51,000 ton.*	*USGS (2014)*
Största producentland (estimerad år 2013)	• *Brasil (88%), Kanada (10%), Andra (2%)*	*USGS (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Platinagruppen (PGE)***

	PGE	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde:</u> • *Kalatalysatorer för avgasrening i fordon.* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Smycken* • *Elektronikindustrin* • *Katalysatorer i petroleum och kemisk industri* • *Glasproduktion* • *Medicinsk och tandvård* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Bränsleceller* • *Superledare*	*EU (2014)* *USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Bottenbäcken (Storsjö kapell) 200000 ton med 0,4 g/t Pd. Lagrade intrusioner kan ha potential – dock dåligt undersökta.*	Hålenius & Westerberg (1986) Filén et. al (1989)
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	•	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	•	
Global produktion (estimerad år 2013)	• *Platina: 192 ton* • *Palladium: 211 ton*	*USGS (2014)*
Största producentland (estimerad år 2013)	• *Syd Afrika(55%), Ryssland (27%), Zimbabwe (21%), andra (13%)*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	• *"Reef"-type fyndigheter i lagrade intrusioner (Bushveld)*	
Teknologiska utmaningar i produktionen	• *Reef-type fyndigheter är ofta tunna och kan ha komplex mineralogi.*	

Kritiska material, Faktablad ***Volfram (W)***

	Volfram	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde :</u> • *Hårdmetall (volframkarbid) som bl.a. används i verktyg där det behövs motståndskraft mot slitage och höga temperaturer.* • *Legering i stål* <u>Mindre användningsområden</u>: • *Superlegeringar* • *Volframlegeringar som bl.a. används inom elektronik, högtemperatur applikationer, svetsning, rymd och flygindustrin, laser mm.* • *Glödlampor (fasas ut)* <u>Framtida användningsområden</u>:	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Volfram har tidigare brutits bl.a. Yxsjöberg, Sandudden, Wigström och Elgfall i Bergslagen.Yxsjöberg är den viktigaste med ett brutet tonnage på 5 Mt med 0,3-0,4 % W. Yxsjöberggruvan stängde 1989. Små mängder W finns rapporterat för fyndigheterna Maldok och Svärtträsk (565 t. W)*	*FODD (2011)* s8436 brap80012
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Gruvavfall från skarnjärnmalms-brytning*	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Skarnfyndigheter: Ex. vis Yxsjöberg* • *Gångar och greisenomvandling: Ex. vis Svärtträsk (Västerbotten).*	*SGU*
Global produktion (estimerad år 2013)	• *USGS estimerar att global produktion år 2013 är 71000 ton*	*USGS (2014)*
Största producentland (år 2013)	• *Kina (85%), Ryssland (3%), Kanada (3%) , andra (9%).*	*USGS (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Beryllium (Be)***

	Beryllium	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Legeringar med koppar (CuBe). Dessa legeringar innehåller oftast mindre än 2 % Be. Dessa legeringar är korrosionsbeständiga samt mekaniskt och termalt stabila och används i produkt som tål hög belastning bl.a. inom flygindustrin.* • *På grund av utmärkt elektrisk ledningsförmåga så används Be i elektronik, dator och telekommunikationsutrustning.* • *En stor andel av värdens Be produktion används inom försvarsindustrin.* <u>Mindre användningsområden</u>: • *Legeringar med högt innehåll av Be (>40% Be) används i elektro-optiska system i rymd och flygindustrin. Rent Be metall används i fönster i röntgen-utrustning.* <u>*Framtida användningsområden*</u>*:* • *Bilindustrin, rymdindustrin, datorer, kärnreaktorer, kontrollsystem, försvarsmateriell, nye typer av legeringar*	*EU (2014), USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Det finns inga kända fyndigheter i Sverige där Be anses ekonomisk. Vid Sels-Vitberget i Västernorrland har en mindre mängd beryll brutits. Norge och Finland har ett fåtal fyndigheter.*	*SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Beryllium-koppar legeringar är en antropogen källa*	*EU (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Pegmatiter. Ingen kända ekonomiska fyndigheter*	
Global produktion (estimerad år 2013)	• *Värdens gruvproduktion av beryllium är estimerad av USGS att uppgå till 240 ton i år 2013. Viktigaste producent är en gruva i Utah, USA.*	*USGS (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Bor (B)***

	Bor	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Föreningar som innehåller bor (huvudsakligen borater) används inom en rad områden. Mera än 75% av världsförbrukningen av borater går till produktion av olika typer glas och glasfiberprodukter, keramiska produkter, gödningsmedel samt rengöringsmedel.* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Inom metallurgisk industri som tillsats till stål för ökat hållfasthet och samtig minskat vikt.* • *Kontrollstavar i kärnreaktorer.* • *Kosmetik och läkemedel.* • *Flamskyddsmedel i timmer.* • *Insektsmedel.* . <u>Framtida användningsområden</u>: • *Konsumtionen av borater förväntas öka kommande år p.g.a. ökad efterfråga inom jordbruk, keramik och glas marknaden i Asien och Sydamerika.* • *Solfångare (borsilikat glas)*	*EU (2014)* *USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• Inga kända tillgångar. Turmalinförande pegmatiter kan vara en möjlig källa.	*SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	. • Okänt. Glasåtervinning ?	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	•	
Global produktion (estimerad år 2013)	• *USGS estimerar att produktionen var 4900 ton (inkluderar ej USAs produktion vars siffror inte är*	*USGS (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Flusspat (CaF_2)***

	Flusspat	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Fluorvätesyra (HF)(52 %),* • *Stålframställning (25 %)* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Aluminiumframställning-flussmedel (18%)* <u>Framtida användningsområden</u>:	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *2,83 miljoner ton flusspat (Storlidsknösen, Storuman)*	*SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Sandmagasinet vid anrikningsverket Yxsjöberg, okänt innehåll av flusspat.*	*SGU*
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Replacement i karbonatbergarter*	*SGU*
Global produktion (uppskattat 2013)	• *6,7 miljoner ton*	*USGS (2014)*
Största producentland (2013)	• *Kina 64 %, Mexico 18 %, Mongoliet 5 %*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	• *Fosfatbergarter*	*USGS(2014)*
Teknologiska utmaningar i produktionen		
Återvinning	<u>Nutid:</u> • *Ingen känd större återvinning*	

Kritiska material, Faktablad ***Fosfat ($CaPO_4$)***

	Fosfat	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Gödningmedel och djurfodertillsats (95 %)* <u>Mindre användningsområden:</u> <u>Framtida användningsområden</u>:	*USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *1,04 miljoner ton P motsvarande 4,53 miljoner ton apatit ($CaPo_4$)*	*SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Anrikningssand från anrikning av apatitjärnmalmer.*	*SGU*
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Apatitjärnmalm. Ex. vis Kiruna, Grängesberg.* • *Fosforiter i fjällkedjan och Norrbotten*	*SGU*
Global produktion (2013)	• *224 miljoner ton*	*USGS (2014)*
Största producentland (2013)	• *Kina 43 %* • *USA 14%* • *Marocko & Västsahara 13 %*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	*Sedimentära fosforiter, alkalina intrusioner, apatitjärnmalmer*	*USGS (2014)* *SGU*
Teknologiska utmaningar i produktionen		
Återvinning	<u>Nutid:</u> • *Ingen återvinning* <u>Framtiden:</u> • *Från anrikningssand från*	*SGU*

Kritiska material, Faktablad ***Gallium (Ga)***

	Gallium	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde :</u> • *Halvledare (galliumarsinid GaAs, och galliumnitrid GaN) för användning i bl.a. integrerade kretsar, processorer, lysdioder (LED), laserdioder och solceller. Smarta telefoner, platta TV-skärmar och trådlös kommunikationsutrustning är viktiga användningsområden. Tunnfilmsolceller (CIGS, koppar-indium-gallium-(di)selenid)).* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Lågtemperatur legeringar, medicinsk bildutrustning.* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Ökat bruk inom tunna solceller (CIGS)*	*EU (2014)* *USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Gallium produceras inte via gruvdrift (varken i Sverige eller på någon annan plats i världen), men till största delen (ca 90%) som biprodukt vid processering av bauxit för aluminiumframställning. En mindre volym kommer från processering och rening av zinkmalm.*	*EU (2014)*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Flygaska från kolförbränning.*	*EU (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Zinkdominerad massiv sulfidmalm.*	
Global produktion (estimerad år 2013)	• *Global primär produktion under 2013 är estimerad av USGS till 280 ton.*	*USGS (2014)*
Största producentland (år 2013)	• *Kina, Tyskland,, Kazakhstan, Ukraina*	*USGS (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Germanium (Ge)***

	Germanium	**Källa**
Användningsområde	Huvudsakligt användningsområde : • *Fiberoptik* • *Infraröd optik* • *Katalysator för Polyetylentereftalat (PET) framställning* Mindre användningsområden: • *Elektronisk utrustning* • *Solceller* Framtida användningsområden: • *Tunnfilmsolceller (CIGS, koppar-indium-galluim-(di)selenid).*	*EU (2014), USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Det finns ingen primära germanium fyndigheter/malmer i Sverige (eller någon annan plats i värden). Germanium framställs som biprodukt vi raffinering av zink samt från flygaska efter förbränning av kol. Potentialen i Sverige (och norden) är okänt, men pga. det stärka sambandet med zink så är svenska zinktillgångar potentiella källor.*	
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Flygaska från förbränning av kol.*	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Zinkdominerad massiv sulfidmalm.*	
Global produktion (estimerad år 2013)	• *Värdsproduktionen av Germanium 2013 är av USGS estimerad till 150 ton.*	*USGS (2014)*
Största producentland (estimerad år 2013)	• *Kina(70%), Ryssland (3%) , Andra (27%)*	*USGS (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Grafit (naturlig)***

	Grafit	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde :</u> *Grafit har många olika egenskaper och är användbar inom en rad applikationer.* • *Ståltillverkning, gjutning och eldfast industri.* • *Smörjmedel.* • *Anodmaterial i Li-ion batterier* • *Borstar i elgeneratorer och elmotorer.* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Kärnreaktorer.* • *Bränsleceller.* • *Blyertspennor.* • *Bromsbelägg i tyngre fordon.* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Grafen tros kunna få en stor användning inom ett stort antal områden.* • *Eftersom utveckling av hybrid och el-bilar tar fart, vill efterfråga av Li-ion batterier (där grafit ingår) sannolikt bli stor*	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Woxna grafitgruva utanför Edsbyn återupptog produktionen i juli 2014.* • *Woxna redovisar tillgångar på 760 000 ton grafit från fyra fyndigheter* • *Från fyndigheterna Raitasjärvi och Nunasvaara i Norrbotten redovisas tillgångar om 2,16 miljoner ton grafit*	*Flinders (2013)* *SGU* *Talga (2013)*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige		
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Metamorfa kolrika sedimentära bergarter, sekundärt påverkade.*	*Flinders (2013)*

Kritiska material, Faktablad ***Tunga sällsynta jordartsmetaller (HREE)***

	HREE (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y) *Indelningen baserat på EU Critical Raw Materials Study*	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde:</u> • *Tillsats i permanentmagneter för att bibehålla magnetiska egenskaper vid höga temperaturer.* • *Fluorescerande material i LCD skärmar och LED lampor* • *Glasindustrin* • *Keramik* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Fiberoptik* • *Laserteknik* • *Medicinsk röntgenbildteknik* • *Halvledare* • *Nukleär teknik* • *Superlegeringar* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Superlegeringar*	*EU (2014)* *USGS (2014)* *SGU (2011)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Alkalina intrusioner, ex. vis Norra Kärr* • *Apatitjärnmalm, ex. vis Kiruna* • *Skarn, ex. vis Bastnästypen*	*SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Anrikningssand från anrikning av apatitjärnmalm.*	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Alkalina intrusioner* • *Apatitjärnmalm*	*SGU*
Global produktion (uppskattat produktion år 2012)	• *HREE: 16900 ton. Osäkerhet i uppskattningen p.g.a. osäkerhet i Kinesiska produktionssiffror.*	*EU (2014)*
Största producentland (uppskattat produktion år 2012)	• *Kina (99%), Australien (0.5%), USA (0.2%), andra (0.3%). Osäkerhet i uppskattningen p.g.a. osäkerhet i Kinesiska produktionssiffror.*	*EU (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Indium (In)***

	Indium	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområden:</u> • *Inom elektronikindustrin bl.a. som legering med tenn (indiumtennoxid - ITO), som är en viktig komponent vid tillvärkning av platta LCD skärmar (TV, laptops, smarta telefoner mm).* • *Legeringar som smälter vid låga temperaturer* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Lysdioder* • *Laserdioder* • *Lödmetall och legeringar* • *Halvledare* • *Tunnfilmsolceller (CIGS)* <u>Framtida användningsområden</u>: • *Användning av tunnfilmsolceller (CIGS) förmodas öka.*	*EU (2014)* *USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Det finns inga kända primära indium fyndigheter i Sverige (eller någon annan plats i värden). Spårhalter av grundämnet finns i några svenska sulfidmalmer, huvudsakligen zinkmalmer där det ingår i mineralet zinkblände.*	
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *Återvinning av LCD skärmar*	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Zinkdominerad massiv sulfidmalm*	*FODD (2011)*
Global produktion (estimerad år 2013)	• *Indium produceras huvudsakligen som biprodukt vid zinkframställning. Världsproduktionen (”refinery produktion”)”estimeras av USGS till 770 ton.*	*USGS (2014)*

Kritiska material, Faktablad ***Kisel (Kiselmetall)***

	Kisel	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsakligt användningsområde:</u> • *Aluminiumframställning. Kisel används för att förbättra viskositeten till smält aluminium och för att förbättra de mekaniska egenskaperna till aluminiumlegeringar.* • *Inom kemisk industri används kisel bl.a. i produktion av silikon som har användning inom en rad produkter.* • *Solceller baserat på kisel är vanligaste typen av kommersiella solscellspanel.* • *Halvledare* <u>Mindre användningsområden:</u> <u>Framtida användningsområden</u>: •	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Potentiellt stora tillgångar av kvartsråvara.*	SGU
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	•	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Kvartsgångar och pegmatiter.*	*SGU*
Global produktion (estimerad år 2011)	• *BGS estimerar att den globala produktionen år 2011 uppgick till 1,9 Mt.*	*BGS (2013)*
Största producentland (estimerad år 2013)	• *Kina (56%), Brazil (11%), Norge (8%), andra (25%).*	*BGS (2013)*
Viktigaste fyndighetstyper	• *Högren kvarts och kvartsit andvänds som råstoff i produktionen. Kvarts med hög renhetsgrad bryts bl.a. i USA, Norge och Ryssland.*	

Faktablad ***Kobolt (Co)***

	Kobolt	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Batterier (30%),* • *Superlegeringar (19%),* • *Hårdmetall (13%)* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Pigment (9%),* • *Katalysatorer (9%),* • *Magneter (7%)* <u>Framtida användningsområden</u>:	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Tillgångar på 19000 ton Co(från 11 fyndigheter)*	*FODD (2011)*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	• *648 ton (sandmagasinet Adak)*	*Lindberg (1989)*
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige	• *Ni-sulfidmalmer.* • *Omvandlade ultramafiska bergerter*	*FODD (2011)*
Global produktion (2013)	• *120 000 ton.*	*USGS (2014)*
Största producentland (2013)	• *Kongo 48 %, Kanada 7 %, Kina 6%, Ryssland 6 %*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	• *”Sediment-hosted” Cu-malmer* • *Ni-malmer.*	*USGS (2014)*
Teknologiska utmaningar i produktionen		
Återvinning	<u>Nutid:</u> • *Skrotåtervinning uppgick till 26% år*	

Kritiska material, Faktablad ***Koks***

	Koks	**Källa**
Användningsområde	<u>Huvudsaklig användningsområde :</u> • *Den huvudsakliga användningen av koks är som reduktionsmedel i masugnar för järnframställning. Nästan 100% av all koks som EU förbrukar går till produktion av järn och stål.* <u>Mindre användningsområden:</u> • *Aluminiumsförädling* • *Pappersproduktion* • *Kemkalier och läkemedel* • *Ammoniumsalter, salpetersyra, och gödningsmedel för jordbruk kan utvinnas som biprodukter från koksframställning.* <u>Framtida användningsområden</u>: •	*EU (2014)* *USGS (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	• *Stenkol har brutits i Höganäsfältet, Skåne.*	*SGU (1915)*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige		
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige		
Global produktion (uppskattat år 2010)	• *721 Mt koks användes för järn och stålproduktion under 2010, enligt World Coal Association.*	*www.worldcoal.org*
Största producentland (uppskattat år 2010)	• *Kina (53%), Australien(18%), Ryssland(8%), USA (8%).*	*EU (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper		

Kritiska material, Faktablad ***Krom (Cr)***

	Krom	**Källa**
Användningsområde	Huvudsaklig användningsområde : • *Rostfritt stål (88%)* Mindre användningsområden: • *Övriga stålsorter och superlegeringar.* Framtida användningsområden:	*EU (2014)*
Tillgångar och potential i Sverige	*Inga kända ekonomiska fyndigheter.*	*SGU*
Antropogena tillgångar och potential i Sverige	*Återvinning av rostfritt stål*	
Viktigaste fyndighetstyper i Sverige		
Global produktion (2013)	*26 miljoner ton.*	*USGS (2014)*
Största producentland (år X)	*Sydafrika 42%, Kazakstan 15%, Indien 15%*	*USGS (2014)*
Viktigaste fyndighetstyper	*Lagrade intrusioner, ex. vis Bushveld i Sydafrika.*	
Teknologiska utmaningar i produktionen		
Återvinning	Nutid: • *Stor återvinning av rostfritt stål* Framtiden:	

Referenser

EU (2014): European Commission, May 2014, REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU, Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials

Aluminium
Antimon
Beryllium
Bly
Bor
Dolomit
Ferrokisel
Flusspat
Fosfater
Gallium
Germanium
Grafit
Guld
Hafnium
Indium
Järn
Kalksten
Kobolt
Koks
Koppar
Krom
Litium
Magnesit
Magnesium
Mangan
Molybden
Nickel
Niob
Olivin
PGM - Platina, Palladium
REE-lätta
REE-tunga
Rhenium
Scandium
Selen
Silver
Tantal
Tellur
Tenn
Titan
Vanadin
Volfram
Zink

BILAGA 2: MALM, MALMVÄRDE, RAPPORTERINGS-STANDARD, MALMHISTORIK och MALMSTATISTIK

BILAGA 3: RESTMATERIAL FRÅN MINERALUTVINNING

BILAGA 4: METODER FÖR ÅTERVINNING AV METALLER

DECEMBER 2014

SGU

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

BILAGA 2: MALM, MALMVÄRDE, RAPPORTERINGSSTANDARD, MALM-HISTORIK OCH MALMSTATISTIK

Innehåll

- Malm
- Malmvärde
- Rapporteringsstandard
- Nordisk brannschstandard – FRB standarden
- Mineralreserver
    - Bevisad mineralreserv
    - Sannolik mineralreserv
- Mineraltillgångar
    - Känd mineraltillgång
    - Indikerad mineraltillgång
    - Antagen mineraltillgång
- Bakgrund till regelverken
- Rapportering av andra potentiella mineraltillgångar – icke standard
- Kvarvarande tillgångar
- Beräknad tillgång
- Oupptäckta tillgångar
- In-situ värde
- Metallekvivalenter
- Kopparekvivalenter
- Kort malmhistorik
- Malmstatistik
- Databaser

Malm

Malm är ett ekonomiskt begrepp som betyder en mineraliserad bergart som det går att bryta med ekonomisk vinning. Begreppet malm används ofta slarvigt, inte minst av geologer, för att beteckna alla typer av mineraliseringar men det är alltså inte korrekt. Man säger exempelvis Bergslagens järnmalmer när man beskriver alla de otal nedlagda gruvor och små järnmineraliseringar som aldrig bearbetats men egentligen finns det bara en järnmalm i Bergslagen; det är malmen vid Dannemora norr om Uppsala. Mellan år 1989, då Grängesbergsgruvan lades ner, och 2006 då Dannemora nystartades fanns det ingen järnmalm i Bergslagen.

Panoramabild över Stora stöten, Falu gruva. Foto: Torbjörn Bergman, SGU

Malmvärde

Att beräkna en malms värde är komplicerat på grund av många osäkra faktorer och det ofta långa tidsperspektivet som kalkylen bygger på. Det verkliga värdet kan beräknas först när hela malmen är utbruten, gruvan är stängd, verksamheten avvecklad, all malm är såld, alla löner, skatter och avgifter är betalda, all efterbehandling samt återställning av gruvområdet med tillhörande avläggningar är utförd och betald och alla kontroller av efterbehandlingen är slutförda. Först då går det att se om inkomsterna från försäljning av malm var större än kostnaderna för att driva gruvan och gruvprojektet genererade en vinst.

För att kunna starta en gruva måste det göras en uppskattning av malmens värde och av kostnaderna för att utvinna malmen innan gruvprojektet startar. Om den uppskattningen visar att kostnaderna överstiger intäkterna ska gruvan naturligtvis inte öppnas.

Innan mera moderna metoder fanns tillgängliga för att bedöma malmvärden så fanns antagligen kunniga och erfarna gruvgeologer som bedömde om en malm ansågs brytvärd. Gruvor som Falu gruva, Garpenberg och Dannemora, som har varit i drift sedan 1200-talet eller tidigare, visar på att bra malmuppskattningar kunde göras även på den tiden. Att det antagligen även gjordes missbedömningar vittnar de otaliga små gruvförsök som finns registrerade i SGUs mineralresursdatabas.

I takt med att mer avancerade metoder för att
undersöka en mineralisering har kommit till användning, såsom borrning, geofysiska metoder och bättre kunskaper om malmgeologi samt, tillsammans med brytnings- och anrikningstekniska framsteg, så har också mera precisa uppskattningar om en mineraliserings storlek, metallinnehåll och värde blivit möjliga.

Rapporteringsstandard

Under de senaste två decennierna har regelverk skapats som noggrant beskriver hur rapporteringen från malmprospektering ska gå till så att de redovisade resultaten inte kan missuppfattas av investerare och aktieägare. Det som tvingade fram regelverken är två större skandaler inom prospekteringsbranschen; Poseidonbubblan i Australien 1969-1970 och Bre-X skandalen i Kanada 1997 (se: Bakgrund till regelverken nedan).

I korthet innebär regelverken att rapporteringen av fyndigheter klassificeras i olika kategorier, beroende på med vilken grad av säkerhet som fyndigheten kan beskrivas samt med hänsyn till resultatet av utförda lönsamhetsstudier och projektvärderingar. De olika kategorierna är i stort gemensamma i de stora internationella rapporteringsstandarderna (JORC-code, NI 43-101, FRB-standard är de vanligaste i Sverige) för att rapporteringen ska bli transparent och jämförbar med andra redovisningar av mineralfyndigheter. I rapporteringsstandarderna delas prospekteringsresultaten in i mineraltillgångar och mineralreserver. De olika kategorierna inom rubriken tillgångar (antagen mineraltillgång indikerad mineraltillgång känd mineraltillgång) anger en ökande grad av geologisk kunskap om malmkroppen. För att föra över en undersökt mineralisering från kategorin antagen till indikerad, eller från indikerad till känd mineraltillgång krävs mer information om malmen, något som vanligen innebär mera borrning och fler analyser för att bättra på det geostatistiska underlaget. För en homogen och regelbunden malmkropp utan större variationer i metallinnehållet krävs färre borrhål och färre analyser än för en uppbruten, inhomogen och oregelbunden malmkropp.

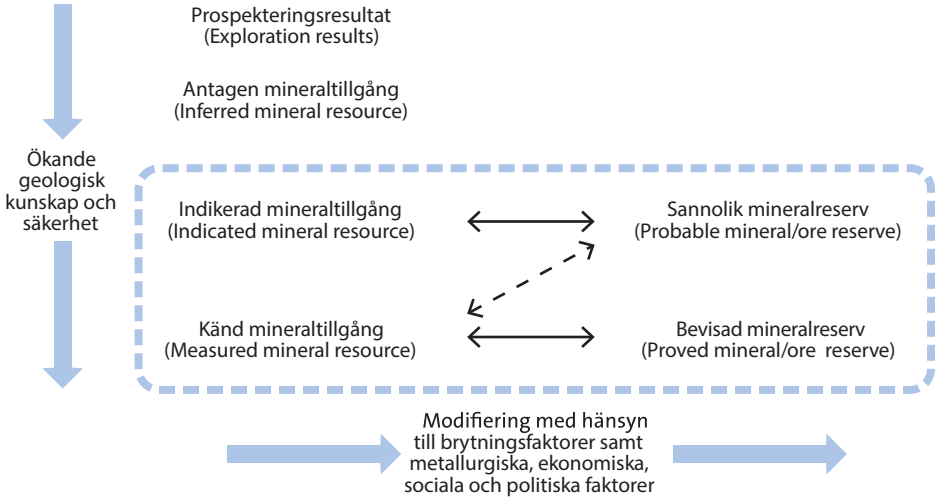
När arbetet med att statistiskt definiera en indikerad - och/eller känd mineraltillgång är klart kvarstår arbetet med att bedöma och visa om mineraltillgången är en mineralreserv, det vill säga om den bedöms vara ekonomiskt utvinningsbar. Mineralreserver delas in i kategorierna ”sannolik” respektive ”bevisad” mineralreserv. Bedömningen av fyndighetens klassificering som sannolik eller bevisad grundas på kunskap om brytningstekniska, metallurgiska, ekonomiska, sociala och politiska faktorer. En mineralreserv får redovisas först efter att en lönsamhetsstudie har utförts. Vid redovisning av mineralreserver ska nyckelparametrar såsom drifts- och kapitalkostnader samt utbyten, metall- och produktpriser samt intäktsavdrag som har använts tydligt anges. Om lönsamhetsstudien visar att kostnaderna är högre än malmvärdet ska fyndigheten inte klassificeras som mineralreserv. Det sagda innebär att en mineralreserv , teoretiskt sett kan återföras till kategorin mineraltillgång om senare omständigheter innebär att den inte längre är ekonomiskt brytvärd.

Utöver begreppen mineralreserver och mineraltillgångar finns ytterligare terminologi för prospekteringsresultat (eng, *Exploration Results*, *Exploration Target*). Uppgifter som ges under dylika rubriker återger närmast prospekteringsbolagets uppskattningar om mineraliseringen och kan rapporteras i de fall där det saknas tillräckliga data för att kunna hänföra fyndigheten till kategorierna mineraltillgång eller mineralreserv.

Arbetet med att värdera och definiera prospekteringsresultat såsom mineraltillgångar och mineralreserver ska granskas av en kvalificerad/kompetent person med relevant kunskap om och erfarenhet av den typ av mineralisering som beskrivs. Den kvalificerade personen har till uppgift att granska kvaliteten på och kommentera det tekniska och vetenskapliga arbetet som ligger till grund för de resultat som rapporteras i publik information avseende företagets prospekterings- och undersökningsverksamhet. Den kvalificerade/kompetenta personens granskning fråntar inte företaget från ansvar för den information som lämnas. Den kvalificerade personen kan vara anställd hos det bolag som redovisar uppgifterna. För mindre bolag är det vanligt att den kvalificerade personen arbetar för ett konsultföretag som specialiserat sig på sådana arbeten.

Nordisk branschstandard – FRB standarden

Sedan några år har de svenska, norska och finska branschorganisationerna (SveMin, Norsk Bergindustri och FinnMin) antagit en gemensam standard för rapportering av mineralfyndigheter, den så kallade FRB-standarden. Innehållet i FRB-standarden bygger på den internationellt vedertagna rapporteringsstandarden "*The International Template for the public reporting of exploration results, mineral resources and mineral reserves, July 2006*" som är framtagen av *Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards* (CRIRSCO) i syfte att harmonisera till internationell praxis på området. FRB-standarden är ett frivilligt regelverk men via åtaganden om att följa SveMins etiska regler är SveMins medlemsföretag förpliktade att tillämpa de rekommendationer som anges för publik information om prospekteringsresultat, lönsamhetsstudier och värderingar av mineraltillgångar och mineralreserver. Genom branschorganisationerna bedrivs arbete för att bland annat övervaka att reglerna följs och för att utse kvalificerade personer.



Mineraltillgångar

En mineraltillgång är en koncentration av ekonomiskt intressanta förekomster av material i ellerl på jordskorpan i sådan form, kvalitet och kvantitet att det finns rimliga möjligheter till eventuell ekonomisk utvinning. Läge, kvantitet, halt, kontinuitet och andra geologiska karaktäristika av en mineraltillgång är kända, uppskattade eller tolkade utifrån specifika geologiska fakta, provtagning och kunskap. Beroende av ökad geologisk säkerhet delas mineraltillgång in i någon av följande kategorier.

Antagen mineraltillgång

En antagen mineraltillgång är den del av en mineraltillgång för vilken tonnage, täthet av förekomster, form, fysiska karaktäristika, halt och mineralinnehåll kan uppskattas med låg nivå av säkerhet. Den indikeras av geologi, provtagning och förväntad men inte verifierad kontinuitet i geologi och/eller halt. Den är baserad på information vunnen genom prospektering, provtagning och testning utförd enligt lämplig teknik från till exempel hällar och blottningar, diken, gropar, bearbetningar och borrhål. Informationen är begränsad eller av osäker kvalitet och tillförlighet.

Indikerad mineraltillgång

En indikerad mineraltillgång är den del av en mineraltillgång för vilken tonnage, täthet av förekomster, form, fysiska karaktäristika, halt och mineralinnehåll kan uppskattas med rimlig nivå av säkerhet. Den är baserad på information vunnen genom prospektering, provtagning och testning utförd enligt lämplig teknik från till exempel hällar och blottningar, diken, gropar, bearbetningar och borrhål. Informationspunkterna är dock för glesa eller olämpligt fördelade för att säkerställa kontinuitet i geologi och/eller halt.

Känd mineraltillgång

En känd mineraltillgång är den del av en mineraltillgång för vilken tonnage, täthet av förekomster, form, fysiska karaktäristika, halt och mineralinnehåll kan uppskattas med hög nivå av säkerhet. Den är baserad på information vunnen genom detaljerad och tillförlitlig prospektering, provtagning och testning utförd enligt lämplig teknik från till exempel hällar och blottningar, diken, gropar, bearbetningar och borrhål. Informationspunkterna är tillräckligt täta för att påvisa kontinuitet i geologi och/eller halt.

Mineralreserver

En mineralreserv är den ekonomiskt utvinnbara delen av en känd eller indikerad mineraltillgång. Den inkluderar gråbergsinblandning och malmförluster som kan uppstå när materialet bryts. Lämpliga värderingar och studier har gjorts och modifierats med hänsyn till realistiskt antagna brytnings-, metallurgiska, ekonomiska, marknads, legala, miljö- sociala och politiska

faktorer Dessa värderingar
visar vid tiden för rapportering att utvinning rimligen kan motiveras. Beroende av en ökad geologisk säkerhet delas mineralreserver in i någon av följande kategorier.

Sannolik mineralreserv

En sannolik mineralreserv är den ekonomiskt utvinnbara delen av en känd mineraltillgång. Den inkluderar gråbergsinblandning och malmförluster när materialet bryts. Studier till åtminstone Pre-feasability nivå har genomförts och modifierats med hänsyn till brytnings-, metallurgiska, ekonomiska, marknads-, legala, miljö-, sociala och politiska faktorar. Dessa värderingar visar vid tiden för rapportering att utvinning rimligen kan motiveras.

Bevisad mineralreserv

En bevisad mineralreserv är den ekonomiskt utvinnbara delen av en känd mineraltillgång. Den inkluderar gråbergsinblandning och malmförluster när materialet bryts. Studier till åtminstone Pre-feasbility nivå har genomförts och modifierats med hänsyn till brytnings-, metallurgiska, ekonomiska, marknads-, legala, miljö-, sociala och politiska faktorer. Dessa värderingar visar vid tiden för rapportering att utvinning är motiverad.

(Källa: SveMin, ”Rekommenderade regler för publik information i Sverige, Finland och Norge om prospekteringsresultat, undersökningar, lönsamhetsstudier och värderingar av mineraltillgångar och mineralreserver”, www.svemin.se

Bakgrund till regelverken

I SGUs Mineralmarknaden, tema: Guld som trycktes i början av 1997 berättas om det lilla kanadensiska prospekteringsföretaget Bre-X som hade hittat en enorm guldfyndighet nära floden Busang på Borneo i Indonesien, ett fynd som förvandlade bolaget till rena kursraketen. På några få år i mitten av 1990-talet gick aktiekusen upp från några tiotals kanadensisk cent till 280 kanadensiska dollar. Några månader efter att Mineralmarknaden hade kommit ut avslöjades att hela projekt var en gigantisk svindel och Bre-X aktiens värde utraderades. Oberoende undersökningar visade att någon på bolaget, vem har aldrig utretts, ”saltade” prover från borrkärnor med vaskguld innan de gick till analys. De mycket fina prospekteringsresultat som Bre-X hade visat berodde alltså på att någon hade fuskat med analyserna. Den information som läckt ut sedan skandalen berättar bland annat om en chefsgeolog som hoppat alternativt slängts ut från en helikopter över djungel och annat som skulle kunna vara manus till en äventyrsfilm. Flera böcker har publicerats om skandalen.

Bre-X skandalen medförde att investerare tappade förtroende för prospekteringsbranschen och investeringar i prospektering minskade drastiskt i hela världen (se figurX). Skandalen drabbade inte bara små bolag som sysslade med guldprospektering i sydostasien, den drabbade hela branschen från stora multinationella gruvbolag till små bolag som sysslade med annan prospektering.

För att återställa allmänhetens och finansiärernas förtroende för gruv- och prospekteringsbranschen och för att förhindra framtida Bre-X skandaler startade The Ontario Securities Commission, (den kanadensiskt delstaten Ontarios ungefärliga motsvarighet till vår Finansinspektion men med tillägget att de ska skydda investerare mot bedrägerier), ett arbete med att ta fram strikta regler för hur resultat från prospektering och gruvdrift ska rapporteras. Arbetet resulterade i dokumentet ”National Instrument 43-101” (NI 43-101) som innehåller regler för hur mineralfyndigheter ska klassificeras och redovisas.

Ett parallellt regelverk har utvecklades i Australien där en kommitté, the Joint Ore Reserves Committee, publicerade den så kallade JORC Code 1989. Även det regelverket föregick av en finansbubbla när flera företag som prospekterade efter nickel kraftigt övervärderades för att snart därefter gå i konkurs. Något bedrägeri i samband med finansbubblan, som kallas ”Poseidon nickel boom” efter ett av de inblandade prospekteringsföretag, tycks inte ha förekommit.

Rapportering av andra potentiella mineraltillgångar – icke standard

För reserver och tillgångar som rapporteras av gruv- och prospekteringsbolag till investerar finns noggranna regelverk, se ovan. För andra potentiella mineraltillgångar som gråbergsupplag, deponier för sandmagasin, industrideponier etc. finns ingen utvecklad standard. För denna rapport har vi lagt till två nya typer av icke-standardiserade tillgångar; Kvarvarande tillgångar och Beräknade tillgångar, som beskrivs nedan. Dessa förekommer inte i den internationella litteraturen utan har enbart införts för att kunna beskriva svenska fenomen.

Kvarvarande tillgångar

De tillgångar i form av mineraliseringar som inte var brytvärda vid gruvans nedläggning men som kan vara ekonomiskt intressanta idag benämns i denna rapport som kvarvarande tillgångar . Dessa kan uppskattas genom information om tonnage och metallhalter på den malm som brutits, gruvans djupgående samt uppskattningar hur mineraliseringen ser ut mot djupet. Tonnage och halter finns för de flesta järnmalmsgruvor och går att sammanställa för icke-järnmalmsgruvorna. Gruvornas djupgående går att utläsa från de gruvkartor som lämnas till Bergsstaten vid nedläggning. Mineraliseringens djupgående går att beräkna från magnetiska flyg- eller markmätningar för magnetitförande järnmalmer. För icke-magnetiska mineraliseringar krävs en mera djupgående geologisk modell för hur mineraliseringen kan tänkas fortsätta mot djupet. Ett enklare alternativ är att helt enkelt göra antaganden om djupgåendet och utgå från att mineraliseringens utseende och metallhalter inte förändras mot djupet.

Beräknad tillgång

För att kunna beskriva tillgångar i deponier för anrikningssand har vi i denna rapport infört begreppet beräknad tillgång. På motsvarande sätt kan man beskriva metall- och mineraltillgången i slagg från metallutvinning, aska från sopförbränningsanläggningar, metaller i industri eller hushållsdeponier eller de metalltillgångar som diskuteras inom ”urban mining”. Beräkningar av mängd och metallhalter i deponier för anrikningssand kan göras

på olika sätt. En utförligare diskussion om några metoder för att beräkna tillgångarna i deponier av anrikningssand, hur de kan utföras samt olika felkällor finns i Bilaga_Restmaterial från mineralutvinning.

Oupptäckta tillgångar.

En betydligt svagare definition gäller för de begrepp som bland andra används av de geologiska undersökningarna ibland annat USA (USGS), Sydafrika och Finland (GTK) när de uppskattar respektive lands ännu inte upptäckta tillgångar (referenser kommer). Där används begrepp som hypotetiska tillgångar och spekulativa tillgångar.

Oupptäckta tillgångar. Tillgångar i oupptäckta mineralfyndigheter vars existens antas utifrån indirekta geologiska bevis.

> **Hypotetiska tillgångar.** Oupptäckta tillgångar av kända typer av mineralfyndigheter som antas existera i gynnsamma geologiska miljöer där andra fyndigheter av samma typ har brutits.
>
> *Exempel: Alla de sulfidfyndigheter som hittades i Skelleftefältet av SGUs och Bolidens prospektörer under framförallt 1930-talet var att betrakta som hypotetiska tillgångar till de hittades.*

> **Spekulativa tillgångar.** Oupptäckta tillgångar som kan finnas antigen i kända typer av mineralfyndigheter i gynnsamma geologiska miljöer där fynd av mineralfyndigheter inte har gjorts eller typer av mineralfyndigheter vars ekonomiska potential ännu inte är känd.
>
> *Exempel 1: Bolidens prospekteringen i norra Västernorrland under början av 1980-talet, som resulterade i fyndet av sulfidmalmen Rockliden ,startade på grund av att den geologiska miljön i området liknade den i Skelleftefältet. Några sulfidmalmer av Rocklidens kaliber var inte kända när prospekteringen inleddes.*
>
> *Exempel 2. Delar av norra Norrbotten har en geologisk miljö som liknar den i nordligaste Norge där flera stora kopparmalmer, exempelvis Ulveryggen och Nussir, är kända. Några sådana kopparmineraliseringar är* (ännu) inte kända i norra Norrbotten.

In-situ värde

Att hitta uppskattningar av en mineraliserings värde från årsrapporter och tekniska rapporter är besvärligt och går bara att göra för de få malmer och mineraliseringar i Sverige som det finns tillgängliga uppgifter för. Ett alternativt förfaringssätt, som dessutom går att göra på äldre prospekteringsobjekt, är att beräkna det så kallade in-situ värdet. Ett in-situ värde är helt enkelt malmtonnaget multiplicerat med metallhalterna multiplicerat med metallpriset. Det värde man får fram är alltså mineraliseringens totala värde där den ligger i berggrunden. Beräkningen tar ingen som helst hänsyn till alla de kostnader som är förknippade med att utvinna malmen, malm- och metallförluster under brytningen och metallframställningen samt kostnader för återställningsarbetet. Att förväxla in-situ värdet med den vinst som

ett gruvbolag kan göra, något som ofta förekommer i media, är kraftig missvisande.

Ur en nationalekonomisk eller regionalekonomisk synvinkel har in-situ värdet en viss betydelse då det representerar det maximala värde som teoretiskt går att erhålla från en malm, ett värde som ska räcka till för att betala löner till anställda och entreprenörer, bekosta investeringar i infrastruktur som gruvschakt, tunnlar, anrikningsverk, vägar och elledningar, sponsring av ishockey-lag, betala skatter och avgifter samt återställning av området. Huvuddelen av in-situ värdet stannar i regionen eller landet och vanligen räcker in-situ värdet också till att ersätta investerarna med en vinst. De regelverk för rapportering av mineraltillgångar och mineralreserver som beskrivs ovan avråder gruv- och prospekteringsbolag å det bestämdaste att använda begreppet in-situ i sin rapportering.

Metallekvivalenter

I många fall kan det vara användbart att rapportera en polymetallisk mineraliserings metallinnehåll omräknat till en metall, vanligtvis koppar. Omräkningsfaktorn baseras på metallpriset och eftersom priset för ett ton koppar idag är ungefär tre gånger så högt som priset för zink så motsvarar 3 % Zn ungefär 1 % Cu_{eq}. En del av de internationellt accepterade regelsystemen för rapportering av mineraltillgångar tolererar användningen av metallekvivalenter, andra inte. Tabellen nedan visar omräkningsfaktorn för olika metallhalter till ekvivalent halt koppar.

Kopparekvivalent

Vid jämförelser mellan olika typer av malmer med olika metallinnehåll har begreppet kopparekvivalent använts, bl.a. i beskrivningar av Finlands metallfyndigheter (Saltikoff et el, 2000) och i den Fennoskandiska fyndighetsdatabasen (Eilu et al. 2007). En kopparekvivalent i detta sammanhang representerar värdet av 100 000 ton koppar. För andra metaller används metallpriset vid ett visst tillfälle eller under en viss tidsperiod för att beräkna metallens värde som sedan uttrycks i motsvarande mängd koppar. Beräkningarna använder sig vanligen av in-situ värdet på en fyndighet eftersom det är de mest lättillgängliga uppgifterna som går att finna. Eftersom begreppet vanligen baseras på in-situ värden så är det inte acceptabelt för gruv- och prospekteringsbolag, enligt gällande rapporteringssystem, att redovisa en fyndighets tillgångar som kopparekvivalenter. I tabellen nedan finns några exempel där kopparekvivalenten för olika typer av fyndigheter med olika metallinnehåll visas.

Kort malmhistorik

Järn har producerats i Sverige långt innan Sverige som nation existerade. För 2500 år var blästerugnar, en primitiv form av masugn, i drift på flera håll i Sverige. I blästerugnarna varvades träkol och järnmalm och när kolet hade antänts blåstes luft in med hjälp av bälgar för att öka temperaturen. Järnmalmen på den tiden bestod av sjö- och myrmalm eller järnrik jord, så kallad rödjord. På vissa ställen tycks dock bergmalm ha använts i blästerugnarna exempelvis vid Fullerö norr om Uppsala (Kresten 1993). Arkeologiska undersökningar och dateringar av masugnen vid Lapphyttan i Norberg visar att modern järnhantering pågick på 1200-talet. Masugnar är betydligt effektivare än blästerugnar då de möjliggör en kontinuerlig drift där slagg respektive järn tappas ut ur ugnen under drift. På den tiden användes träkol som reduktionsmedel, långt senare började koks från stenkol användas som reduktionsmedel. Trots den innovation som masugnen innebar så drevs blästerugnar i Sverige fram till mitten av 1800-talet, sjömalm användes vid samma tid och den sista masugnen som används träkol var Svartå masugn som stängdes 1966.

Enligt legenden upptäcktes malmen som blev Falu gruva av en vit get som hette Kåre. En dag kom han tillbaka till sin ägare med hornen rödfärgad av vittrande sulfider. Dateringar av metallrika sediment i den närliggande sjön Tisken tyder på att metallhanteringen började någon gång under på 700-talet, det vill säga på vikingatiden (Eriksson & Qvarfort 1996). Liknande arkeologiska undersökningar vid Garpenberg ger ungefär samma åldrar på bergsbrukets start.

Skriftliga dokument som nämner gruvbrytning och malmhantering finns från 1200-talet, bland annat en byteshandling från 1288 rörande bergverket vid Falu gruva och ett knappt sekel senare dokument som rör bergshantering vid Dannemora i norra Uppland. Under de följande seklen hade Sverige en stor export av koppar och järn. Den industriella revolutionen i Tyskland, Frankrike och England under slutet av 1700-talet och början av 1800-talet krävde järn och stål och efterfrågan ökade, något som banade väg för tekniska förbättringar i gruvor, masugnar och smältverk i Sverige. Från att ha varit en småskalig verksamhet som drivits av lokala bönder, blev gruvorna och metallhanteringen större industriella enheter. Den industriella revolutionen, som kom senare till Sverige, förde med sig ångmaskiner, effektiva pumpar, järnvägar, sprängämnen, metoder för att behandla fosfor-rik (apatit förande) järnmalm och användningen av koks från stenkol istället för träkol i masugnarna.

Järnmalmerna i Norrbotten var redan kända redan på 1600-talet men det var inte förrän järnvägen Luleå-Gällivare-Kiruna-Narvik byggdes åren i slutet på 1800-talet som järnmalmsbrytningen blev ekonomiskt möjlig. Redan 1903 stod Kirunavaara och Malmberget i Gällivare för hälften av all järnmalm som producerades i Sverige. Järnmalmgruvorna i norr har haft en ledande ställnig sedan dess.

Den förbättrade infrastrukturen i norra Sverige också öppnat regionen för prospektering efter andra metaller. Under 1900-talets första årtionden skapade svenska banker ett flertal så kallade emissionsbolag. Ett av dessa var Centralgruppens Emissionsbolag med uppdraget att förvärva andelar i nya gruvbolag och att utveckla gruvor. År 1924, vid en tid då företaget var nära konkurs, påborrades en rik koppar-guldmalm vid Fågelmyran och två år senare var Bolidengruvan i drift. Under de följande åren hittades flera nya malmer och tillsammans

bildar dessa malmer Skelleftefältet, ett av Sveriges och Europas viktigaste malmdistrikt. Nya malmer hittas fortfarande inom fältet. Guldmalmen vid Björkdals hittas med geokemiska metoder (moränprovtagning) 1985 och gick i produktion 1988. Guldmalmen Åkerberg hittades 1988 och var i produktion från 1989 till 2001. En av de mest zink och koppar-rika malmer som någonsin hittats i Sverige är Storliden i Malå kommun. Den var i drift 2002-2008.

År 1930 hittades mineraliserade block och hällar vid det som skulle bli den stora Aitik gruvan i Norrbotten (Malmqvist & Parasnis 1972). Efter decennier av prospektering, bättre metallpriser och förbättrade anrikningsmetoder öppnade gruvan 1968. Den initiala produktionen på 2 miljoner ton per år har successivt ökats till dagens produktion på mer än 36 miljoner ton. År 1973 hittades ett kopparmineraliserat område 4 km väster om Kiruna (Godin 1976). Området identifierades genom förekomsten av ”kopparblomman” Viscaria Alpina och gruvan, i produktion 1982-1997, fick namnet Viscaria efter blomman. Idag finns framskridna planer på att åter starta gruvdrift vid Viscaria.

Parallellt med, och i samspel med prospekterings- och gruvindustrinexpansion skedde en enorm utveckling av den svenska verkstadsindustrin som levererade material till branschen. Företag som ABB, Atlas Copco, Sandvik och Nitro Nobel har rötter i den svenska gruvnäringen.

Malmstatistik

Det finns så vitt vi vet inga statistiska uppgifter om Sveriges järnmalmsproduktion under seklerna fram till 1800-talet. Uppskattningar har gjorts, t.ex. Tegengren 1912, och han redovisar en total järnmalmproduktion för åren 1301-1832 om 32,85 miljoner ton järnmalm. Historiska uppgifter om produktion av koppar-zink-bly malm samt guld och silvermalm är mycket sparsamma men metallproduktionen från de otal hyttor som funnits i framförallt Bergslagen registrerades noggrant eftersom de låg till grund för kronans skatteinkomster. Tegengren (1924) anger i tabellform koppar, silver, bly och svavelproduktionen från början av 1500-1600-talen, och produktion av guld, zink, mangan, kobolt, nickel och grafit från 1800-talet.

”Bergs-Collegii Underdåniga Berättelse om Förhållandet med Bergshanteringen år 1833”, det är titeln på den första samlade statistiska översikten över malmproduktion i Sverige. I den 1sta Artikeln beskrivs ”Jernmalms-brytningen” med text och sifferuppgifter på malmproduktion. Enheten för det brutna tonnaget är centner (1 centner = 5 lispund = 100 skålpund = 42,51 kg). Huvuddelen av järnmalmsproduktionen kom från Bergslagen och produktionen är ibland redovisad Bergslagsvis, ibland länsvis. Så har Nora Bergslag, störst producent i Örebro län, med Dahlkarlsbergs grufvefält, Pehrsytte, Slotterbergs m.fl. producerat 102573 ctn eller 4360 ton malm år 1833. Totalt producerades 1022222 ctn eller 43454 ton järnmalm i hela landet det året. Den 6te Artikeln i Bergshanteringen av år 1833 handlar om ”De så kallade Ädlare Verken” och är indelad i ”Guldtillverkningen”, ”Silfvertillverkningen”, ”Koppar-Verken” och ”Messings-Bruken”. Här redovisas producerad mängd av respektive metall men inga uppgifter om malmtonnage eller malmens metallhalter.

BERGS-KOLLEGII

Underdåniga Berättelse

om

Förhållandet med Bergshandteringen
år 1833.

STORMÄKTIGSTE, ALLERNÄDIGSTE KONUNG!

En bild av framsidan på den första Bergshanteringen 1833

Med tiden blir Bergshanteringen mer och mer detaljerad med uppgifter för enskilda gruvor och annat.

- 1874 tillkommer tabellen ”Uppfordrad malm af annat slag än jernmalm äfvensom svavfvelkis”, det vill säga malmproduktionen från icke-järnmalmsgruvor börjar redovisas.

- 1889 överger man den gamla enheten centner och övergår till SI-enheten deciton

- 1892 börjar även bruten mängd gråberg att redovisas för järnmalmer genom att kolumnen ”Brutet berg och malm” tillkommer till tabelldelen av Bergshanteringen.

- 1894 redovisas brutet berg och malm även för icke-järnmalmer

- 1906 tillkommer ytterligare en tabell ”Järnmalms anrikning och brikettering” där ingående järnmalm till anrikningsverk och producerat järnmalmsslig redovisas, dock utan metallhalter,

- 1909 metallhalterna för ingående järnmalm till anrikningsverk och producerat järnmalmsslig redovisas

- 1911 börjar halterna för styckejärnmalm att redovisas

- 1918-1922 redovisas även anrikning av icke-järnmalm

- 1960 Statistiska Centralbyrå (SCB) tar över ansvaret för Bergshanteringen

- 1978 Sveriges geologiska undersökning (SGU) tar över ansvaret för Bergshanteringen och publikationen byter samtidigt namn till Bergverksstatistik.

- 2014 Bergverksstatistik 2013 publiceras av SGU (Periodiska publikationer 2014:2)

Framsida Bergverksstatistik 2013

Bergshanteringen för åren 1933 till 1910 finns tillgängliga som pdf-filer på SCBs hemsida (http://www.scb.se/bisoscbergshantering1858-1910/). Bergverksstatistik för åren 1978-2013 finns tillgängliga på SGUs hemsida (http://www.sgu.se/produkter/publikationer/). Bergshanteringen för åren 1911-1977 finns som pdf-filer hos SGU men är inte tillgängliga via någon hemsida.

Under de senaste åren har stora delar av uppgifterna i Bergshanteringen/Bergverksstatistik digitaliserats, dels av SGU och dels av Bengt Högrelius, Fagersta. Statistik för malm- och gråbergsproduktion för järnmalmsgruvorna åren 1910-2013 med metallhalter för styckemalmsproduktion är komplett och kontrollerad. För åren 1860-1910 och 1833-1860 finns data men är de är ännu inte fullt ut digitaliserade och kontrollerade. Utöver data från Bergshanteringen har data bl.a. hämtats från äldre SGU publikationer och externa publikationer. Data för produktion av annan malm, huvudsakligen sulfid-, ädelmetall-, svavelkismalm samt för vissa industrimineralmalmer finns data från 1874. Metallhalter förekommer sporadiskt i Bergshan-

teringen. För vissa objekt har data om malmtonnage och metallhalter hämtats från andra verk, främst äldre SGU publikationer.

För de senaste 40 åren (1975-dags dato) finns en tämligen komplett uppsättning data för malm- och gråbergsproduktion, metallhalter och ingående och utgående tonnage och halter vid anrikningsverk, del via Bergverksstatistikens volymer, dels genom de rapporteringsformulär som skickas till SGU från de olika gruvbolagen.

Databaser

Fennoskandiska fyndighetsdatabasen (Fennoscandian Ore Deposit Database, FODD), http://en.gtk.fi/informationservices/databases/fodd/)

> Databasen innehåller information om de större malmerna och mineraliseringarna på den Fennoskandiska skölden. Information inkluderar namn och geografiskt läge, reserver, tillgångar och brutet tonnage, metallhalter, geologi och mineralogis samt referenser.

Mineralresursdatabasen (http://www.sgu.se/produkter/kartor/kartvisaren/berg-malm-mineral-och-ballastteman/)

> Mineralresursdatabasen innehåller information om metall-, mineral- och kolväteförekomster i Sverige, från mineraliserade hällar till större förekomster såsom nedlagda och producerande gruvor. Informationen inkluderar namn, läge, typ av mineralisering, mineralogi och geologi samt referenser till informationen.

Malmproduktionsdatabasen

> Innehåller information om produktion av malm och gråberg från 1833 till 2013 med vissa metallhalter.

Reserver och tillgångar-databas

> Innehåller information om mängd malm, metallhalter, rapporteringssystem etc. för fyndigheter för vilka mineralreserver och/eller mineraltillgångar har rapporterats.

Anrikningsdatabas

> Innehåller information om mängd och metallhalt på ingående malm i anrikningsverk samt producerat koncentrat. Även geografisk information om anrikningsverket läge.

BILAGA 3 RESTMATERIAL FRÅN MINERALUTVINNING

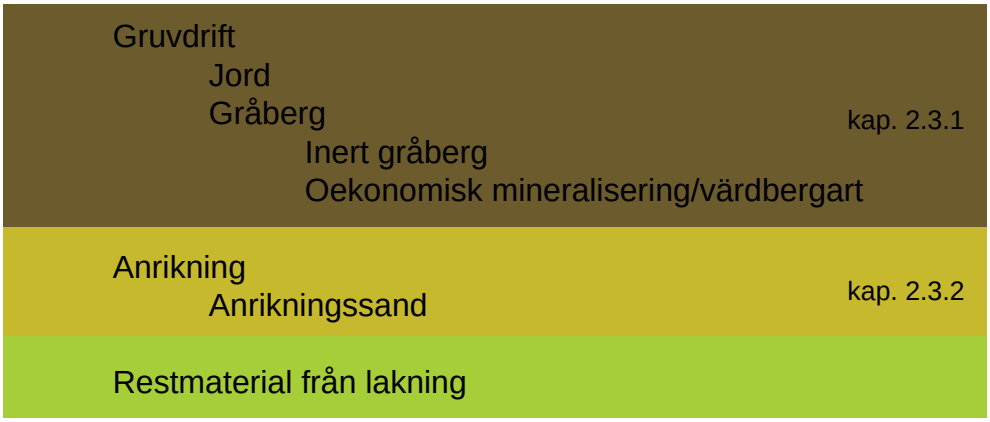
- Restmaterial från mineralutvinning

- Anrikning av malm

- Metoder för undersökning/uppskattning av anrikningssanddeponier

- Uppskattning av sandmagasinens storlek och metallinnehåll

Restmaterial från malm- och metallutvinning



Restmaterial från gruvdrift eller gruvavfall inkluderar allt restmaterial som genereras vid utvinning av malm i gruvor och de följande anrikning av malm till ett mineralkoncentrat. Utöver det finns också det restmaterial i form av slagg och askor som kommer från utvinning av metaller ur den anrikade malmen vid smältverk och masugnar, något som inte diskuteras i denna del av rapporten. Var och en av dessa processer resulterar i olika typer av restmaterial med olika egenskaper och sammansättning och de deponeras ofta på olika ställen. Ett förslag på indelning av restmaterialet finns i tabellen nedan.

Jord: Lösa avlagringar av jord, morän, sand och grus som måste schaktas bort för att blotta malmkroppen inför malmbrytning.

Läge: Vanligen mycket nära gruvan. Materialet används ofta för att bygga vägar, vallar och annan infrastruktur vid gruvan. Om materialet finns kvar när gruvan stängs kan det också användas för återställning av området.

Sammansättning: I Sverige består de lösa avlagringarna vanligtvis av morän, alluviala sediment (sand och grus) som avsatts under istiden och/eller organiska avlagringar som torv. Har i stort sett samma sammansättning som omgivande lösa avlagringar men kan vara kontaminerad av den underliggande malmen. De djupare delarna av de lösa avlagringarna kan bestå av vittrad och oxiderad malm och har då ett metallinnehåll som påminner om malmen men med en annan mineralogi.

Kommentar: De relativt små volymerna av lösa avlagringar samt den komplicerade (oxiderade) mineralogin gör dem ekonomiskt ointressanta

Gråberg – inert gråberg: Bergmaterial som måste tas bort för att kunna bryta malmen. Kan komma från schakt och tunnlar i sidoberget, de yttre delarna av dagbrott eller andra källor.

Läge: På grund av sitt obetydliga ekonomiska värde har bergmaterialet lagts nära gruvan. Samma användningsområde som den jord som tagits bort, d.v.s. för vägar, vallar och annan infrastruktur runt gruvan. Används även som ballast utanför gruvan om billiga transporter är tillgängliga och avståndet till användningsplatsen inte är för stort, även efter det att gruvan är stängd.

Sammansättning: Bergmaterialet har I stort samma sammansättning som den lokala berggrunden I området och är vanligen inert.

Kommentar: Kan likställas med andra bergmaterialkällor i regionen. Har ett ekonomiskt värde enbart som ballast.

Gråberg – fattig malm och mineraliserat sidoberg: Bergmaterial från malmens sidoberg som innehåller svag mineralisering och fattigare delar av malmen som måste tas bort för att kunna bryta malmen men som det inte lönar sig att processera på grund av de låga metallhalterna. Deponimalm, B-malm, sovringsavfall är andra begrepp som ryms i denna kategori av restmaterial.

Läge: På grund av sitt begränsade ekonomiska värde har materialet vanligen deponerats nära gruvan. I många fall har materialet använts som malm i ett senare skede när stigande metallpriser, förbättrad anrikningsteknik eller överkapacitet i anrikningsverk har gjort det möjligt att processera materialet för ekonomisk vinning.

Sammansättning: Metallhalterna är lägre än i sidoberget men i övrigt liknar metallsammansättningen den i malmen.

Kommentar: Detta restmaterial är egentligen malm som inte var lönsam att processa vid den tid då det bröts i gruvan p.g.a. rådande metallpriser och bristande anrikningsteknik. I gruvor i drift idag deponeras detta material åtskilt från mera inert restmaterial, dels av miljöskäl då en fattig malm och mineraliserat sidoberg kräver noggrann miljöövervakning, dels för möjligheten att kunna processa materialet i framtiden. Restmaterial från äldre gruvor har vanligtvis deponerats tillsammans med inert bergmaterial och allt annat restmaterial som anrikningssand, slagg och vanliga sopor. Denna typ av restmaterial är av stort intresse för

mineralsamlare och kan ha betydelse för geologiska och arkeologiska undersökningar då det ofta är enda chansen att undersöka malmen från en nedlagd och vattenfylld gruva.

Anrikningssand: Anrikningssand är det restmaterial som blir kvar när malmen har krossats, malts och genomgått någon form av anrikning (magnetisk, gravimetrisk, kemisk, flotation) där de värdefulla mineralen har extraherats. Anrikningssanden deponeras vanligen i dammar som hålls vattentäckta eller som täcks med jord när anläggningen stängs.

Läge: Vanligen så transporteras malm längre eller kortare sträckor till ett central anrikningsverk inom ett malmdistrikt. Hur långt malmen kan transporteras beror på malmens värde. I vissa fall ligger anrikningsverket i direkt anslutning till gruvan men det finns exempel där malm transporteras flera tiotals kilometer, ex. vis malm från Kristineberg som anrikas i Boliden, 91 kilometer österut.

Sammansättning: Syftet med anrikningsprocessen är att skilja de värdefulla mineralen från resten av malmen. I praktiken går det inte att med ekonomisk vinning nå fullt utbyte utan en del av de värdefulla mineralen följer med restmaterialet och hamnar I sandmagasinet. För sulfidmalmer ligger utbytet på ungefär 90%, d.v.s. 10 % av de ekonomiskt mest intressanta mineralen hamnar i restmaterialet. För järnmalmer är utbytet betydligt lägre, c. xx% men för guldmalmer högre än 90%. Metallinnehåller går att beräkna från halter och tonnage på ingående malm och halter och tonnage på producerat koncentrat, alternativt går det att uppskatta utbytet och beräkna anrikningssandens metallinnehåll från halt på ingående tonnage till anrikningsverk.

Kommentar: Anrikningssand är den ekonomiskt mest intressanta typen av restmaterial från gruvdrift på grund av att den redan är färdigmalm, det ligger i dammar och är lättillgängligt, metallinnehållet är relativt jämt fördelat, tonnaget är ofta stort, metallinnehållet går att uppskatta och en provtagning av materialet är relativt okomplicerad. Vidare så är restmaterial i form av anrikningssand från flera gruvor ofta samlade på ett ställe. Det finns dock åtskilliga problem också, materialet är alltför finkorning för att lakningslösningar ska kunna passera och mineralogin är inte alltid densamma som för den friska malmen då delar av sanden har oxiderats och vittrat. Anrikningssand används ofta för återfyllnad i utbrutna gruvrum. Den nödvändiga användningen av lakningskemikalier i processen är ett miljöproblem.

Rester från lakning: Lakning av krossad malm används där metallhalterna är så låga att en mer komplicerad och dyrbar anrikningsmetod inte skulle vara lönsam. Vid en lakningsanläggning utvinns malmen och krossas till lämplig storlek. Därefter läggs den upp i högar och duschas med en lösning för att laka ut metaller. Lösningen kan bestå av rent vatten, eventuellt med tillsatta närsalter, och sulfider som finns i malmen oxideras till utspädd svavelsyra som lakar metaller. Låghaltiga guldmalmer kan lakas med cyanider i lösning. Metallerna fälls sedan på lämpligt sätt (elektrolys, industning, lösningsmedelextraction e.dyl.)

Läge: På grund av sitt låga ekonomiska värde fraktas inte malmen långt utan läggs så nära gruvan som möjligt. När lakningen inte längre ger tillräckligt med metaller kommer högarna att ligga kvar där.

Sammansättning: Metallhalterna i resterna från lakningen är i stort desamma som i den

olakade malmen men
en del av de lakbara metallerna har extraherats. Vilka metaller som minskat beror på lakningsmetoden och lösningsmedel.

Kommentar: Resterna från lakning påminner om kategorin Gråberg – fattig malm och mineraliserat sidoberg. Anrikningsmetoden har aldrig använts i Sverige men i planerna för en stor polymetallisk gruva söder om Storsjön där alunskiffer utgör malmen ingår planer på en lakningsanläggning. Vid den omskrivna gruvan Talvivaara i Finland används denna typ av lakning.

Anrikning av malm

Anrikning av malm innebär att man i ett anrikningsverk skiljer de ekonomiskt intressanta mineralen från andra mineral. Detta sker genom att malmen krossas och mals till lämplig kornstorlek. Vad som är lämplig kornstorlek beror på hur fint malmen måste malas för att frilägga enskilda mineralkorn. Efter malning används en lämplig anrikningsprocess. För magnetitjärnmalmer är någon form av magnetisk separation en lämplig process, för grovkorning guldmalmer används gravimetriska processer där den stora konstrasten mellan malmmineralens och gråbergsmineralens densitet utnyttjas. För de flesta sulfidmalmer, men även guld och järnmalmer, används så kallad flotation. Vid flotation blåses luft i en blandning av vatten och finmald malm och malmmineralens ytegenskaper gör att luftbubblor fastnar på dem och lyfter dem till ytan som ett skum som skrapas av. Det mineral som luftbubblorna inte fastnar på blir kvar i flotationskärlen och pumpas sedan ut som så kallad anrikningssand och läggs på deponi – sandmagasin. Kvoten mellan den mängd metall som tas tillvara genom anrikningen och mängden metall som fanns i den ingående malmen kalls för utbytet och anges i procent. Vid alla anrikningsverk siktar man mot att nå 100% utbyte för alla ekonomiskt intressanta mineral men i praktiken finns det alltid en brytpunkt när kostnaderna för ett förbättrat utbyte är större än den vinst som förbättringarna i utbytet ger. Vanligtvis är anrikningsprocessen optimerad för de ekonomiskt sett mest intressanta mineralen och de mindre intressanta mineralen har ett lägre utbyte. Vilket mineral eller vilken metall som är ekonomiskt mest intressant varierar med tiden. Vidare gäller, rent generellt, att utbytet har förbättrats med tiden, d.v.s. äldre sandmagasin innehåller mer metall än moderna sådana.

Hur stor del av malmen som utvinns som det värdefulla mineralkoncentratet och hur stor del som blir anrikningssand varierar stort mellan olika malmtyper. För de flesta guldmalmer och även låghaltiga sulfidmalmer, exempelvis Aitik, gäller att i stort sett hela mängden malm, utom en lite fraktion malmmineral, blir anrikningssand och deponeras. Vid anrikning av apatitjärnmalmer, en anrikningsprocess som syftar till att ta bort störande apatit snarare än att höja den redan höga järnhalten, blir bara ungefär 25% av ingående malm anrikningssand, övriga 75% utgörs av magnetitkoncentrat, som har renats på störande mineral. Hur stor del av de svenska Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) malmerna (komplexa sulfidmalmer) som blir mineralkoncentrat resp. anrikningssand varierar stort mellan olika malmtyper och anrikningsverk men ett medelvärde pekar mot att ungefär 20% av malmen blir en eller flera typer av koncentrat och runt 80% går som anrikningssand. Andra komplikationer när det gäller komplexa sulfidmalmer är att svavelkisslig, som tidigare utgjort den viktsmässigt största produkten från anrikningsverken, slutade att produceras runt 1992 på grund av låga svavelpriser. Det medför att anrikningssand som deponerats före det året innehöll relativt

lite svavelkis men och den totala mängden anrikningssand i förhållande till ingående malm var lägre än efter 1992.

Det material som finns i deponier av anrikningssand kan vara ekonomiskt intressant av två skäl;

- Förbättrade anrikningsprocesser och/eller stigande metallpriser kan göra det lönsamt att återprocessa anrikningssand för att utvinna mer av de mineral/metaller som man ursprungligen utvann, något som var olönsamt när malmerna anrikades.

och/eller

- Mineral och metaller som inte hade något som helst värde när malmen en gång anrikades och som därför hamnade som anrikningssand i deponi men som idag kan vara ekonomiskt intressanta. *Ett aktuellt exempel är den mängd fosfat i form av apatit och de sällsynta jordartsmetaller (REE) som följer med mineralet apatit till sandmagasinen när apatitjärnmalmer anrikas. Att apatit delvis består av fosfor och att mineralet innehåller sällsynta jordartsmetaller har varit känt länge men det är först idag som intresset för, och priset på dessa element kan möjliggöra en utvinning.*

Metoder för undersökning/uppskattning av deponier av anrikningssand

För att en deponi för anrikningssand ska bli möjlig att utvinna så måste mineraltillgångarna i deponin undersökas. Detta kan göras på olika sätt;

1.

Det bästa sättet att beräkna mineraltillgångarna i ett sandmagasin är genom systematisk borrning, provtagning och analysering av deponin på samma sätt som när mineraltillgången i en mineralisering i berggrunden bestäms (se Bilaga_2). På detta sätt definieras en geostatistiskt säkerställd mineraltillgång i enlighet med de moderna regelverk för rapportering av mineralresurser som gäller idag. Detta är ett relativt tidsödande och kostsamt arbete att göra för alla deponier som finns i Sverige men är nödvändigt om en brytning av deponin planeras.

Ex. En sådan undersökning av Adakgruvans deponi av anrikningssand gjordes 1989. Tyvärr räcker informationen inte till för att utföra en beräkning av mineraltillgången enligt modern standard då analyserna inte håller tillräckligt god kvalitet men undersökningen ger ändå en uppfattning om deponins mineraltillgång. Rapporterna som beskriver undersökningen finns tillgänglig som pdf-filer på SGUs hemsida; http://apps.sgu.se/prospekteringsrapporter/ . Övriga publicerade systematiska undersökningar av sandmagasin är inte kända men LKAB har nyligen gjort en utvärdering av potentialen för att utvinna sällsynta jordartsmetaller från anrikningssand.

2.

En enklare, men mindre tillförlitlig metod för att uppskatta mineraltillgången i ett sandmagasin kan utföras när data på mängd och metallinnehåll på den ingående malm och producerade koncentratet finns tillgängligt. Skillnaden mellan dessa värden ger tonnage och metallhalter för anrikningssanden i deponin. Uppgifter om ingående malm och producerat koncentrat finns tillgängligt för de flesta större anrikningsverk som processat järnmalm sedan 1906 i de årliga publikationerna Bergshanteringen/Bergverksstatistik. En del av den informationen har digitaliserats av SGU. Anrikning av icke-järnmalm, mestadels basmetallgruvor, en del guldgruvor och ett fåtal industrimineral och specialmetallgruvor, finns dokumenterat från 1975 till dags dato i de enkätsvar som gruvbolagen skickar till SGU för sammanställning i publikationen Bergverksstatistik. Delar av den informationen finns digitaliserad. Från befintliga data går det alltså att utföra översiktliga beräkningar på tonnage och metallinnehåll för den mängd anrikningssand som producerats åren 1975-2013.

3.

Ett alternativt, och mindre tillförlitligt beräkningssätt där detaljerad information om ingående och utgående från anrikningsverk saknas eller är bristfällig är att utgå från den rapporterade mängd malm som har producerats som anrikningsmalm, ta reda på vilket anrikningsverk som processat malmen, hämta uppgifter om metallinnehåll från publicerade och opublicerade dokument, anta ett värde på utbytet och hur stor del av ingående malm som deponerats och från dessa uppgifter beräkna mängden producerad anrikningssand med metallhalter. En mera utförlig beskrivning av denna metod finns beskriven i nästa kapitel.

Den första metoden kan, om den utförs på ett professionellt sätt, ligga till grund för en beräkning av mineraltillgången i sandmagasinet enligt etablerade metoder. De två andra metoderna är inte tillräckliga för att göra en korrekt beräkning av mineraltillgången. Ingen av metoderna duger för en uppskattning av sandmagasinets mineralreserver, d.v.s. om sandmagasinet går att bryta med ekonomisk vinning. För att göra en sådan beräkning krävs noggrannare kunskap om hur mineral och metaller förekommer i sandmagasinet, hur de ska kunna utvinnas samt en provanrikning av anrikningssanden.

Uppskattning av sandmagasinens storlek och metallinnehåll

Anrikningsmalm 1906-2013

Alla gruvor som rapporterat produktion av anrikningsmalm väljs från SGUs malmproduktionsdatabas. Informationen hittas i Bergshanteringen/Bergverksstatistik i tabellerna för ”Uppfordring ur järnmalmsgruvor” och ”Uppfordring ut icke-järnmalmsgruvor” och under kolumner med rubriker som ”Erhållen för anrikning lämplig produkt” (1910), ”Erhållen anrikningsmalm” (1940), ”Anrikningsmalm” (1970), eller ”Efter sovring erhållen anrikningsmalm” (2000)). Denna sökning resulterade i 319 gruvor/gruvområden som någon gång producerat anrikningsmalm.

Anrikningsverk

Därefter knyts gruvornas produktion av anrikningsmalm till ett anrikningsverk. För många gruvor är detta lätt då de har levererat till ett och samma anrikningsverk under hela produktionstiden. För andra gruvor är det mer problematiskt då de levererat till två eller flera anrikningsverk under olika tider. För vissa gruvor har det ännu inte varit möjligt att identifiera vilket anrikningsverk som processat malmen. Tabellerna för ”järnmalmens anrikning och brikettering” i Bergshanteringen/Bergverksstatistiken har varit till stor hjälp för att ta reda på vart järnmalmerna har blivit anrikade, någon motsvarande tabell för icke-järnmalmernas anrikning finns inte. För 179 gruvor/gruvområden har det på något sätt gått att identifiera det anrikningsverk som malmen levererades till, för 140 gruvor/gruvområden har vi ännu inte identifierat anrikningsverket. De allra flesta av dessa gruvor/gruvområden är dock små med en relativt lite produktion av anrikningsmalm. Dessa har lämnats utanför beräkningarna.

Anrikningsverkets läge

Koordinatsättning och kodning av anrikningsverk och deras sandmagasin är inte klar. I många fall finns ett flertal sandmagasin runt anrikningsverken. Tills vidare har vi markerat ut det ungefärliga läget på anrikningsverket och låtit den punkten representera all den anrikningssand som deponerats. Arbete pågår med att, bl.a. med hjälp av olika länsinventeringar av miljöfarliga områden och SNVs MIFO databas bättre koordinatsätta sandmagasinen.

Anrikningsmalmens metallhalter

Till respektive gruva/gruvområde måste sedan halter på anrikningsmalmen knytas. För järnmalmerna kan informationen i många fall hämtas från tabellerna ”järnmalmens anrikning och brikettering” där metallhalt på ingående järnmalm redovisas. För icke-järnmalmerna saknas sådan sammanfattande information, metallhalterna har då hämtats från olika publicerade och opublicerade dokument. Notera att de metallhalter som hämtats från Bergshanteringen/Bergverksstatistik och andra källor vanligtvis enbart visar de metaller som var av intresse och som kunde få betalt för, halter på andra metaller och mineral, t.ex. ett flertal av de så kallade kritiska metallerna saknas vanligtvis.

Mängd anrikningssand

Olika malmtyper producerar olika stor mängd slig och anrikningssand. Rent generellt gäller att malmens metallhalt är proportionell mot kvoten slig/malm. För en guldmalm med metallhalter på några få gram per ton blir kvoten slig/malm nära 1 vilket betyder att i stort sett all bruten malm slutar som anrikningssand. Anrikning av apatitjärnmalm, å andra sidan, där anrikningsprocessen är till för att rena malmen från störande mineral som apatit ger små mängder anrikningssand relativt till den mängd malm som processas. Det är antagligen möjligt att mera precist definiera kvoten slig/malm för de flesta av de ingående malmerna men vi har valt att dela in gruppen i sju olika malmtyper vilka har olika kvoter för relationen slig/malm (tabell x). Det ska dock noteras att för komplexmalmerna är denna indelning alltför schablonmässig. När man summerar all anrikningssand som producerats

i Sverige 1906 till 2013 får vi, med denna beräkningsmodell,
1212 miljoner ton sand. Notera dock att en stor del av anrikningssanden har förts tillbaka till de gruvor som tillämpar igensättningsbrytning. Vi har ingen möjlighet att få värden på hur stor del som återgått till gruvorna men en fingervisning är färska uppgifter från det nya anrikningsverket i Garpenberg där knappt 50% av sanden används som återfyllnad.

Mängd metall i sandmagasinen

Mängden metall finns kvar i sandmagasinen beräknas genom att multiplicera tonnaget av anrikningsmalm med de antagna metallhalterna och den fraktion av metallerna som går till sandmagasinen (1-utbytet). Utbytet varierar mellan olika malmtyper och olika anrikningsverk men också med tiden. Det skulle antagligen gå att mera i detalj precisera utbytet för alla de ingående malmerna men vi har valt att välja ett schablonmässigt värde på utbytet till 0,9. Denna siffra anger att man utvann 90% av metallerna från malmen och 10% gick till sandmagasinen. Ett utbyte på 0,9 är antagligen alltför högt eftersom biprodukterna utöver den metall som var mest ekonomiskt intressant vanligen är lägre än 90% och utbytet var betydligt sämre längre tillbaka i tiden. Den mängd metall i sandmagasin som redovisas med denna beräkning är alltså ett minimum på mängden ingående metall i sandmagasinen. För att få någotsånär rättvisa siffror på den mängd apatit som går till sandmagasinen under anrikning (snarare rening, se ovan) av apatitjärnmalm har vi satt värde 0,5 för utbytet av fosfor (P). Tabell x visar mängden metall som finns i svenska sandmagasin enligt denna beräkning. Notera dock vad som sägs rörande återfyllnad av gruvor ovan, det finns ett stort svinn tillbaka till gruvorna.

Kommentarer och felkällor

Som nämnts ovan har en del anrikningssand återanvänts som fyllnad i utbrutna malmrum. Hur stor del av anrikningssanden som återanvänts i gruvorna är inte känt.

I andra fall har anrikningssanden deponerats i utbrutna och stängda dagbrott. Det finns ingen samlad information på hur mycket sand som har återanvänts som fyllnadsmassor.

Vid flera anrikningsverk har anrikningssanden deponerats på flera ställen och inte alltid i dammar. Rent generellt gäller att i äldre tider så tippades massorna mycket nära anrikningsverket, i en sänka eller en sjö. I mera modern tid har sanden deponerats i dammar som kan hållas täckta med vatten. Vanligtvis finns någon form av pågående miljöövervakningsprogram.

Sandmagasinen kan ha återställts och ha en helt annan användning idag. Exempelvis så ligger Askersunds golfklubbs banor på det som en gång var sandmagasinen från Åmmebergs anrikningsverk där malmen från Zinkgruvan anrikades fram till 19xx. Andra sandmagasin kan vara kulturminnen eller liknande.

BILAGA 4 METODER FÖR ÅTERVINNING AV METALLER

Det finns i huvudsak två metoder för återvinning som används kommersiellt idag, vilka är i princip desamma som används vid primär utvinning: pyrometallurgisk och hydrometallurgisk återvinning. Som komplement till dessa metoder sker utveckling av nya metoder, bland annat saltextraktion, MEFOS och utvinning av metalloxider ur slagger. Nedan beskrivs några av metoderna översiktligt.

Pyrometallurgisk återvinning (smältning)

Pyrometallurgisk återvinning (smältning) innebär att metallen hettas upp till en hög temperatur (ibland över 2000 °C).). Metallskrot, som bara i huvudsak innehåller det ämne eller ämnen man intresserad av att återvinna, kan smältas ned och återvinnas direkt. [4] Pyrometallurgiska separationsmetoder bygger på att olika ämnen har olika fas vid olika temperaturer. Metallerna fördelar sig vid upphettning i tre faser: rökgas/stoftfraktion, smälta och slagg. Man försöker få så mycket som möjligt av den metallen man önskar återvinna att befinna sig i smältan. Smältan genomgår sedan flera olika steg och man kan utvinna metaller med hög renhet. I Sverige är nästan hela metallindustrin baserad på pyrometallurgiska processer, det finns även elektrolys som används i Rönnskärsverken för att för att tillverka koppar utan föroreningar man även för att utvinna andra metaller som nickel och ädelmetaller. [38]
För att återvinna komplexa produkter, till exempel elektroniskt avfall, baserar man återvinningsprocessen på några (två eller fler) s.k. ”bärarmetaller” såsom koppar, zink eller bly. [4] Bärarmetallen är i smält fas vid lämplig temperatur och de metaller man är intresserad av kan bilda legeringar med bärarmetallen. På så sätt får man en koncentrerad metallblandning som sedan behandlas ytterligare för att de enskilda metallerna skall kunna återvinnas. I vissa fall är det sista steget inte möjligt, eller inte ekonomiskt försvarbart, och slutprodukten i återvinningen blir istället en metallegering. Pyrometallurgiska metoder har vissa begränsningar när det gäller att separera metaller. Ofta behöver man därför komplettera med ett efterföljande hydrometallurgiskt processteg.

Hydrometallurgisk återvinning (Urlakning)

Hydrometallurgiska separationsmetoder bygger på att metaller har olika löslighet i en vattenbaserad vätska, ofta en syra. Metallerna lakas ut med hjälp av lakningsagenten (vätskan) och anrikas sedan genom vätskeextraktion följd av en elektrolytisk process. [38] Hydrometallurgiska processer för återvinning av metaller ur elektronikskrot har många fördelar jämfört med pyrometallurgiska, bl.a. är de mer exakta, mer förutsägbara och enklare att kontrollera [39]. De senaste två decennierna har forskningen om nya hydrometallurgiska återvinningsmetoder för metaller i elektroniskt avfall varit intensiv. [39] Ett problem med hydrometallurgiska metoder kan vara att förlusterna av det material man vill återvinna är stor. Det förlorade materialet, samt lakningsagenterna, hamnar dessutom i avloppsvattnet som måste efterbehandlas. [40]. Hydrometallurgiska processer används ofta som komplement till pyrometallurgiska processer, särskilt när det gäller att återvinna metaller som inte själva är ”bärarmetaller”.

Nya Metoder

Ett flertal nya metoder har framtagits i syfta att öka återvinningen, bl. a på KTH. Nedan följer exempel på dessa. (Korta ned och förenkla texterna.)

Vanadinåtervinning enligt MEFOS-metoden

Ett exempel på framgångsrik ny processdesign är återvinning av vanadin genom reduktion av LD-slagg under noggrann kontroll av syrepartialtryck varvid värdefull vanadinmetall erhålles i form av en järnlegering, ferrovanadin. Processen utvecklades hos Swerea MEFOS6. Ett mellansteg i processen är att införa ett tvåstegsförfarande i 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 återstående vanadinfattigare LD-slaggen som bildas kan återcirkuleras i processerna. För att denna process skal komma till användning i industriell skala behövs investeringar och längre driftsförsök. Lönsamheten och därmed investeringsmöjligheten är direkt beroende av världsmarknadspriset på ferrovanadin.

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 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/mängdkiseloxid) som kallas slaggbasicitet, se Tabell III.

Saltextraktionsprocessen

En annan metod som utvecklats på KTH är den s.k. ”saltextraktionsprocessen”, där metaller från slaggen extraheras i ett saltbad. Därefterkan metallerna utskiljas genom elektrolys. Metall deponeras på katoden. Saltbadet innehåller, utöver natriumklorid, kaliumklorid och litiumklorid, aluminiumklorid som 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. Metalldepositionen beror på katodspänningen. Man kan således separera metallerna selektivt vid utskiljningen på katoden. Klorgas emitteras vid anoden.

Saltextraktion av REE

Man har använt Saltextraktionsprocess för utvinning av de strategiska sällsynta jordartsmetallerna ur elektronikskrot och även oxidiska malmer10. 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. Upptill 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.

Sveriges Geologiska Undersökning
Gjuteribranschens metallanvändning

2014-09-18

swerea | SWECAST

Innehållsförteckning

1 BAKGRUND 1

1.1 SWEREA SWECAST 1
1.2 DEN SVENSKA GJUTERIINDUSTRIN 1

2 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT 1

3 HANTERING AV RESTPRODUKTER 2

4 RESULTAT 3

4.1 ALUMINIUM 5
4.2 ANTIMON 5
4.3 BERYLLIUM 5
4.4 VISMUT 6
4.5 BLY 6
4.6 BOR 6
4.7 DOLOMIT 6
4.8 FERROKISEL 6
4.9 FLUSSPAT 7
4.10 GALLIUM 7
4.11 GERMANIUM 7
4.12 GULD 7
4.13 GIPS 7
4.14 HAFNIUM 7
4.15 INDIUM 7
4.16 JÄRN 7
4.17 KOBOLT 8
4.18 KOKS 8
4.19 KOPPAR 8
4.20 KROM 8
4.21 KALKSTEN / LIMESTONE (HIGH GR) 8
4.22 LITIUM 9
4.23 MAGNESIT 9
4.24 MAGNESIUM 9
4.25 MANGAN 9
4.26 MOLYBDEN 9
4.27 GRAFIT 10
4.28 NICKEL 10
4.29 NIOB 10
4.30 OLIVIN 10
4.31 FOSFAT 11
4.32 PLATINA, PALLADIUM 11
4.33 RARE EARTH ELEMENTS - HEAVY 11
4.34 RARE EARTH ELEMENTS - LIGHT 11
4.35 RHENIUM 11
4.36 SCANDIUM 11
4.37 SELEN 11
4.38 SILVER 11
4.39 TANTALUM 11
4.40 TELLUR 12
4.41 TENN 12
4.42 TITAN 12

4.43 VANADIN 12
4.44 VOLFRAM 12
4.45 ZINK 12
4.46 ÖVRIGT 12
4.46.1 Strontium 13
4.46.2 Kisel 13
4.46.3 Arsenik 13
4.46.4 Kväve 13
4.46.5 Zirkonium 13
4.46.6 Barium 13
4.46.7 Kalcium 13

1 Bakgrund

På uppdrag av Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) har Swerea SWECAST sammanställt denna rapport. Rapporten innehåller underlag från gjuteriindustrin och ska vara en del i SGU:s uppdrag att kartlägga och analysera utvinnings- och återvinningspotentialen för metall och mineral i Sverige.

1.1 Swerea SWECAST

Swerea SWECAST är ett svenskt forskningsinstitut inriktat på gjutna material, produkter, processer, miljöteknik och energieffektivisering. Ett stort kontaktnät finns med i stort sett alla svenska gjuterier.

1.2 Den svenska gjuteriindustrin

Den svenska gjuteriindustrin består av cirka 170 gjuterier och tillverkar knappt 300 000 ton gjutgods per år. Importen av gjutgods är ungefär lika stor. Järngjuterierna svarar för den tonnagemässigt största delen av produktionen, ca 75 %, stålgjuterierna bidrar med ca 7 % och sedan finns icke-järnmetallgjuterier som har ca 18 % av tonnaget. Icke-järnmetallgjuterierna består till största del av aluminiumgjuterier men i denna grupp ingår även gjuterier för bland annat koppar, magnesium, mässing, zink, brons och bly.

Gjutgods består av olika typer av legeringar där många olika metaller ingår. Det finns mängder med olika legeringar anpassade för olika gjuteritekniker och ändamål i samhället. Vissa metaller förekommer också som föroreningar men är inget som tillsätts aktivt. Ca 70 % av det svenska gjutgodset levereras till fordonsindustrin.

Gjuterierna är en del i ett kretsloppsamhälle där i stort sett alla gjutna produkter återtas efter användandet och smälts om för att forma nya produkter. Metallråvaran utgörs i huvudsak av skrot och sekundärt råmaterial, dvs skrot som har smälts om vid smältverk för att producera nya metalltackor. Små mängder primär råvara används.

2 Tillvägagångssätt

I denna rapport har en sammanställning gjorts kring den kunskap som finns om vilka metaller som normalt används i gjuteribranschen. Rapporten försöker vara så heltäckande som möjligt men det kan inte uteslutas att vissa metaller som inte nämns ändå används i mindre mängd hos enskilda gjuterier.

Intervjuer har genomförts med personer som har god inblick i den svenska gjuteriindustrins metallanvändning och med specialkunskap inom områdena järn, stål, aluminium samt övriga metaller. Personer som har intervjuats är dels Swerea SWECAST:s experter, dels företrädare för företag i branschen. Vid intervjuerna har varje metall på SGU:s lista diskuterats för sig.

Inom ramen för uppdraget har det inte varit möjligt att kvantifiera de exakta mängderna av respektive metall/mineral.

3 Hantering av restprodukter

Som nämns ovan bygger gjuteribranschen på återvinning av metaller. I en sådan här studie kan det vara av intresse att se på vad som inte återvinns utan hamnar på deponi. I resultatlistan nedan har kommenterats om ett ämne troligen inte återvinns. Här följer en mer generell beskrivning av några av gjuteriernas restprodukter.

Ett stort antal gjuterier använder olika typer av sand för att forma gjutkärnor och –formar. Detta är den helt klart dominerande restprodukten från svenska gjuterier. Totalt återanvänds ca 3-4 miljoner ton sand internt hos gjuterierna varje år. Cirka 200 000 ton kan inte återanvändas utan skickas iväg. 70 000 ton av dessa läggs på deponi medan resten används i olika typer av anläggningsändamål.

Metallspån och –skrot återcirkuleras antingen genom att smältas om direkt hos gjuteriet eller skickas för omsmältning hos större smältverk.

Slagg från järn- och stålgjuterierna läggs på deponi. Dessa slagger kan innehålla låga halter metaller. Däremot upparbetas slagg från t.ex. koppar- och aluminiumgjutningen. Några enstaka kupolugnar används av järngjuterier i Sverige. Merparten av slagg från denna process används för anläggningsändamål som utfyllnad på olika markområden.

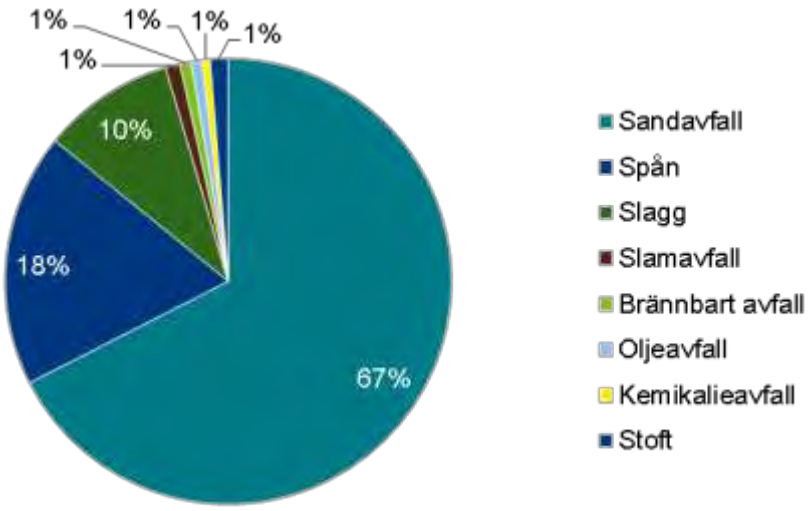
I samband med framtagandet av denna rapport har metallinnehållet i några slagger från några gjuterier studerats. Metallhalterna är generellt låga men det är mycket svårt att säga något generellt hur mycket metall som finns i slaggen då det kan variera från företag till företag.

Slaggen uppgår till ca 30 000 ton varav cirka 28 000 ton är från järn- och stålgjuterierna. Mängden spån blir ca 60 000 ton per år.

Stoft från smältning som kan innehålla viss mängd metaller deponeras normalt sett då det är svårt att upparbeta stoftet. Något enstaka gjuteri smälter om eget stoft med högt metallinnehåll.

Insamlat skrot kan innehålla oönskade metaller som bly och zink. I smältprocessen avgår dessa ofta till ventilationsluften och avskiljs i textila spärrfilter. Det avskilda stoftet sänds för deponering som farligt avfall. Härigenom fungerar smältprocessen som en avskiljningsprocess där kretsloppet renas från de oönskade metallerna.

Förhållandet mellan olika restprodukter redovisas i nedanstående diagram.



4 Resultat

Nedan kommenteras vilka metaller som gjuteriindustrin använder utifrån den lista med ämnen som SGU tagit fram.

Då ett ämne kan vara mycket viktigt för en typ av gjuteri samtidigt som samma ämne kan sakna effekt eller ha en negativ påverkan för en annan typ av gjuteri sker redovisningen i huvudsak för tre grupper järn-, stål- och aluminiumgjuterier. Om ett ämne inte kommenteras för någon av dessa grupper betyder det att ämnet saknar betydelse eller inte används just för denna grupp.

För vissa ämnen kommenteras deras användning även hos gjuterier som är specialiserade på specifika metaller t.ex. koppar eller bly. Icke järn- och stålgjuterier sammanfattas i nedanstående tabell med ordet Övriga.

För vissa ämnen kommenteras deras användning i tillbehörsutrustning som används av gjuteribranschen. Rapporten är dock inte på något sätt heltäckande när det gäller detta område.

Metaller som inte är önskvärda utan förekommer mer som föroreningar i olika legeringar har inte kommenterats särskilt.

Resultatet summeras i nedanstående tabell. (X) innebär att det förekommer i mindre mängd. X innebär att det används i stor mängd

Metall/Mineral	Järn	Stål	Övriga	Tillbehör
Aluminium	(X)	(X)	X	
Antimon	(X)			
Beryllium			(X)	
Vismut	(X)		(X)	
Bly		(X)	X	
Bor		(X)	(X)	
Dolomit		(X)		
Ferrokisel	X	(X)	(X)	
Flusspat	(X)			
Gallium				
Germanium				
Guld				
Gips				(X)
Hafnium				
Indium				
Järn	X	X	(X)	
Kobolt	(X)	(X)		
Koks	(X)			
Koppar	(X)	(X)	X	
Krom	(X)	X	(X)	
Kalksten / Limestone (high gr)		(X)		(X)
Litium			(X)	
Magnesit				(X)
Magnesium	X		X	
Mangan	(X)	X	(X)	
Molybden	(X)	(X)		(X)
Grafit	X	(X)	(X)	(X)
Nickel	(X)	X	(X)	
Niob		(X)		
Olivin		(X)		
Fosfat			(X)	
Platina, Palladium				(X)
Rare Earth Elements - Heavy	(X)			
Rare Earth Elements - Light	(X)	(X)	(X)	

Metall/Mineral	Järn	Stål	Övriga	Tillbehör
Rhenium				
Scandium			(X)	
Selen		(X)		
Silver				
Tantalum		(X)		
Tellur		(X)		(X)
Tenn	(X)		X	
Titan		(X)	(X)	
Vanadin		(X)		
Volfram		(X)		
Zink			X	

4.1 Aluminium

Aluminium är en mycket viktig metall och det finns många svenska aluminiumgjuterier. Det finns många användningsområden för aluminumgods t.ex. där det är viktigt med en låg vikt. Aluminium återvinns till hög grad. Vid smältning uppstår slagg. Denna slagg skickas till extern upparbetning och aluminiumet i slaggen återförs till kretsloppet. Det finns speciella kemikalier så kallade flussmedel som innebär att mängden aluminium i slaggen minimeras.

Aluminium används dessutom som så kallad desoxidationsmedel vid stålgjutning. Denna aluminium hamnar då i stålslaggen som normalt sett inte upparbetas utan läggs på deponi.

Aluminium används även som aktiv komponent i vissa ympmedel vid framställningsprocessen för olika järnlegeringar.

4.2 Antimon

I järnlegeringar finns det exempel på patent, där mycket små mängder tillsatt antimon används för att förfina materialets slutstruktur.

4.3 Beryllium

Används i vissa aluminiumlegeringar i mycket små mängder men brukar normalt sett undvikas hos aluminiumgjutarna. Finns i en del amerikanska legeringar i något högre halt, men dessa är inte vanliga i Sverige.

Har testats för att förhindra oxidation i magnesiumsmältor. Det ingår även i mycket låga halter 10 ppm i visa magnesiumlegeringar. Vid omsmältning av skrot innehållande beryllium avgår metallen till luft och hamnar i rökgaserna.

Ett användningsområde för beryllium är i legering med koppar i de kolvar som sitter i pressgjutarnas pressgjutmaskiner.

4.4 Vismut

Vismut förekommer i en del koppar- och bronslegeringar.

Blir allt viktigare för järngjutarna. Små mängder men viktigt för strukturen.

Är ett alternativ till bly i mässingslegeringar, har inte fått så stort genomslag än men kan bli mer aktuellt framöver.

4.5 Bly

För koppar- och mässingsgjutare är blytillsats viktig för att få bra bearbetnings-egenskaper av det färdiga gjutgodset. På grund av blys farliga egenskaper pågår ett aktivt arbete med att minska blyet i legeringarna alternativt ersätta det med andra metaller, t.ex. vismut. Resultaten så här långt är att halterna bly kunnat minska men att bly fortfarande används. Om helt blyfria legeringar tas fram finns problemet att bly finns kvar i kretsloppet i form av skrot, som inte kan återvinnas i legeringar med vismut.

Bly förekommer även i vissa stålsorter som dock är ovanliga i Sverige.

Det finns ett fåtal rena blygjuterier i Sverige som gjuter bland annat båtkölar och strålskydd att använda tillsammans med röntgenutrustning osv.

Bly kan vara en förorening som fås in med skrotet till järn- och stålgjuterier. Det bly som kommer in i smältprocessen på detta sätt kommer att förångas och avgå med rökgaserna och avskiljas i stoftfilter.

4.6 Bor

Används som tillsatsmedel för vissa aluminiumlegeringar i form av titanbor. Låga halter som följer med godset.

Bor är ett viktigt legeringsämne för stål för stärkt hållfasthet men i ppm-nivåer. Alla vill dock inte ha bor i sina legeringar. Kan vara svårt att få tag på.

Bor ingår även i vissa infodringmaterial till gjuteriernas ugnar.

4.7 Dolomit

Används för att modifiera stålslagg från sur till neutral med syftet att minska slitaget på ugnsinfodringen

4.8 Ferrokisel

Ferrokisel används både hos stålgjutare och järngjutare och då i högre halter hos järngjutarna. Järngjutarna använder halter på minst 4 % då det är mycket viktigt legeringsämne för att på ett enkelt sätt kunna reglera kiselhalten samt för att styra strukturen i materialet.

Ferrokisel kan möjligtvis även användas i mässing.

4.9 Flusspat

Kan ev. användas som slaggbildare hos järngjutare.

4.10 Gallium

Gallium är inget som tillsätts hos gjuterierna.

4.11 Germanium

Germanium inget som tillsätts hos gjuterierna.

4.12 Guld

Guld är inget som tillsätts hos gjuterierna.

4.13 Gips

Vissa aluminiumgjutare använder gips till sina formar. När gjutningen är klar går gipset idag på deponi men det diskuteras om det finns möjlighet att tillverka gipsskivor av resterna.

För övriga gjuterier är detta inte något som används.

Gjuterier som använder svaveldioxid för att härda sandkärnor renar utgående luft med en skrubber med kalkhaltigt vatten. Då bildas gips som en biprodukt som idag används som jordförbättring.

4.14 Hafnium

Används normalt sett inte i gjuteriindustrin.

4.15 Indium

Indium är inget som tillsätts hos gjuterierna.

4.16 Järn

Järn tillåts i halter upp till drygt 1 % i vissa aluminiumlegeringar. Följer oftast med i återvunnet material. Betraktas både som legeringsämne och förorening, beroende på legering.

Järn är basen för samtliga järn- och stålgjuterier i Sverige. Det finns många användningsområden för järngjutgods i allt från motorblock och bromsskivor till stekpannor.

4.17 Kobolt

Kobolt förekommer som legeringsmetall i stål men ingen stor användning. Det är inte så vanligt i gjutet stål utan mer då i stål från stålindustrin.

Det kan även förekomma som legeringsämne i järn men i mycket låga halter, normalt sett har det ingen funktion för järnet.

4.18 Koks

Det finns ett par gjuterier i Sverige som använder så kallad kupolugn och då används koks som bränsle och för att höja kolhalten i järnet.

4.19 Koppar

Det finns ett antal rena koppargjutare i Sverige. Koppar är också en huvudingrediens i mässing som t.ex. används för kranar och pumpar.

Hos stålgjutarna är det ganska vanligt att koppar används som legeringsmetall framförallt för rostfritt stål, dock är det inte några höga halter utan kanske någon %.

Det förekommer även i vissa järnlegeringar för bättre hållfasthet. Normalhalten är då 0,3 %.

4.20 Krom

I enstaka fall önskar aluminumgjutarna lite krom men normalt sett anses det vara en förorening som accepteras upp till 0,15 %.

För stålgjutarna är det ett mycket viktigt ämne och för de rostfria stålen kan det förekomma i höga halter.

Vid tillverkning av stål används kromitsand (med högt krominnehåll) i viss omfattning. Detta på grund av dess eldfasthet och värmeledningsförmåga. Sanden återanvänds normalt i viss omfattning hos gjuteriet. Det som inte återanvänds läggs på deponi.

Hos järngjutarna används det i vissa legeringar som kräver hög slitstyrka.

4.21 Kalksten / Limestone (high gr)

Bränd kalk används som slaggbildare hos stålgjutarna.

Kalksten förekommer hos de fåtal gjuterier i Sverige som använder så kallad kupolugn.

4.22 Litium

Litium används inte i dagens svenska aluminiumlegeringar men då det kan tillföra intressanta egenskaper tittar branschen på möjligheten att använda detta i framtiden.

4.23 Magnesit

Magnesit kan förekomma som material till infodring av ugnar på grund av eldfasta egenskaper.

4.24 Magnesium

Magnesium används ofta som legeringsämne inom aluminiumgjutningen, vanligen 0,3-0,6 %. En hel del kan tänkas försvinna med slaggen. Som nämnts ovan upparbetas slagg från aluminiumgjuterier. Dock är inte syftet med denna upparbetning att återta magnesium utan fokus är aluminium.

Det förekommer en del ren magnesiumgjutning.

Magnesium är mycket viktigt för järngjutarna. Det vanligast järnet kallas gråjärn. För att få en legering med högre hållfasthet tillsätts magnesium till järnsmältan. Det ger upphov till kompaktgrafitjärn och segjärn. Efterfrågan på dessa järnsorter ökar vilket innebär att mycket stora volymer magnesium används. Idag tillverkas ca 40 000 ton segjärn i Sverige

4.25 Mangan

Mangan är ganska vanligt i flertal aluminiumlegeringar i halter på ca 0,5 %.

Nästan allt stålgjutgods innehåller någon % mangan. Det finns också speciellt manganstål med bättre slitstyrka. Där ingår mangan med över 10 %.

Också mycket vanligt för järngjutare i stort sett i alla legeringar i halter ca 0,4%. Förekommer vissa järnlegeringar där det inte är önskvärt.

4.26 Molybden

Molybden är mycket vanligt legeringsämne för stål även om det kanske inte är så höga halter, ca 0,5 %.

På järnsidan används det i legeringar som ska tåla höga temperaturer och kan då förekomma i halter upp till 3 %.

Molybden ingår också i värmetråden samt ibland skyddsplåten för högtemperaturugnar.

4.27 Grafit

Något enstaka gjuteri har grafitbad för att doppa sina kokiller för att erhålla god smörjning.

I Sverige finns några så kallade ljusbågsugnar som används av två stålgjuterier. Elektroderna till denna ugn är av grafit.

Stålgjutarna använder grafit i begränsad omfattning för att ev. höja kolhalten i stålet, men det rör sig om små tillsatser.

Gjutjärn ska ha en kolhalt på ca 3,6 % och grafit är ett viktigt sätt att tillsätta kolet på. Grafit kan även innehålla svavel och används ibland för att få in rätt svavelhalt i smältan.

Sandgjutarna lägger ofta på något som kallas black på sandformar och kärnor för att förhindra att sanden bränner fast i metallen. Black är något mycket vanligt förekommande och en del av denna black innehåller grafit.

Vissa gjuterier använder sand som blandas med malt stenkol för att få en bra sand att göra gjutformar av. Ibland ersätts stenkolet med andra ämnen och där kan grafit vara en viktig beståndsdel.

4.28 Nickel

Nickel är ett mycket viktigt ämne för stålgjutare och särskilt rostfritt stål med halter på 8 % och uppåt. För icke rostfritt är det lägre halter som gäller.

Järngjutarna vill gärna ha in lite nickel men det tillsätts inte i stora mängder på grund av höga kostnader.

Förekommer som legeringsmetall för aluminumgjutare, men det är mycket ovanligt.

4.29 Niob

Niob är ett viktigt legeringsämne för flera stål men det handlar om några tiondels procent.

4.30 Olivin

Normalt används kvarts/fältspatssand för tillverkning av gjuteriernas formar och kärnor. Olivinsand används dock ibland av de som gjuter stål då det klarar högre temperaturer. När olivinsanden inte längre kan återanvändas i gjuteriet läggs den på deponi.

4.31 Fosfat

Fosfor tillsätts vissa kopparsmältar för att ta bort orenheter. Oklart i vilken form fosforen tillsätts.

4.32 Platina, Palladium

Används i vissa termoelement som är viktiga tillbehör för gjuteribranschen.

4.33 Rare Earth Elements - Heavy

Yttrium är viktigt för vissa magnesiumferrokisel som används i behandling av järnsmältor.

4.34 Rare Earth Elements - Light

Forskning pågår om lantan kan vara ett lämpligt tillsatsämne i aluminiumlegeringar.

Lantan tillsammans med cerium används i en del stål för skärbarhetshöjande effekt. Det rör sig dock om låga halter. Det förekommer även att det används som desoxidationsmedel och då hamnar troligtvis i slaggen. Slaggen från stålgjuterierna återanvänds inte.

Lantan, cerium, praesodym och neodym är viktigt för vissa magnesiumferrokisel som används i behandling av järnsmältor. I huvudsak rör det sig om lantan och cerium i halter upp till ca 1 %. Lantan är viktigt för tunnväggigt gods.

4.35 Rhenium

Rhenium är inget som tillsätts hos gjuterierna.

4.36 Scandium

Även om det inte är vanligt så förekommer det att skandium tillsätts till vissa aluminiumlegeringar.

4.37 Selen

Ibland används selen i mycket låga halter för att förbättra skärande bearbetning i stål.

4.38 Silver

Silver är inget som tillsätts hos gjuterierna.

4.39 Tantalum

Förekommer i några stål i mycket låga halter.

4.40 Tellur

Ibland används tellur i mycket låga halter för att förbättra skärande bearbetning i stål.

Tellur förekommer i tillbehörsutrustning för termisk analys.

4.41 Tenn

Olika bronser innehåller stor andel tenn.

I järn används det som strategiskt viktigt legeringsämne i mycket små mängder, 0,02 % för att ge bra mekaniska egenskaper.

4.42 Titan

Används som tillsatsmedel för vissa aluminiumlegeringar i form av titanbor. Låga halter som följer med godset.

I stål förekommer titan dels som legeringsmedel, dels som desoxidationsmedel men också för att ta bort kväve. I de två sistnämnda fallen hamnar en stor del av titanet i slaggen. Slagg från stålgjuterier återanvänds inte.

4.43 Vanadin

Vanadin förekommer i små mängder som legeringsämne hos stålgjutarna, men det rör sig om halter på några tiondels procent.

4.44 Volfram

Används i små mängder i stål.

4.45 Zink

Det finns speciella gjuterier som gjuter i zink t.ex. till kontaktdon eller stationära varor. Zink är också en huvudkomponent i mässing.

Det förekommer även i vissa aluminiumlegeringar.

Zink är en vanlig ytbeläggning för järn och stål. Detta kan innebära att skrot som återsmälts kan innehålla zink vilket är ett problem för både järn- och stålgjutare. Vid dessa processer avgår zink från smältan till rökgaserna vilket innebär att det hamnar i stoftet som renas bort och oftast deponeras.

4.46 Övrigt

I samband med framtagandet av denna rapport är det några andra ämnen som inte finns med på listan men ändå har nämnts särskilt av de personer vi talat med. Dessa kommenteras nedan.

4.46.1 Strontium

Strontium tillsätts som förädlingsmedel i aluminiumsmältor i mycket små mängder, ca 100-200 ppm. Vanligast hos pressgjutare. Följer sannolikt med godset.

4.46.2 Kisel

7-12 % i alla aluminumlegeringar.

Kisel är även viktigt i järn.

4.46.3 Arsenik

Mässingsgjutarna använder en arsenikblandning Det rör sig om små tillsatser och inte i alla legeringar.

4.46.4 Kväve

Kväve är viktigt i stållegeringar men knappast ett bristämne.

4.46.5 Zirkonium

Förekommer som legering i tunt gjutgods av järn.

Det finns en sand som innehåller zirkonium och kallas för zirkonsand. Denna används till viss del av några gjuterier som använder sandformar.

4.46.6 Barium

Vanligt förekommande tillsatsämne hos järngjutare.

4.46.7 Kalcium

Väldigt vanligt för järngjutarna.

Swerea SWECAST AB
Energi- och Miljöteknik
Jönköping, 2014-09-18

Utförare: Granskare:

Martin Wänerholm Peter Nayström

CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Användning och återvinning av potentiellt kritiska material

Kunskapsöversikt

MARIA LJUNGGREN SÖDERMAN
EMILIA INGEMARSDOTTER

Department of Energy and Environment
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2014
Report no 2014:20

RAPPORT NO. 2014:20

Användning och återvinning av potentiellt kritiska material

Kunskapsöversikt

MARIA LJUNGGREN SÖDERMAN

EMILIA INGEMARSDOTTER

Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2014

Användning och återvinning av potentiellt kritiska material. Kunskapsöversikt
MARIA LJUNGGREN SÖDERMAN OCH EMILIA INGEMARSDOTTER

© MARIA LJUNGGREN SÖDERMAN, 2014
© EMILIA INGEMARSDOTTER, 2014

Rapport No. 2014:20
Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
412 96 Göteborg
Telefon 031-772 1000

Chalmers Reproservice
Göteborg, Sverige 2014

Användning och återvinning av potentiellt kritiska material. Kunskapsöversikt

MARIA LJUNGGREN SÖDERMAN OCH EMILIA INGEMARSDOTTER
Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

SAMMANFATTNING

Studien är underlag till den kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotentialen för olika metall- och mineraltillgångar i Sverige, som Sveriges geologiska undersökning (SGU), i samråd med Naturvårdsverket, genomför på uppdrag av Sveriges regering.

Baserat på en litteraturstudie presenteras en översiktlig kunskapssammanställning inom två områden: (1) användning av kandidatmaterial i produkter och branscher och (2) nuvarande möjligheter att återvinna kandidatmaterial. I denna ingår 41 av de material som SGU och Naturvårdsverket listat som kandidater för Sverige, d.v.s. sådana material som kan komma att pekas ut som kritiska. I de flesta fall är det nuvarande global användning och återvinning som redovisas eftersom det är sådan information som finns tillgänglig.

Kandidatmaterialen används inom ett stort antal områden redan idag och inte bara i högteknologiska produkter med växande marknader, såsom elbilar, vindkraft och solceller. En noggrann kartläggning kräver detaljerad inblick i många industrisektorer, tillverkningsprocesser och produktkategorier, varianter av dessa och hur de förändras över tid. I enstaka fall finns detaljerad information publikt tillgänglig. Därför redovisar vi översiktligt omfattningen av nuvarande användning av vart och ett av de 41 materialen inom 24 olika användningsområden (produkter och branscher). Endast några exempel på användning i vikt per produkt presenteras: elektriska och elektroniska produkter samt personbilar.

Möjligheten att återvinna skiljer sig åt *mellan kandidatmaterialen,* men av olika skäl också *mellan olika produkter som innehåller ett visst kandidatmaterial*. Därför presenteras återvinningsgrader för vart och ett av de 24 användningsområdena. Fokus i studien ligger på möjligheten att återvinna konsumtionsavfall, men även produktionsavfall diskuteras eftersom möjligheterna ofta skiljer sig åt.

Det saknas idag tillgänglig information om många av kandidatmaterialen, men intresset är stort för denna typ av material och frågor som är kopplade till dem. Mer kunskap skulle öka möjligheterna att ta välgrundade beslut kring de insatser som krävs för att ta till vara på de materialresurser i uttjänta produkter som idag är outnyttjade.

Nyckelord: kritiska material, knappa metaller, produktinnehåll, återvinning, återvinningsgrader, konsumtionsavfall, produktionsavfall.

Use and recycling of potentially critical materials. An overview.

MARIA LJUNGGREN SÖDERMAN AND EMILIA INGEMARSDOTTER
Department of Energy and Environment
Division of environmental systems analysis
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SUMMARY

This study provides input to a study which maps and analyzes the mining and recycling potential of various metal and mineral resources in Sweden, conducted by Geological survey of Sweden (SGU) and the Swedish Environmental Protection Agency (SEPA) on behalf of the Swedish government.

Based on a literature review, a compilation of existing knowledge in two areas is presented: (1) the use of candidate materials in products and industries, and (2) current recycling opportunities of candidate materials. It includes 41 of the materials shortlisted as candidates for Sweden by SGU and the SEPA, i.e. materials that may become pointed out as critical. In most cases, the compilation accounts for current use and recycling on a global average since only such information is publicly available.

Candidate materials are used in many areas already today, and not just in high-tech products with growing markets, such as electric cars, wind power and solar cells. Systematic identification requires detailed insight into many sectors of industry, manufacturing processes and product categories, variants of these and how they change over time. In some rare cases, detailed information is publicly available. Therefore, we present briefly the extent of current use of each of the 41 materials in 24 different use areas (products and industries). A few examples of the material use in weight per product are provided: electrical and electronic products and cars.

Recycling opportunities differ between candidate materials, but, for different reasons, also between different products that contain the same candidate material. Therefore, recycling rates for each of the use areas are presented. The focus of the study is on recycling of candidate materials from consumption waste, but production waste is also addressed as the opportunities often differ significantly.

There is currently little information on many of the candidate materials, but there is a growing interest in these materials and issues related to them. More knowledge would increase the opportunities to take informed decisions on the efforts required to make use of the currently unrecovered material resources in discarded products in society.

Keywords: critical materials, scarce metals, product content, recycling, recycling rates, consumption waste, production waste.

Innehåll

SAMMANFATTNING....1
SUMMARY....2
FÖRKortningar....4
1. Inledning....5
1.1. Bakgrund....5
1.2. Syfte, omfattning och metod....7
2. Användning av kandidatmaterial....10
2.1. Nuvarande användning....10
2.2 Användning i Sverige....24
3. Återvinning av kandidatmaterial....32
3.1 Möjligheten att återvinna....32
3.2 Återvinningsgrader....33
3.3 Funktionell och icke-funktionell återvinning....34
3.4 Nuvarande återvinning....36
3.5 Aktörer för återvinning av kandidatmaterial i Sverige....52
4. Användning och återvinning av kandidatmaterial i vissa produkter....53
4.1. Elektriska och elektroniska produkter....53
4.2. Personbilar....57
5. Slutord....62
Referenser....63
Appendix....67
Utrikeshandel....67
Industrins varuproduktion....73

FÖRKORTNINGAR

CdTe – kadmium tellur, används i en typ av solceller

CFL – compact flourescent lamp, en typ av lågenergilampa

CIGS – kadmium indium gallium selen, används i en typ av tunnfilms-solceller.

COMTRADE – FN-databas för internationell handel av råvaror

CRM – critical raw materials, kritiska råvaror

EOL-RR – end of life recycling rate, ett mått på återvinningsgrad

FCC – fluid catalytic cracking, en viktig process i oljeraffinaderier

GCC – ground calcium carbonate, kalciumkarbonat

HRRE – heavy rare earth metals, tunga sällsynta jordartsmetaller

HS – harmonized system, ett katergoriseringssystem för handelsvaror

HSLA - high strength low alloyed steel, höghållfast låglegerat stål

HTS – high temperature superconductor, ett material som är supraledande vid relativt sett höga temperaturer

Hårdmetall – Begreppet avser i vissa fall alla slitagetåliga material med goda egenskaper för att skära och bearbeta metall och andra fall specifikt material med ovan nämnda egenskaper som till största del består av volframkarbid (WC).

ITO – indium tin oxide, indium tenn-oxid, används som elektroniskt ledande, transparent beläggning på bl.a. LCD-skärmar och tunnfilmsolceller

Kandidatmaterial - sådana material som är kandidater att pekas ut som kritiska för Sverige, listade av SGU och Naturvårdsverket som underlag för denna studie

KN – kombinerad nomenklatur

LCD – liquid-crystal display, en typ av elektronisk skärm

LED – light emitting diode, en typ av lågenergilampa

LIB – litium-jon batterier

LRRE – light rare earth metals, lätta sällsynta jordartsmetaller

NdFeB – neodym-järn-bor, används i permanentmagneter

NiMH – nickel-metall-hydrid, används i batterier

NO_x - kväveoxider

OSR – old scrap collection rate, insamlingsgrad för gammalt skrot, ett mått på återvinningsgrad

PET – Polyetentereftalat

PGM – Platinum group metals, platina-gruppen

RC – recycled content, återvunnet innehåll, ett mått på återvinningsgrad

RRE – rare earth metals, sällsynta jordartsmetaller

SCB – Svenska statistiska centralbyrån

SmCo – samarium-cobolt, används i batterier

SNI – Standard för svensk näringsgrensindelning

SOFC – Solid oxide fuel cell, fastoxidbränslecell

Superlegering – Begreppet avser i vissa fall alla legeringar med goda hållfasthetsegenskaper vid mycket höga temperaturer och i andra fall specifikt legeringar med ovan nämnda egenskaper som baserats på Ni, Ni-Fe eller Co.

UNEP – United Nations Environmental Program

USGS – United States Geological Survey

WC – Volframkarbider

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund

Sveriges regering gav i september 2013 i uppdrag åt Sveriges geologiska undersökning (SGU) att i samråd med Naturvårdsverket genomföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotentialen för olika metall- och mineraltillgångar i Sverige. Uppdraget är en del av Sveriges mineralstrategi (dnr N2013/972/FIN), som beslutats av regeringen, vilken syftar till att främja en långsiktigt hållbar gruv- och mineralnäring. Målbilden i mineralstrategin formuleras enligt följande:

"Utvinning och bearbetning av malm och mineral från den svenska berggrunden ska ske med ökad resurseffektivitet. Återvinningsgraden av uttjänta metalliska och mineraliska produkter av processavfall ska öka och avfallsmängder ska minska."

Vidare skrivs i uppdraget att:

"Återvinning och återutnyttjande är en av de mest energieffektiva åtgärderna som kan vidtas för att minska gruv- och mineralnäringens påverkan på miljön. Återvinningen av mineral och metaller kan och behöver öka. Detta gäller traditionella material, men i än högre grad för nya mer ovanliga metaller som är centrala för utvecklingen av framtidens energilösningar och där system för återvinning saknas."

Kartläggningen ska kopplas till Sveriges försörjningsbehov och därigenom ge en bild av vilka metall- och mineralråvaror som är att betrakta som kritiska ur en försörjningssynpunkt. I regeringsuppdraget beskrivs också att kartläggningen ska för de olika metall- och mineraltillgångarna redovisa svensk fyndpotential samt om utvinning eller återvinning sker i Sverige. Analysen ska särskilt beakta EU:s pågående arbete med att identifiera för Europa kritiska metaller och mineral och genomförandeplanen för EU:s innovationspartnerskap för råvaror samt knyta an till det totala försörjningsbehovet av metaller och mineral inom Europa. Resultatet ska kunna utgöra en delmängd av de underlag som behövs för att stimulera till en effektivare användning av svenska metall- och mineralresurser.

SGU och Naturvårdsverket bad ett antal industriella aktörer och forskare om översiktliga underlag till kartläggningen:

1. Vilka metaller och mineral är möjliga att återvinna och från vilka källor? Fokusera redogörelsen på de kommersiellt intressanta metallerna plus kandidatmaterial enligt bifogad lista som är underlaget för att ta fram Sveriges kritiska metaller och mineral

2. Från vilka källor är det möjligt att återvinna? Deponier, industrideponier för branschspecifikt avfall, rivningsskrot, elektronikskrot, urban mining, ur särskilda varuströmmar (gruvavfall ingår inte).

Avdelningen Miljösystemanalys (ESA) på Chalmers ombads att undersöka särskilda varuströmmar och att göra en översiktlig kunskapssammanställning över de svenska svaren på dessa frågor. Andra aktörer ombads undersöka deponier och elektronikskrot, urban mining, industrideponier vid stål och metallsmältverk, stålindustrins användning av kritiska metaller i färdiga produkter, innehåll i olika typer av stålskrot samt gjuteribranschens användning av kritiska metaller.

SGU och Naturvårdsverket har upprättat en lista över de kandidatmineral och -metaller (fortsättningsvis kallade kandidatmaterial) som i möjligaste mån ska betraktas i studien, se Tabell 1. Med *kandidatmaterial* menas sådana material som är kandidater att pekas ut som kritiska för Sverige. I denna rapport går vi inte närmare in på begreppen kritikalitet och kritiska material. Litteraturstudien refererar dock till ett antal publikationer om kritikalitet och kritiska material som vi hänvisar till. Vi går inte heller in på varför och i vilket tidsperspektiv kandidatmaterialen är potentiellt kritiska för Sverige utan hänvisar till SGU och Naturvårdsverket arbete.

Tabell 1. Kandidatmaterial som i möjligaste mån ska beaktas i utredningen i studien

Kandidatmaterial	
Aluminium	Magnesit
Antimon	Magnesium
Beryllium	Mangan
Bly	Molybden
Bor	Nickel
Dolomit	Niob
Ferrokisel	Olivin
Flusspat	Palladium
Fosfat	Platina
Gallium	Rhenium
Germanium	Scandium
Gips	Selen
Grafit	Silver
Guld	Sällsynta jordartsmetaller – tunga (HREE)
Hafnium	Sällsynta jordartsmetaller – lätta (LREE)
Indium	Tantal
Järn	Tellur
Kalksten (höggradig)	Tenn
Kobolt	Titan
Koks	Vanadin
Koppar	Vismut
Krom	Volfram
Litium	Zink

1.2. Syfte, omfattning och metod

Mot ovanstående bakgrund är denna studie en översiktlig kunskapssammanställning inom två områden: (1) användning av kandidatmaterialen i produkter och branscher och (2) befintliga återvinningsmöjligheter av kandidatmaterialen. Speciell hänsyn tas till svenska förhållanden, d.v.s. i möjligaste mån länka till behovet av kandidatmaterial i svenska branscher och produkter och de återvinningsmöjligheter som finns i Sverige. På förhand är det dock känt att den kunskap som finns att tillgå sannolikt är mer generell, varför det bara i begränsad utsträckning går att fånga det som är specifikt för Sverige. Med utgångspunkt från listan över kandidatmaterial, besvaras följande frågor så långt som möjligt inom ramen för studien:

1. Vilka produkter respektive branscher har behov av kandidatmaterialen? Vad gäller idag och vad kan förväntas gälla på sikt, d.v.s. med hänsyn till förväntade framtida produkter?

2. Vilka återvinningstekniker finns tillgängliga för kandidatmaterialen idag? Vilka produkter och avfallsströmmar återvinns eller kan återvinnas i dessa tekniker? Finns teknikerna i industriell, test- eller labskala?

Studien är i huvudsak en litteraturstudie som utgår från publikt tillgängliga publikationer, såsom vetenskaplig litteratur och andra rapporter. Fokus är på särskilda varuströmmar och att göra en översiktlig kunskapssammanställning över de svenska svaren på de två frågorna. Eftersom det finns få publikationer som kan ge underlag för att ge de svenska svaren, kompletteras litteraturstudien med några mindre analyser för att belysa de svenska förhållandena.

Begreppet ”särskilda varuströmmar” har vi använt brett och därför sökt efter kunskap om kandidatmaterialens användning i alla slags produkter och även i branscher. De produkter och branscher som slutligen presenteras i denna studie är i stort ett resultat av den tillgängliga litteraturens omfattning. Vi har även valt ut två varuströmmar och studerat dem något djupare: elektriska och elektroniska produkter (EEE) och bilar. ESA arbetar sedan ett antal år med användning och återvinning av knappa material i bilar och kan därför ge kvantitativa svenska svar på frågorna kring bilar.

Vissa djupstudier kring varu-, material- och avfallsströmmar görs i andra studier i SGU:s och Naturvårdsverkets uppdrag, där deponier och elektronikskrot, urban mining, industrideponier vid stål och metallsmältverk, stålindustrins användning av kritiska metaller i färdiga produkter, innehåll i

olika typer av stålskrot samt gjuteribranschens användning av kritiska metaller undersöks.

Rapporten inkluderar alla kandidatmaterial utom bly, dolomit, ferrokisel, olivin och vismut, eftersom informationen om dessa visat sig saknas i de källor vi använt oss av, se nedan.

Huvudsakliga källor

Mängden publikationer som behandlar användning och återvinning av några eller många av kandidatmaterialen har ökat under senare år. De flesta publikationer är dock fortfarande relativt övergripande, vilket också är tydligt i den information vi kan redovisa i rapporten. Vi skulle välkomna fler studier om användning av kandidatmaterial i enskilda produktgrupper och branscher och också fler kunskapssammanställningar över återvinningsteknik. Några av de viktigaste källorna i vår studie har varit:

- EU-kommissionens två rapporter om kritiska råvaror för EU, där man i den senaste rapporten från 2014 identifierar 20 råvaror som kritiska. [1]

- UN International Resource Panel har publicerat flera rapporter om användning och återvinning av metaller samt om kritiska material. [2], [3], [4].

- Öko-institute, Tyskland, har publicerat flera rapporter på området. En för denna studie viktig rapport belyser kritiska material i framtidens hållbara teknologier samt deras återvinningspotential [5]. Öko-institute har även publicerat en omfattande rapport om återvinning av sällsynta jordartsmetaller [6].

- USGS, United States Geological Institute, sammanställer varje år information om material som är viktiga för den amerikanska ekonomin [7] och ger även ut publikationer om återvinningsläget [8].

- En av de stora återvinningsaktörerna i Europa, belgiska UMICORE, återvinner bl.a. elektronikskrot, katalysatorer och batterier och har tagit fram intressant material. [9], [10] [11] [12].

- Forskningsinstitutet EMPA, Schweiz, har publicerat innehållsrikt material på ämnet kritiska metaller och återvinning. [13] [14].

- Inom EU-projektet ”European Pathway to Zero Waste” har en rapport publicerats kring möjligheterna att på ett hållbart sätt använda kritiska material [15]. Rapporten fokuserar på Storbri-

tannien, men innehåller även generella delarna som använts som bakgrundsmaterial i vår rapport.

Rapporten är författad på svenska eftersom regeringsuppdraget ska avrapporteras på svenska.

2. ANVÄNDNING AV KANDIDATMATERIAL

Kandidatmaterialen används inom ett stort antal områden. En noggrann kartläggning kräver detaljerad inblick i många industrisektorer, tillverkningsprocesser och produktkategorier, varianter av dessa och hur de förändras över tid. I enstaka fall finns detaljerad information publikt tillgänglig. I detta kapitel redovisar vi därför översiktligt nuvarande användning av kandidatmaterialen. Vi gör också en mycket översiktlig analys av vilka kandidatmaterial som kan antas vara relativt sett ekonomiskt viktiga för Sverige.

2.1. Nuvarande användning

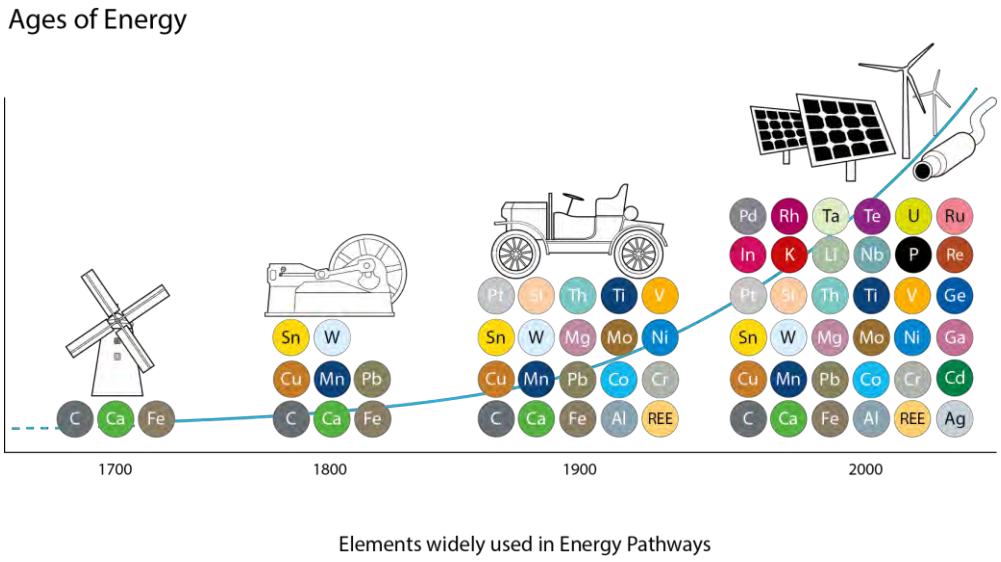
Användningen av kandidatmaterialen har utgått från både produktkategorier och industriella branscher. Indelningen ger en överblick över materialens betydelse för det moderna samhället. Den är också en konsekvens av hur informationen presenteras i tillgängliga källor. En liknande struktur används i andra mindre omfattande översikter [10]. Notera att indelningen kan överlappa varandra. Exempelvis omfattar elektronik både slutprodukter till användare (t ex datorer) och komponenter som ingår i andra produkter (t ex elektronik i ett motorfordon). Resultatet av kartläggningen sammanställs i Tabell 2. Därefter beskrivs användningen av varje material i mer detalj.

För varje material har de viktigaste användningsområdena markerats med utgångspunkt från andelen av total konsumerad vikt. Med ”huvudsaklig användning” (röd cell) menas det största enskilda användningsområdet för materialet, om ett sådant kan pekas ut. Storleken på andelen för dessa varierar mellan olika grundämnen, 40 – 100 % av total använd vikt. ”Viktiga” användningsområden (blå cell) är betydande, men ändå tydligt mindre än den huvudsakliga användningen. Dessa skiljer sig åt mellan olika material och varierar mellan 5 och 40 % av total använd vikt. ”Huvudsaklig användning” och ”viktig användning” står tillsammans för 75 till 100 % av den totala användningen för respektive material. ”Mindre omfattande användning” (grå cell) är sådan som är förekommer, men i mycket mindre omfattning än de två föregående. ”Ingen användning” (vit cell) betyder att vi inte har identifierat att användning förekommer för närvarande.

En av huvudkällorna till kartläggningen är EU-kommissionens rapport om kritiska råvaror från 2014 [1]. Uppgifterna avser därför europeiska och inte svenska förhållanden. I många fall är dock de europeiska uppgifterna uppskattningar som egentligen motsvarar global eller amerikansk användning eftersom det är sådana uppgifter som finns att tillgå. Redovisningen gäller nuvarande användning, där vi har använt så nya källor som möjligt.

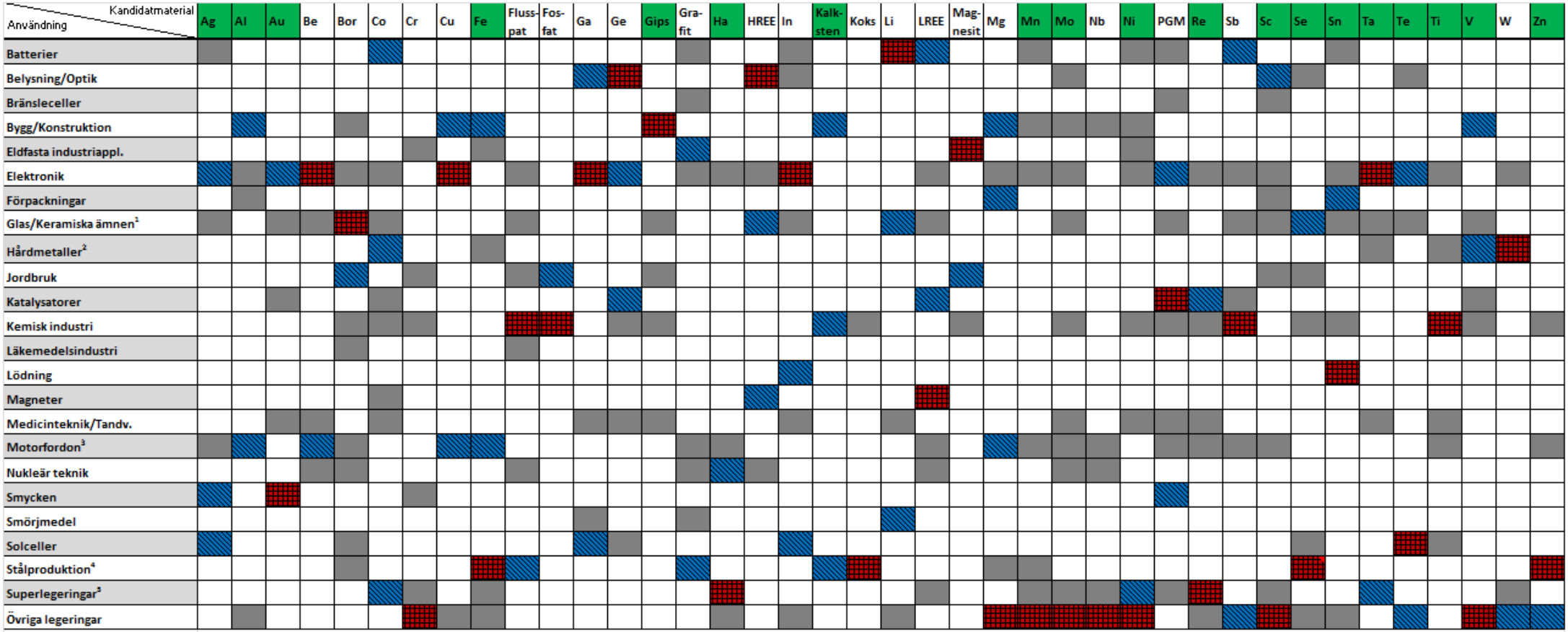
Det är inte möjligt att redovisa alla uppgifter för ett och samma år eftersom sådant underlag saknas.

Eftersom många av materialen används i nyare produkter och tekniker som ökar eller skulle kunna öka i användning är det viktigt att skilja på nuvarande betydelse och framtida tänkbar betydelse. De flesta kandidatmaterialen är även utpekade som kritiska för EU (grön markering), vilket innebär att man förväntar sig en ökad användning av stor ekonomisk betydelse för EU [1]. Bland de förväntade och i många fall önskvärda förändringar som utpekas är ökad användning av ”miljöapplikationer” (t.ex. katalysatorer, vindkraft, solceller, elbilar, lågenergilampor) och ”high tech” (t.ex. platta skärmar, mobiltelefoner, kretskort) [1]. Detta bidrar till att utvecklingen av att allt fler material används i samhället fortsätter, se Figur 1.



Figur 1. Antalet ämnen som används vid energiframställning har ökat kraftigt de senaste århundradena. [16]. Reprinted by permission of [16]. Copyright 2014 BP p.l.c.

Tabell 2. Användning av kandidatmaterialen. RÖD = huvudsaklig användning, BLÅ = omfattande användning, GRÅ = mindre omfattande användning. Vita celler innebär att användning inte identifierats. Grönmarkerade material är icke- kritiska för EU enligt EU-kommissionen [1]. Förkortningar som inte är kemiska beteckningar på grundämnen förklaras i avsnittet Förklaringar.



Aluminium (Al)

Aluminium används framförallt inom bygg- och transportbranscherna. Dess låga vikt i förhållande till styrka bidrar till att minska energianvändningen i olika fordon (bilar, tåg, båtar, cyklar etc.). I byggbranschen används aluminium då det är hållbart, eldtåligt, har litet skötselbehov samt är flexibelt när det kommer till designval. Aluminium är också vanligt i förpackningar. Andra användningsområden är som del i elteknik, mekanisk utrustning, kontorsutrustning, hushållsmaskiner, belysning, kemikalier och läkemedel. [1]

Antimon (Sb)

Antimon används i små mängder som tillsats i olika material, t.ex. som legering. Antimon används framförallt som flamskyddsmedel i plast-, gummi- och textilprodukter. Det används också i bly-syra-batterier i bilar. Antimon tjänar också som katalysator i produktion av PET-plast och vid tillverkning av glas och keramik. [1, 17]

En relativt liten andel antimon används i halvledare och mikrokondensatorer [17], men är en viktig beståndsdel i vissa elektroniska produkter, såsom mobiltelefoner [15].

Beryllium (Be)

Beryllium har ett stort antal användningsområden. På grund av dess höga pris används dock mycket små mängder i de enskilda produkterna [15]. Beryllium används främst som legering i koppar vilket ger ett material med extrem resistans mot korrosion och slitage samt tålighet mot stora temperaturvariationer. Det har även mycket bra ledningsförmåga och används därför i elektronik och telekommunikation, men också i industriella applikationer. På grund av sitt höga pris används beryllium främst i rymd- och militära applikationer. Beryllium är genomskinligt för röntgenstrålning och är därför användbar i vissa medicinska tillämpningar. [1]

Beryllium används även i kärnkraftsindustrin [15] och vid försök att ta fram reaktorer för kontrollerad fusion [1].

Bor (B)

Bor används framförallt i glas och glasfiber (isolering), keramiska produkter och inom jordburket som närings- och konserveringsämne. Bor används också i hushållskemikaler, flamskyddsmedel för timmer, kontrollstavar i kärnkraftverk samt i kosmetika och läkemedel [1]. Presshärdat borstål kan användas i bilar med syfte att bygga lätt utan att förlora styrka [18].

Flusspat (Kalciumfluorid CaF_2)

Ungefär två tredjedelar av konsumtionen av flusspat används i tillverkning av fluorvätesyra, ett ingångsmaterial vid produktion av i princip alla fluorbärande kemikalier inklusive bland annat viktiga läkemedel och jordbrukskemikalier [7, 19]. Flusspat används också tillverkning av stål-, aluminium- och glas [1], [17].

Fosfat

Av fosfat tillverkas främst gödningsmedel för jordbruket och fodertillskot för djur. Fosfat används även i disk- och tvättmedel. Fosfat används också för att göra ren fosfor vilket bland annat används som tillskott i mat, men också i industriella applikationer. [7]

Gallium (Ga)

Gallium formar kemiska föreningar med goda halvledaregenskaper, t.ex. GaAs (galliumarsenid) och GaN (galliumnitrid). Dessa föreningar används framförallt i elektroniska produkter som integrerade kretsar (IC) och mikrochip samt LED-belysning, laserdioder och annan optoelektronisk utrustning. Gallium används även tillsammans med koppar, indium, och diselenid i CIGS, en särskild typ av tunnfilmssolceller [1], [17]. Gallium passar även som smörjmedel i högtemperatursapplikationer [20]. Användningen av gallium förväntas öka, särskilt vad det gäller användning i LED-applikationer och solceller [1].

Germanium (Ge)

De viktigaste användningsområdena för germanium är fiber- och IR-optik samt katalysatorer i polymerproduktion [17]. Ett annat viktigt användningsområde är solceller [1]. Germanium används även som halvledare i olika elektroniska komponenter. Andra användningsområden är metallurgi, kemoterapi samt i fosforer [1, 7].

Gips (Kalciumsulfat $CaSO_4$)

Gips används framförallt i byggmaterial (90 %). Det används också i cementproduktion för att fördröja stelningsprocessen. Gips används även inom jordbruket som jordförbättringsegenskaper. Utöver detta används små mängder gips i modellformar och tandvårdsapplikationer. [1]

Grafit (naturlig)

Grafit används i ett stort antal applikationer. Det viktigaste användningsområdet är inom ståltillverkning, gjutning och eldfast industri. Dessa utgör tillsammans mellan 55 och 80 % av användningen [17]. Grafit används även i bildelar och i smörjmedel. En annan viktig användning som kan komma att öka är som anodmaterial i många batterityper. Grafit har en viktig roll i elektriska motorer i grafitborstar för elektrisk överföring. Ett användningsområde som kan komma att öka mycket kraftigt är grafen, ett material som tros kunna få en mycket stor användning i ett stort antal områden. [1]

Guld (Au)

Smycken och dekorativa produkter står för ungefär hälften av guldanvändningen. En stor del används också i den finansiella sektorn som investeringsobjekt, såsom mynt och guldtackor [21], men denna användning har exkluderats i studien. Guld används även ofta som kontaktmaterial elektroniska produkter för dess kombination av korrosionstålighet och god led-

ningsförmåga, då i små kvantiteter. Guld används också i legeringar till kablar för kommunikation och informationsöverföring. Dessutom används guld som ytskikt på olika substrat, t.ex. metaller, glas, keramik eller plast, för att stärka materialets motståndskraft mot yttre påverkan. Gulds egenskaper som katalysator studeras, men det är ännu inget betydande användningsområde. [1]

Hafnium (Hf)

Den största användningen av hafnium är i nickelbaserade superlegeringar i rymdapplikationer och industriella gasturbiner. En annan viktig användning av hafnium är i kontrollstavar i kärnkraftverk. Därutöver används hafnium bl.a. i eldfasta keramiska material, mikrochip och som munstycke i verktyg för plasmaskärning. [1]

Indium (In)

Indium används framför allt i elektriskt ledande så kallade ITO-beläggning till tunna skärmar i t.ex. tv-apparater, mobiler och instrumentpaneler i bilar (56 %). Indium används också som lödningsämne i blyfri lödning, en användning som tros öka på grund av striktare restriktioner mot bly som lödningsämne i många länder [1]. Indium används även i elektroniska komponenter och halvledare [7]. En annan potentiellt mycket viktig användning i CIGS-solceller [10].

Järn (Fe)

98 % av den järnmalm som bryts används i stålproduktion. De viktigaste användningsområdena för stål är bygg-, fordon-, maskinindustri samt tillverkning av ledningsrör. Resterande 2 % används i bl.a. cementproduktion, produktion av djurfoder och i eldfasta material. [1]

Kalksten (höggradig)

För många industriella tillämpningar används höggradig kalksten antingen som mald kalciumkarbonat (GCC), efter anrikning av kalkstenen, eller omvandlad till bränd kalk (CaO). Stora mängder låggradig kalksten, som inte är ett kandidatmaterial, används som aggregat i bygg- och cementindustrin.

Höggradig kalksten har många olika användningsområden. Omkring 20 % används som fyllmedel i modern betong, i form av GCC. Användningen av GCC som filler och pigment i pappersindustrin är i samma storleksordning. Både GCC och bränd kalk används som flux (slaggbildare) i metallförädling, framför allt av stål (20 %), men även av zink, bly, koppar och antimon. GCC används i plaster, gummi, latex, färg, i annan kemisk industri, för rökgasrening och vatten- och avloppsbehandling. GCC och delvis även släckt kalk används för att förbättra jordkvaliteten, t.ex. som gödningsmedel inom jordbruket och för att öka pH-värdet i försurad mark. Det används också i djurfoder. [1]

Kobolt (Co)

Användningen av kobolt har förändrats mycket de senaste 10 åren. Idag är de främsta användningsområdena batterier (23 %) och superlegeringar (21 %) [5]. Kobolt används även i hårdmetall till verktyg för bearbetning av metall (11-14 %) [17]. Kobolt är också en viktig katalysator i kemiska processer inom industrin för olja och gas samt inom plast- och kemikalieindustrin [1]. Kobolt används till viss del som pigment i t.ex. glas, vilket ger färgen ”koboltblå” [17]. Användingen av kobolt förväntas öka i framtiden på grund av ökad efterfrågan på kobolt till vissa typer av batterier som kan användas i exempelvis elbilar och i biotekniska applikationer [1].

Koks

Den huvudsakliga användningen av koks är som bränsle i stålverk. Koks används också i aluminiumförädling, papperstillverkning samt i kemikalie- och läkemedelsindustrierna. Biprodukter från koksdrivna ugnar kan användas för att utvinna kemikalieprodukter som ammoniumsalter, salpetersyra och gödningsmedel till jordbruk. [1]

Koppar (Cu)

Koppar används framförallt i elektriska ledningar, såväl på infrastrukturnivå som på hushållsnivå och i elektriska motorer. Koppar används även i VVS-system. Koppar och kopparlegeringar är även viktiga i transportsektorn och kan bli ännu viktigare om el- och hybridbilar får större marknadsandelar. Andra applikationer är värmeelement samt glidlager och andra smidda delar i industrin. [1]

Krom (Cr)

Det största användningsområdet (88 %) är som legeringsämne i rostfritt stål. Därtill kommer legeringar i annat stål (9 %). Basmineralet kromit används även i eldfast industri. [1]

Litium (Li)

Litium används i laddningsbara så kallade litium-jon-batterier för att driva elektroniska apparater såsom mobiltelefoner, bärbara datorer och kameror. Många anser att litium-jon-batterier kommer att vara förstahandsvalet för batterier till el- och hybridbilar under en överskådlig framtid [22]. Batterier står för närvarande ca 25 % av den globala konsumtionen av litium. Andra användningsområden är bl.a. glas och keramik, smörjmedel och läkemedel. [1, 5]

Magnesit ($MgCO_3$)

Magnesit används framförallt (84 %) för produktion av magnesiumoxid som i sin tur används i eldfast industri (t.ex. stål och cementproduktion). Andra användningsområden för magnesit är inom jordbruket och inom miljöteknik. [1]

Magnesium (Mg)

Magnesium används i aluminiumlegeringar (40 %) huvudsakligen inom konstruktion samt i motorfordon och förpackningar. Magnesium används även i formgjutna lättviktsdelar (40 %) främst i bilar, men även i t.ex. laptops och mobiltelefoner kan också innehålla magnesium. Dessutom används magnesium som avsvavlingsagent vid ståltillverkning. [1, 17]

Mangan (Mn)

Den största användningen av mangan är som reduktions- och avsvavlingsagent i produktion av stål, koppar och nickel (90 %). [2] Det är även vanligt att stål och aluminium legeras med mangan [18]. Mangan används i lättviktskonstruktioner för t.ex. bilar och flygplan och i exempelvis mikrokondensatorer och litium-mangan-batterier [1].

Molybden (Mo)

Molybden har många användningsområden. Den största användningen är som legeringsämne i stål för applikationer som kräver god hållfasthet, korrosionsresistans och tålighet för höga temperaturer [23]. Molybden används även i superlegeringar [7]. Exempel på användningsområden för molybden är i pipelines för olja och gas, bilar och maskiner i processindustri [1].

Nickel (Ni)

Den största användingen av nickel är i rostfritt stål (61 %). Nickel används även i olika superlegeringar, både med och utan järn (10 respektive 12 % av total användning). Legeringen kopparnickel används i mynt. En annan användning är förnickling av t.ex. medicinteknisk utrustning och elektroniska komponenter [1]. Nickelhaltigt material används inom transportindustrin, elektronik, oljeindustrin, kemisk industri och byggbranschen [7]. Nickel används även i katodmaterial i NiMH-batterier.

Niob (Nb)

Den främsta användningen av niob är som legeringsämne i höghållfast HSLA-stål för viktreduktion av bilar och i speciallegeringar för flygindustrin (85 %). Niob används också i superlegeringar [7]. Andra mindre applikationsområden är magneter, supraledare, smycken, termometrar, kondensatorer och katalysatorer [1].

Platina-gruppen

Till platinagruppen (PGM) hör de sex ädelmetallerna: platina (Pt), palladium (Pd), rhodium (Rh), rutenium (Ru), iridium (Ir) och osmium (Os). Det största användningsområdet är i katalysatorer i bilar (drygt 50 % av PGM). Andra viktiga applikationer är i industriella katalysatorer, glastillverkning, tandvårdsapplikationer samt smycken [5]. PGM används även i elektronik (kretskort och keramiska kondensatorer). I framtiden tros bränsleceller, superlegeringar och organiska LED-lampor kunna blir viktiga applikationer för PGM [1]. På grund av sitt höga ekonomiska värde används PGM som

investeringsobjekt på samma sätt som guld. Sådan användning har dock exkluderats från denna rapport.

Palladium (Pd)

Palladium används huvudsakligen i katalysatorer för bensinmotorer i bilar (70 %). Palladium används även i elektroniska produkter (13 %), kemiska katalysatorer (6 %) och i tandvårdsapplikationer (6 %). [1]

Platina (Pt)

Platina används som katalysator i diesel-motorer (40 %), i smycken (36 %) och i industriella applikationer (24 %). Den industriella användingen omfattar bland annat kemisk industri, elektronik, glasindustri, oljeindustri och medicinska tillämpningar. [1]

Rhodium (Rh)

Rhodium används nästan uteslutande som katalysator, framförallt i bilkatalysatorer för att minska NO_x-utsläpp (80 %). Rhodium används även som katalysator i kemisk industri och i fiberglas-produktion. [1]

Rutenium (Ru), iridium (Ir) och osmium(Os)

Rutenium används i elektronik, speciellt i hårddiskar och som katalysator i kemiska/elektrokemiska processer. Iridium används i elektrokemi, i deglar för odling av monokristallina kristaller och i tändstift. Osmium har ingen stor industriell betydelse, men används ibland som katalysator.[2]

Rhenium (Re)

Den största användingen av rhenium är i superlegeringar, vilka har god styrka vid höga temperaturer [7] och används främst inom rymdteknik och i industriella gasturbiner [1]. Rhenium används även som katalysator inom olje- och gasindustrin och till viss del i olika typer av elektroniska produkter [7]. Rhenium används även i vissa medicintekniska tillämpningar [10].

Scandium (Sc)

Scandium tillsätts som legering för att öka styrkan hos aluminium i exempelvis sportutrustning och rymdteknik. Scandium används också i högintensiv belysning, såsom kvicksilverlampor till TV-kameror samt dopingsämne i fastoxidbränsleceller (SOFC). [1, 17]

Selen (Se)

Den viktigaste användningen av selen är i manganproduktion (40 %). Selen används även som tillsats i visst stål och koppar (10 %), i glasproduktion som färgpigment och avfärgningsmedel (25 %) och i CIGS-solceller. Andra användningsområden är inom jordbruket, i kemisk industri, vismutlegeringar, optisk elektronik och som koststillskott för människor. [1, 24]

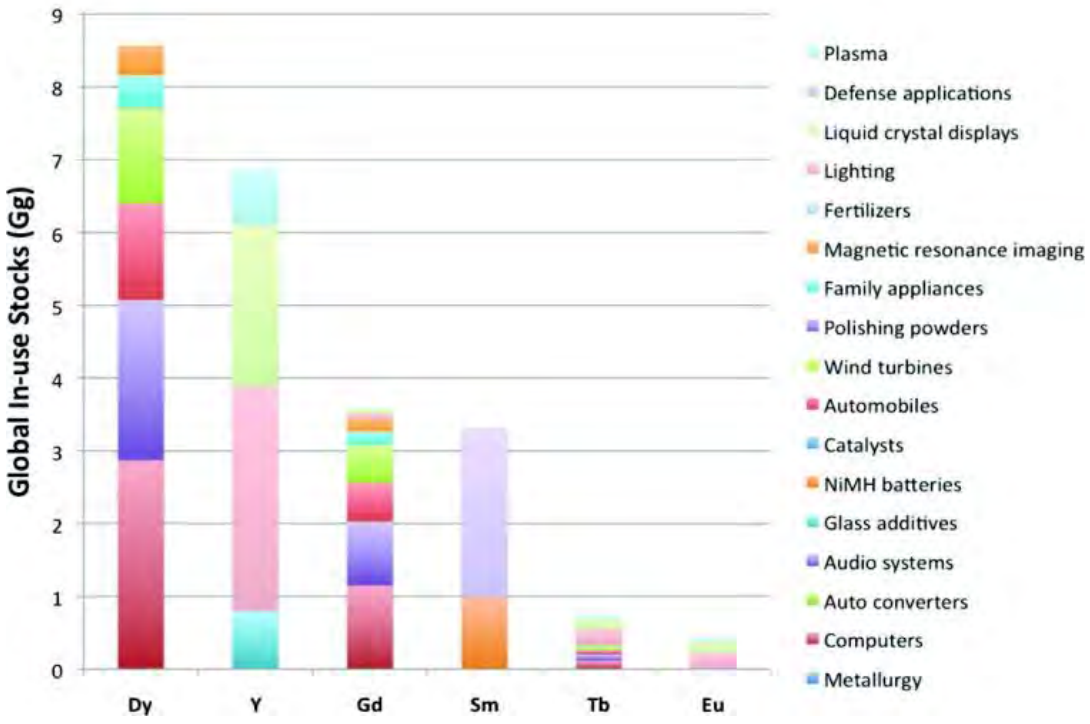
Silver (Ag)

Silver är en mycket god elektrisk ledare och används därför i ledningar och elektroniska komponenter. Silver används även som ledare i kiselbaserade solceller. Andra användningsområden är mynt, smycken, dekorationsföremål och bordsilver. [1]

Sällsynta jordartsmetaller, tunga (HREE)

I EU-kommissionens arbete kring kritiska material definieras följande grundämnen som HREE: europium, gadolinium, terbium, dysprosium, erbium, yttrium, holmium, tulium, ytterbium och lutetium [1]. Andra definitioner förekommer dock.

HRRE används i en rad olika områden, framförallt i fosforiserande belysning och polering av glas, se Figur 2. Andra användningsområden är fiberoptik, laserteknik, keramik-tillverkning och magneter. Magneterna används i ett stort antal applikationer från små elektroniska apparater, till industriella motorer, hårddiskar, elektriska motorer och generatorer i vindturbiner. Magneter tros bli en viktig framtida applikation av HRRE. [1]



Figur 2. Tunga sällsynta jordartsmetaller i användning globalt (Gg = kton) [25] Reprinted by permission of [25]. Copyright 2013 Elsevier B.V.

Europium (Eu)

Europium används framförallt i fosforer (96 %) och är viktiga i lampor som bygger på CFL- och LED-teknik samt i videoskärmar. Europium används även för neutronabsorption i kärnkraftsindustrin samt i ett färgämne som

förhindrar förfalskning av sedlar [1, 26]. Det är ett betydande underskott på europium på världsmarknaden, vilket väntas bestå [1].

Gadolinium (Gd)

Gadolinium används främst i tre applikationsområden: magneter (35 %), metallurgi (28 %) och fosforiserande material (23 %). Gadolinium används även till viss del i mikrovågsteknisk apparatur och för att förbättra bildkvaliteten vid MRI-scanning [26]. Gadolinium används även i nukleär teknik och till viss del inom medicinteknik [1].

Terbium (Tb)

Terbium används främst i fosforescerande belysning och energisnåla lampor (71 %). Andra viktiga användningsområden är magneter (24 %) och till viss del speciallegeringar [1]. Terbium kan också användas i bränsleceller [26]. Det är ett betydande underskott på terbium på världsmarknaden, något som också väntas bestå [1].

Dysprosium (Dy)

Dysprosium används främst i Nd-Fe-B-magneter (98 %). Andra användningsområden är laser och nukleär teknik. Dysprosium anses vara ett särskilt kritiskt material för EU på grund av det ökade behovet av permanentmagneter till bland annat vindkraft och elbilar i kombination med att brytningen sker nästan uteslutande (99 %) i Kina [1].

Erbium (Er)

Den största användningen av erbium är i glasindustrin (72 %). Fosforescerande material är en annan viktig användning (25 %). Erbium används även inom laserteknik och nukleär teknik [1].

Yttrium (Y)

De två stora användningsområdena för yttrium är fosforer i belysning och skärmar (79 %) samt keramiska ämnen till elektroniska komponenter (21 %). Yttrium används också i speciallegeringar och laserteknik [1]. En annan användning är som tillsats i glas och keramiska material [17]. En ny typ av vindturbiner, som är under utveckling, bygger på supraledningsteknik och innehåller yttrium. Yttrium kan också användas i katalysatorer. Yttrium kan även komma att användas i elektrolyten i fastoxidbränsleceller (SOFC) [6].

Holmium (Ho), tulium (Tm), ytterbium (Yb) och lutetium (Lu)

Huvudsaklig användning:

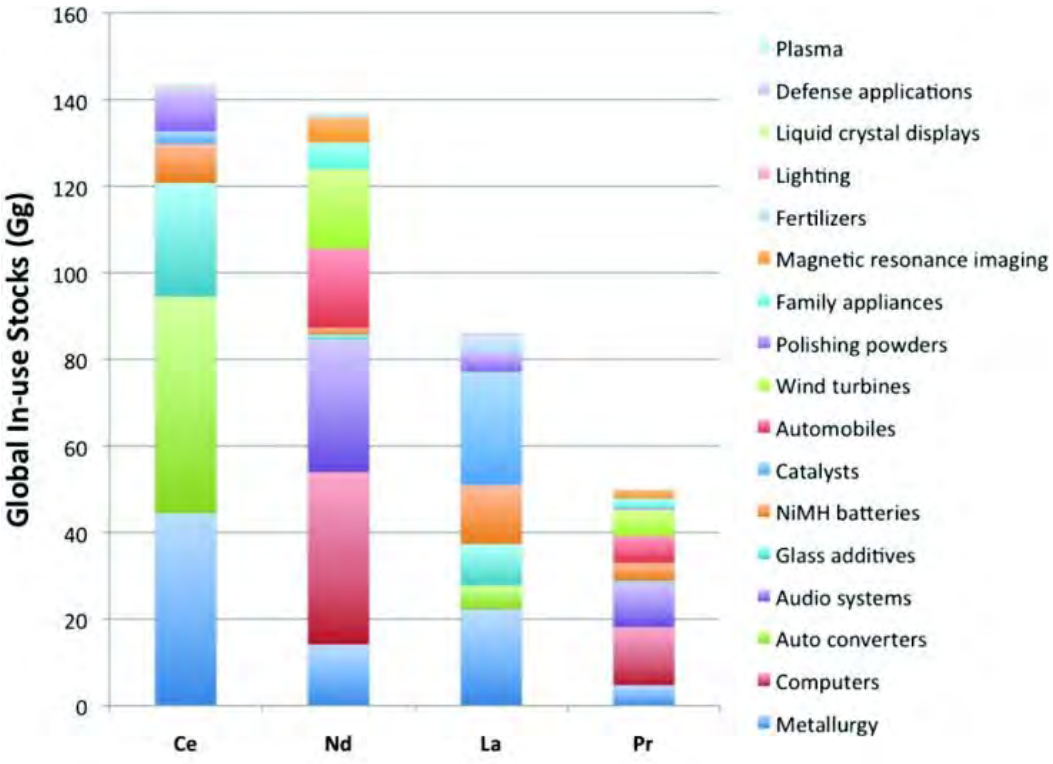
- Holmium (Ho): pigment, glasinfärgning, laserteknik, nukleär teknik. [1, 27]
- Tulium (Tm): inga kommersiella användningsområden ännu, men glasindustri, fosforer och fiberoptik kan i framtiden använda sig av tulium [1]. Tulium kan också användas i medicinsk röntgenutrustning [28].

- Ytterbium (Yb): fiberoptik, laserteknik, PV, spänningsmätare [1] och stållegeringar [28].
- Lutetium (Lu): fosforer, PET detektorer (positronemissionstomografi), glasindustri och flytande katalytisk krackning (FCC) i oljeraffinaderier [1, 28].

Sällsynta jordartsmetaller, lätta (LREE)

I EU-kommissionens arbete kring kritiska material definieras följande grundämnen som LREE: lantan (La), cerium (Ce), praseodym (Pr), neodym (Nd) och samarium (Sm) [1]. Andra definitioner förekommer dock.

LRRE används i en rad olika områden, se Figur 3, framförallt i permanentmagneter (främst neodym), batterier (NiMH) (främst lantan), bilkatalysatorer samt i glastillverkning och vid polering. [1] [26] Andra användningsområden är som tillsats i stål och som katalysator i oljeraffinaderier. [1]



Figur 3. Lätta sällsynta jordartsmetaller i användning globalt (Gg = kton) [25]. Reprinted by permission of [25]. Copyright 2013 Elsevier B.V.

Lantan (La)

De viktigaste användningsområdena för lantan är i katalysatorer i flytande katalytisk krackning (FCC) i oljeraffinaderier (44 %), NiMH-batterier (26 %), metallurgi (10 %) och glas (5 %). Andra användningsområden är bilkatalysatorer, polering, fosforer, keramiska material, gödningsmedel, algbekämpningsmedel, pigment i plast och cement. [1, 26]

Cerium (Ce)

De främsta användningsområdena för cerium är i poleringsämnen för glas (36 %), metallurgi (19 %), bilkatalysatorer (13 %) och som tillsats i glastillverkning (12 %). Cerium används även i batterier, flytande katalytisk krackning (FCC) i oljeraffinaderier, andra katalysatorer, fosforer, keramiska material, gödningsmedel, vattenrening, färg och beläggningar. [1]

Praseodym (Pr)

Praseodym används främst i Nd-Fe-B magneter (73 %). Andra viktiga applikationer är fosforescerande ljus, keramiktillverkning, glasinfärgning och metallurgi. Dessutom används praseodym i poleringsämnen och i förstärkare i optiska fibrer. [1, 26] Praseodym används även till viss del i bilkatalysatorer [28].

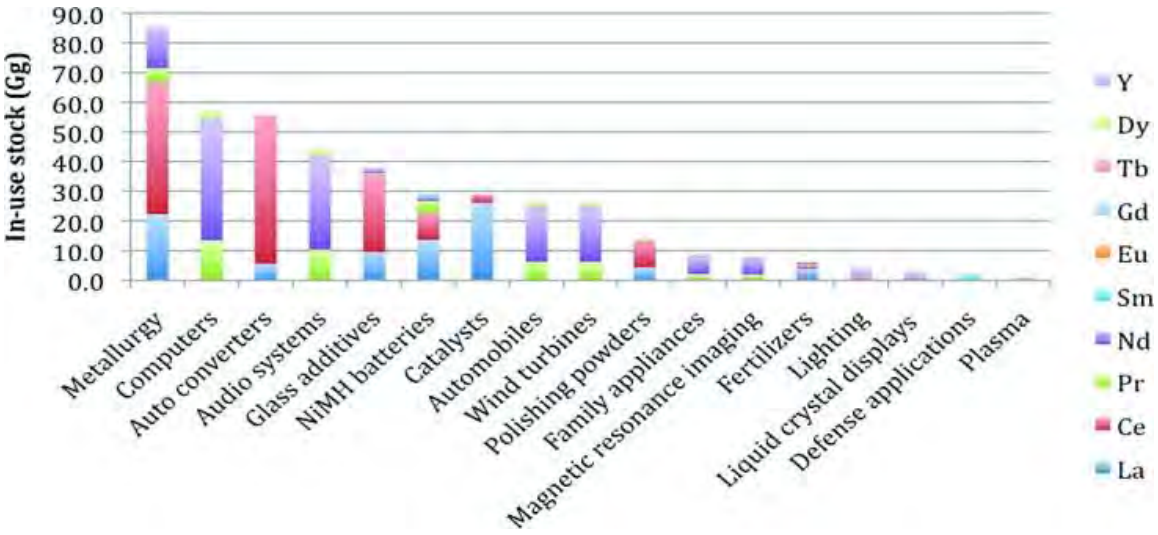
Neodym (Nd)

Neodym används främst i Nd-Fe-B-magneter (89 %), vilka används i ett stort antal olika applikationer: små elektroniska apparater, industriella motorer, hårddiskar, elektriska motorer och generatorer i vindturbiner. Uppskattningsvis 14 % av marknaden för vindturbiner använder neodymmagneter [6]. Andra mindre användningsområden är metallurgi, bilkatalysatorer, polering, glastillsatser, fosforescerande ljus, laser och tillverkning av keramiska material [1]. Neodym används även till viss del i katalytisk krackning i oljeraffinaderier [27]. En framtida användning för neodym kan vara så kallad magnetisk kylning. Om denna kylningsmetod introduceras i större skala kommer betydande mängder neodym att behövas. Tekniken befinner sig dock fortfarande på forskningsstadiet [6].

Samarium (Sm)

Samarium används nästan uteslutande i samarium-kobolt-magneter (Sm-Co) (97 %) [6]. Dessa magneter har god värmetålighet och tros därför kunna bli viktiga för användning i motorer för snabbtåg. Samarium används även i kärnkraftsindustrin [1]. Samarium används även till viss del i katalysatorer och i belysning [26] samt i NiMH-batterier [17].

I Figur 4 redovisas användningen av tunga och lätta sällsynta jordartsmetaller för olika användningsområden



Figur 4. Tunga och lätta sällsynta jordartsmetaller i användning globalt (år 2007) (Gg = kton) [25]. "Metallurgy" innefattar främst legeringar i så kallad "misch metal". Notera att permanentmagneter ej redovisas separat utan som del av den slutprodukt de ingår i, t.ex. datorer. Reprinted by permission of [25]. Copyright 2013 Elsevier B.V.

Tantal (Ta)

Tantal används främst i elektroniska kondensatorer (40 %). Ett annat större område är superlegeringar med nickel och kobolt som används bl.a. i flygmotorer. Tantal har goda korrosionshämmande egenskaper och används därför i produktion av utrustning till kemisk industri. Tantal återfinns även i hårdmetaller, mediciner och specialglas. [1]

Tellur (Te)

De främsta användningsområdena för tellur är inom solcellsteknik (CdTe-celler), termoelektronik och som legeringsämne och tillsats i stål samt andra metaller, t.ex. koppar. Tellur används även vid bearbetning av gummi [1]. Tellur används även i specialglas för IR-teknik [29].

Tenn (Sn)

Drygt hälften av allt tenn används som lödning, främst i elektroniska komponenter. Denna användning har ökat i takt med ökade restriktioner kring bly-baserad lödning. Tenn är vanligt som beläggning på stål i förpackningar, bl.a. för livsmedel, och används också i kemisk industri, i legeringar såsom mässing och brons, i batterier samt vid tillverkning av fönsterglas [1].

Titan (Ti)

Den största användningen av titan är i pigment baserat på titanoxid (TiO_2), så kallat titanvitt (95 %). Pigmentet används i färg, plast och papper. Titan används även i lättviktsdelar inom rymdteknik, hårdmetaller, färgsensibiliserade solceller, mikrokondensatorer, svetselektroder, avsaltningsteknik, medicinska implantat och pacemakerkapslar. [1]

Vanadin (V)

Vanadin används främst som legeringsämne i stål, men även i icke-järnhaltiga legeringar. Slutprodukter för vanadin-legeringar är oftast inom konstruktion eller som verktygstål, men kan också vara i rymdteknik, batterier, militära applikationer och motordelar. Vanadinpentaoxid (VaO_5) används som katalysator i produktion av glas och keramik. [1]

Volfram (W)

Volfram används framförallt i hårdmetall baserad på volframkarbider (WC) (60 %). Hårdmetallerna används i verktyg för bearbetning av sten och metall. Volfram används även som legeringsämne i stål, superlegeringar och volframlegeringar. Volframlegeringar används i ett stort antal applikationer, bl.a. belysning, elektronik, högtemperaturteknik, svetsning, gnistbearbetning (EDM), flyg-och rymdfarkoster, vapen och laserteknik. [1, 30]

Zink (Zn)

Zink används främst för att galvanisera stål (50 %). Zink finns även i zink-legeringar (17 %) och i andra legeringar så som mässing och brons (17 %). Zink används även till pressgjutning, främst inom bilindustrin, och till viss del i kemikalier. [1, 31]

2.2 Användning i Sverige

I detta avsnitt presenteras en mycket översiktlig analys där målet är att indikera betydelsen av kandidatmaterialens användning för Sveriges ekonomi. Vi poängterar att analysen är mycket översiktlig och skulle välkomna mer omfattande och detaljerade studier kring användningen och dess betydelse för Sverige.

Användningen av kandidatmaterialen sker antingen i form av råvaror, färdigt material eller produkter (halvfabrikat eller slutprodukter). Det finns ingen statistik som samlar alla former av användning. Vår analys bygger därför på två olika typer av statistik: utrikeshandel och varuproduktion. Med ledning av dessa och kartläggningen i avsnitt 2.1 försöker vi indikera sådana material som kan antas vara relativt sett mer betydelsefulla eller undanta sådana som kan antas vara relativt sett mindre betydelsefulla. Analysen utgår från nuvarande betydelse för Sveriges ekonomi. Detta kan naturligtvis skilja sig från vad som är betydelsefullt på längre sikt och för enskilda branscher och individuella företag.

Utrikeshandel med kandidatmaterial

Import och export av kandidatmaterial till och från Sverige hämtas från FNs databas för handel med råvara, Comtrade [32]. Comtrade använder kategoriseringssystemet HS för att dela upp olika produkter och råvaror. Vi har sökt ut data för handel med råmaterial och halvfabrikat som tydligt kan

kopplas till något av kandidatmaterialen. Däremot har vi inte sökt ut data för handel med färdiga produkter eftersom det skulle krävas en mycket mer omfattande analys för att koppla dessa till innehållet av kandidatmaterial. Sannolikt är det en mängd kandidatmaterial som inte fångas. Enligt SCB:s materialflödesräkenskaper består 26 viktsprocent av importen och 27 viktsprocent av exporten till och från Sverige av färdiga produkter [33], men eftersom användningen av kandidatmaterial per produkt är okänd, går det inte att avgöra om det är mer eller mindre än 27 respektive 26 viktsprocent av kandidatmaterialen som inte inkluderats.

I Comtrade redovisas import och export i ekonomiskt handelsvärde, i nominella amerikanska dollar (USD), d.v.s. utan justering för inflation.[1] I följande avsnitt redovisar vi identifierade HS-kategorier med värde för import respektive export över 10 miljoner USD år 2013. En komplett förteckning över de HS-kategorier som inkluderats i analysen av svensk utrikeshandel av kandidatmaterialen presenteras i Appendix. Av de kandidatmaterial som ingår i denna studie saknas HS-kategorier och följaktligen data för beryllium, gallium, germanium, hafnium, indium, kobolt, rhenium, tellur och vismut.

Import till Sverige

Enligt Comtrade översteg det ekonomiska värdet av importen av järn, aluminium, koppar respektive nickel 400 miljoner USD år 2013, se Tabell 3. Därefter följer import av zink, molybden, litiumceller och -batterier, titan respektive guld till ett värde mellan 50 och 100 miljoner USD. Ytterligare 7 HS-kategorier importerades till ett värde över 10 miljoner USD. Importvärdena för alla HS-kategorier som inkluderats presenteras i Appendix. Observera att kategorierna är en mix av råvaror och förädlade varor i form av material och halvfabrikat.

[1] I de fall växelkurserna rapporterats i nationell valuta till Comtrade beräknas handelsvärdena i USD för import och export separat genom att väga den officiella månatliga växelkursen med den månatliga import- respektive exportvolymen.

Tabell 3. Import av råvara och halvfabrikat av råvara till Sverige till ett värde större än 10 miljoner USD under 2013 (värde i USD) [32]

	HS category	Quantity Unit Code	Net weight (kg)	Trade Value (USD)
1	Iron and steel	No Quantity		4.36E+09
2	Iron or steel (articles of)	No Quantity		3.17E+09
3	Aluminium and articles thereof	No Quantity		1.43E+09
4	Copper and articles thereof	No Quantity		1.40E+09
5	Copper ores and concentrates	No Quantity		5.79E+08
6	Nickel and articles thereof	No Quantity		4.43E+08
7	Zinc and articles thereof	No Quantity		9.39E+07
8	Molybdenum ores and concentrates.	Weight in kg	5987177	8.95E+07
9	Lithium (Primary cells and primary batteries.)	Number of items	12153059	7.33E+07
10	Titanium and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	2119542	5.44E+07
11	Gold (including gold plated with platinum) unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	1470	5.01E+07
12	Silver (including silver plated with gold or platinum), unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	49827	4.02E+07
13	Coke and semi-coke of coal, of lignite or of peat, whether or not agglomerated; retort carbon.	Weight in kg	98898000	3.47E+07
14	Magnesium and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	3695646	1.30E+07
15	Manganese and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	4862426	1.27E+07
16	Platinum, unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	502	1.26E+07
17	Tungsten (wolfram) and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	420173	1.25E+07
18	Gypsum; anhydrite; plasters	Weight in kg	3,32E+08	1.16E+07

Export från Sverige

Enligt Comtrade översteg det ekonomiska värdet av exporten av järn, aluminium respektive koppar 1700 miljoner USD år 2013, se Tabell 4. Därefter följer, guld, silver, bly respektive nickel till ett värde mellan 100 och 800 miljoner USD och titan, zink, volfram respektive kalksten till ett värde mellan 10 och 100 miljoner USD. Exportvärdena för alla HS-kategorierna som inkluderats presenteras i Appendix. Observera att kategorierna är en mix av råvaror och förädlade varor i form av material och halvfabrikat.

Tabell 4. Export av råvara och halvfabrikat av råvara till Sverige till ett värde större än 10 mil joner USD under 2013 (värde i amerikanska dollar) [32]

	HS category	Quantity Unit Code	Net weight (kg)	Trade Value (USD)
1	Iron and steel	No Quantity		6.57E+09
2	Iron or steel (articles of)	No Quantity		2.95E+09
3	Iron ores and concentrates, roasted iron pyrites	Weight in kg	2.35E+10	2.94E+09
4	Aluminium and articles thereof	No Quantity		1.75E+09
5	Copper and articles thereof	No Quantity		1.74E+09
6	Gold (including gold plated with platinum) unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	15512	7.29E+08
7	Silver (including silver plated with gold or platinum), unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	445563	3.42E+08
8	Zinc ores and concentrates	Weight in kg	3.33E+08	2.41E+08
9	Nickel and articles thereof	No Quantity		1.41E+08
10	Titanium and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	996866	4.59E+07
11	Zinc and articles thereof	No Quantity		3.29E+07
12	Tungsten (wolfram) and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	571679	1.88E+07
13	Limestone flux; limestone and other calcareous stone, of a kind used for the manufacture of lime or cement.	Weight in kg	1582310676	1.85E+07

Svensk varuproduktion

Som ett komplement till statistiken för utrikeshandel med råvaror och halvfabrikat, presenteras också statistik för svensk industris varuproduktion. Statistiken presenteras i produktgrupper efter det internationella produktkategoriseringssystemet Kombinerad Nomenklatur (KN). Tabell 5 visar de produktkategorier med produktionsvärde som översteg 20 miljarder kronor år 2012 [34]. Tillsammans utgör dessa 80 % av det totala produktionsvärdet 2012. I Appendix redovisas alla produktgrupper.

Tabell 5. Industrins varuproduktion 2007-2012: produktionsvärden i miljoner SEK för kapitel över 20 miljarder kronor år 2012. Värde i löpande priser sorterat på produktionsvärde år 2012 i fallande ordning [34]

Kapitel	Beskrivning	2007 [Mkr]	2008 [Mkr]	2009 [Mkr]	2010 [Mkr]	2011 [Mkr]	2012 [Mkr]	2012 [%]
84	Kärnreaktorer, ångpannor, maskiner, apparater och mekaniska redskap; delar till sådana varor	218 705	222 971	163 636	181 569	207 273	193 118	14.2
87	Fordon, andra än rullande järnvägs- eller spårvägsmateriel, samt delar och tillbehör till fordon	211 068	187 192	107 753	143 668	175 101	150 545	11.1
27	Mineraliska bränslen, mineraloljor och destillationsproduk-ter av dessa; bituminösa ämnen; mineralvaxer	78 595	109 250	84 616	103 095	116 043	137 008	10.1
48	Papper och papp; varor av pappersmassa, papper eller papp	92 211	92 568	89 994	92 404	95 592	88 481	6.5
85	Elektriska maskiner och apparater, elektrisk materiel samt delar till sådana varor; apparater för inspelning eller återgivning av ljud, apparater för inspelning eller återgivning av bilder och ljud för television samt delar och tillbehör till sådana apparater	135 776	136 591	119 137	126 226	81 634	70 254	5.2
72	Järn och stål	97 892	94 184	54 520	78 658	85 010	70 132	5.2
44	Trä och varor av trä; träkol	76 969	67 785	63 220	69 819	69 091	65 198	4.8
30	Farmaceutiska produkter	48 942	41 219	54 924	52 224	50 242	46 422	3.4
73	Varor av järn eller stål	48 730	49 052	38 019	40 475	44 724	43 360	3.2
94	Möbler; sängkläder, madrasser, resårbottnar till sängar, kuddar och liknande stoppade inredningsartiklar; belysningsarmatur och andra belysningsartiklar, inte nämnda eller inbegripna någon annanstans; ljusskyltar, namnplåtar med belysning; monterade eller monteringsfärdiga byggnader	50 417	50 145	38 149	41 794	45 019	41 429	3.1
39	Plaster och plastvaror	44 238	43 638	38 329	35 542	37 669	35 315	2.6
26	Malm, slagg och aska	22 088	26 370	16 518	36 018	39 394	35 137	2.6
90	Optiska instrument och apparater, foto- och kinoapparater, instrument och apparater för mätning eller kontroll, medicinska och kirurgiska instrument och apparater; delar och tillbehör till sådana artiklar	35 546	35 371	35 254	33 484	31 115	28 419	2.1
2	Kött och ätbara slaktbiprodukter	18 584	20 762	21 727	21 616	22 411	22 982	1.7
47	Massa av ved eller andra fibrösa cellulosahaltiga material; papper eller papp för återvinning (avfall och förbrukade varor)	22 860	22 689	19 371	25 581	23 370	21 487	1.6
19	Beredningar av spannmål, mjöl, stärkelse eller mjölk; bakverk	18 780	20 437	20 475	20 480	21 052	21 210	1.6
74	Koppar och varor av koppar	21 083	20 879	15 656	21 845	23 149	20 923	1.5

Produktkategorierna i Tabell 5 jämförs med kandidatmaterialens användningsområden i Tabell 2 för att analysera om några kandidatmaterial kan antas vara mer betydande för svensk varuproduktion. Detta resulterade i att vi identifierade 11 betydande produktkategorier som direkt kan kopplas till 16 användningsområden, se Tabell 6. Tillsammans stod dessa 11 produktkategorier för 64 % av produktionsvärdet 2012.

Tabell 6. Jämförelse mellan betydande produktkategorier i industrins varuproduktion med berörda användningsområden för kandidatmaterial

Betydande produktkategorier med tänkbar direkt användning av kandidatmaterial (urval från Tabell 5)	**Berörda användningsområden för kandidatmaterial (urval från Tabell 2)**
a) Kärnreaktorer, ångpannor, maskiner, apparater och mekaniska redskap; delar till sådana varor b) Fordon, andra än rullande järnvägs- eller spårvägsmateriel, samt delar och tillbehör till fordon c) Mineraliska bränslen, mineraloljor och destillationsprodukter av dessa; bituminösa ämnen; mineralvaxer, d) Elektriska maskiner och apparater, elektrisk materiel samt delar till sådana varor; apparater för inspelning eller återgivning av ljud, apparater för inspelning eller återgivning av bilder och ljud för television samt delar och tillbehör till sådana apparater e) Järn och stål f) Farmaceutiska produkter g) Varor av järn eller stål h) Möbler; sängkläder, madrasser, resårbottnar till sängar, kuddar och liknande stoppade inredningsartiklar; belysningsarmatur och andra belysningsartiklar, inte nämnda eller inbegripna någon annanstans; ljusskyltar, namnplåtar med belysning; monterade eller monteringsfärdiga byggnader i) Plaster och plastvaror j) Malm, slagg och aska k) Optiska instrument och apparater, foto- och kinoapparater, instrument och apparater för mätning eller kontroll, medicinska och kirurgiska instrument och apparater; delar och tillbehör till sådana artiklar l) Koppar och varor av koppar	1. Batterier 2. Belysning/optik 3. Elektronik 4. Hårdmetaller 5. Katalysatorer 6. Kemisk industri 7. Läkemedelsindustri 8. Lödning 9. Magneter 10. Medicinteknik/tandvård 11. Motorfordon 12. Nukleär teknik 13. Smörjmedel 14. Stålproduktion 15. Superlegeringar 16. Övriga legeringar

Under förutsättning att våra antaganden är rimliga om vilka betydande produktkategorier som direkt kan kopplas till användningsområden, har vi därmed kunnat undanta 5 av de betydande produktkategorierna från Tabell 5 och 8 av användningsområdena från Tabell 2.

Undantagna produktkategorier:

- Papper och papp; varor av pappersmassa, papper eller papp
- Trä och varor av trä; träkol
- Kött och ätbara slaktbiprodukter
- Massa av ved eller andra fibrösa cellulosahaltiga material; papper eller papp för återvinning (avfall och förbrukade varor)
- Beredningar av spannmål, mjöl, stärkelse eller mjölk; bakverk

Undantagna användningsområden:

- Bränsleceller
- Bygg/konstruktion
- Eldfasta industriapplikationer
- Förpackningar
- Glas/keramiska ämnen
- Jordbruk
- Smycken
- Solceller

De undantagna produktkategorierna utgjorde sammanlagt 16 % av det svenska produktionsvärdet 2012. Det är dock troligt att åtminstone några av dessa är *indirekt beroende* av kandidatmaterial, eftersom de använder råvaror eller halvfabrikat från andra användningsområden. Ett exempel kan vara användningsområdena Förpackningar, Elektronik och Stålproduktion, vilka används indirekt i det allra flesta produktkategorier. Ett annat exempel kan vara användningsområdet Jordbruk, vilket behövs indirekt i de undantagna produktkategorierna ”Kött...” och ”Beredningar av spannmål...”.

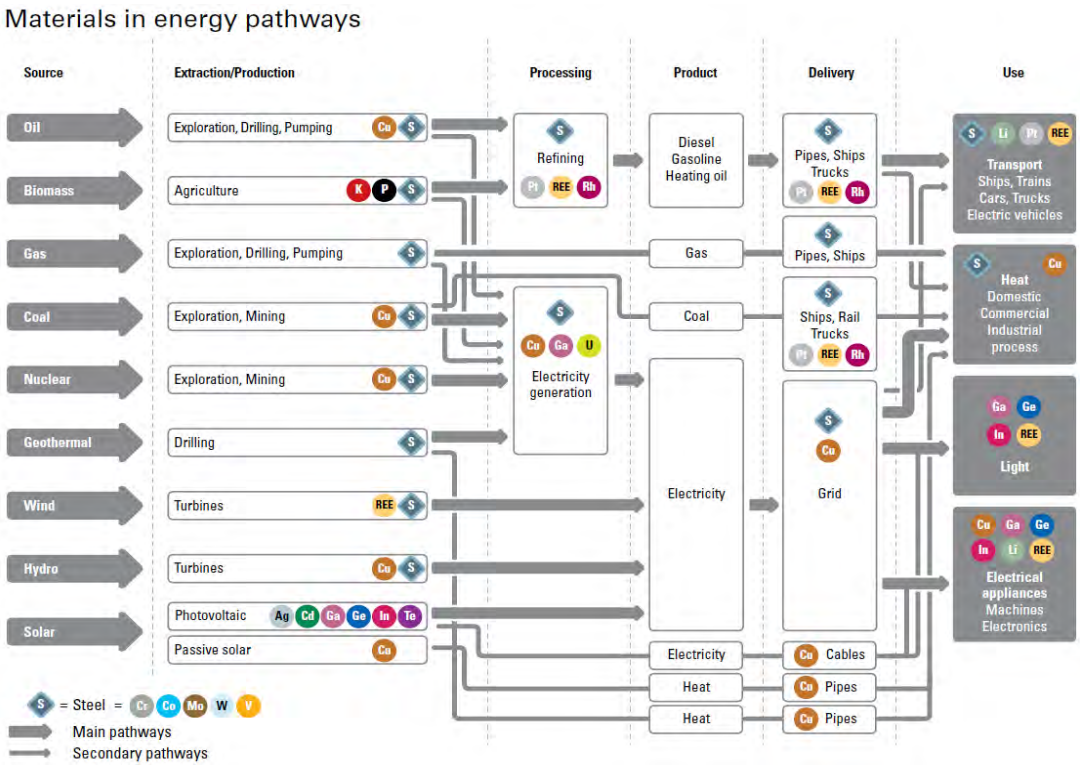
Det är viktigt att poängtera att analysen endast bygger på *betydande produktion av varor med KN-kod* och inte på betydelse i ekonomin som helhet. Exempelvis fångas varken den privata eller offentliga tjänstesektorns direkta eller indirekta användning av kandidatmaterial och inte heller branscher som har betydande ekonomisk omsättning, men inte omfattande produktion av varor med KN-koder, som exempelvis Bygg/konstruktion.

Utifrån vår analys är det uppenbart, och knappast förvånande, att kandidatmaterialen järn, aluminium och koppar har stor betydelse för svensk ekonomi.

Områden med lägre betydelse för närvarande skulle möjligen kunna vara bränsleceller, smycken och solceller. Kandidatmaterial som används i dessa är bor, gallium, germanium, grafit, guld, indium, krom, PGM, scandium, selen, silver, tenn och titan (se Tabell 2). Bara guld och tenn har sin huvudsakliga användning inom dessa områden (se Tabell 2). Men eftersom användningen av guld och tenn samtidigt är omfattande inom andra områden, kan de inte enkelt antas ha låg betydelse för svensk ekonomi. Vår slut-

sats är därför att vi inte kan identifiera några kandidatmaterial med tydligt lägre betydelse för svensk ekonomi.

Sammanfattningsvis konstaterar vi att det är inte är möjligt att, inom ramen för denna studie, dra några starka slutsatser om kandidatmaterialens betydelse för svensk ekonomi, med undantag från de mest uppenbara om basmetallerna järn, aluminium och koppar. Vi skulle välkomna mer fördjupade studier i frågan. Då vore det angeläget att också tydligt adressera både direkt och indirekt användning av kandidatmaterial. Figur 5 kan få illustrera att oavsett perspektiv kommer den indirekta användningen vara omfattande och bör ingå i en sådan analys.

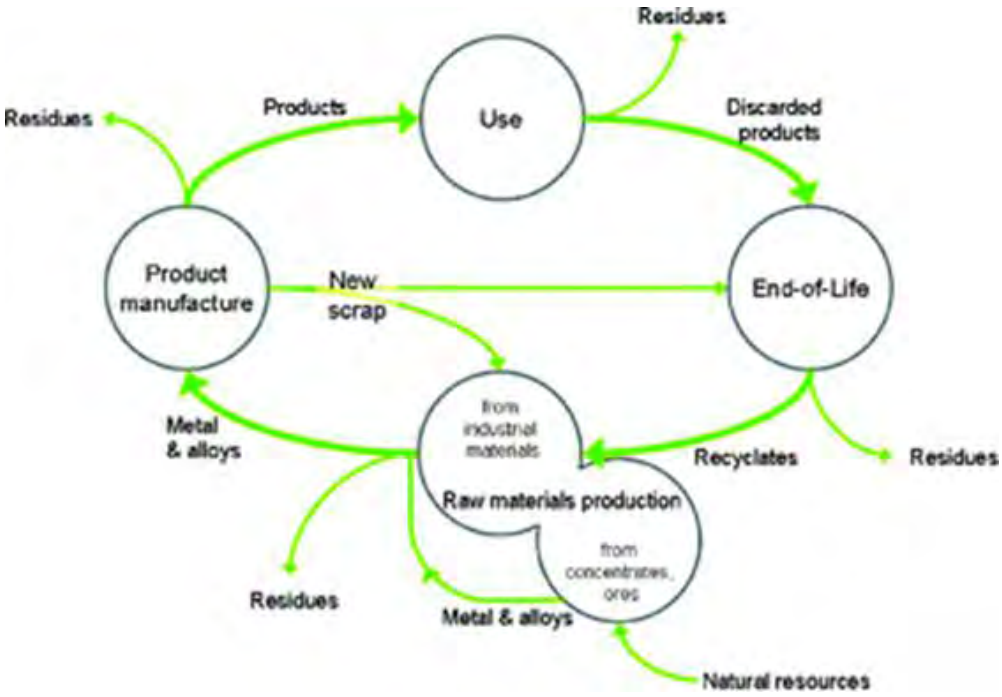


Figur 5. Materialanvändning i olika delar av energisystemet. [16] OBS alla kandidatmaterial ingår inte. Reprinted by permission of [16]. Copyright 2014 BP p.l.c.

3. ÅTERVINNING AV KANDIDATMATERIAL

3.1 Möjligheten att återvinna

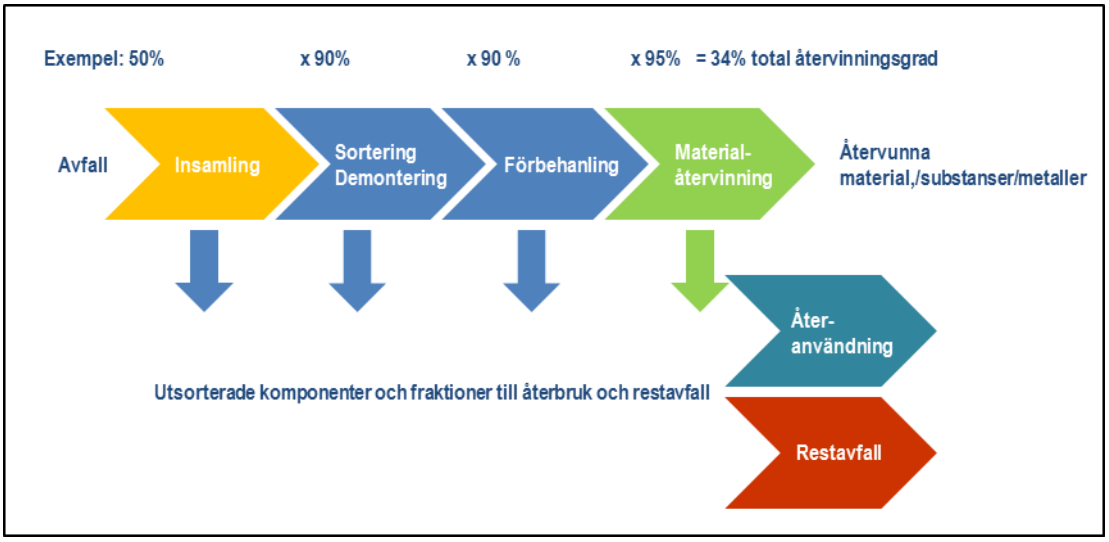
Möjligheten att återvinna ett visst material varierar väsentligt och beror på många faktorer. Tekniska förutsättningar, såsom tillgänglig återvinningsteknik, och ekonomiska förutsättningar, såsom priser på återvunnet material och insamlings- och behandlingskostnader, påverkar. De tekniska som ekonomiska förutsättningarna påverkas också av produktdesign, såsom materialkombinationer, separeringsmöjligheter och materialkoncentrationer i varje enskild produkt liksom de totala volymerna och koncentrationerna i de avfallsströmmar som den uttjänta produkten samlas in i. Återvinningssystemen och den organisation och policy som stödjer dem är i många fall utformade utifrån ett produktperspektiv och inte ett materialperspektiv (t.ex. producentansvaret för förpackningar, elektronik och fordon). Det har också betydelse om materialet genereras som produktions- eller konsumtionsavfall, se Figur 6. Produktionsavfall är generellt sett mer fördelaktigt att återvinna eftersom man har bättre kontroll över innehåll och kvalitet och inte heller har blandat det med annat avfall. I många fall kan produktionsavfall skickas direkt tillbaka till materialtillverkning i ett slutet kretslopp. Sammantaget gör dessa faktorer gör att möjligheten att återvinna skiljer sig åt *mellan kandidatmaterialen* men också *mellan olika produkter som innehåller ett visst kandidatmaterial*.



Figur 6. Avfall uppstår i alla faser i en produkts livscykel, här exemplifierat med en metalls livscykel. Konsumtionsavfall är uttjänta produkter som genereras efter att produkten använts (”Use” och ”End-of-life”) medan produktionsavfall uppstår i någon del av produktens tillverkning (”Raw material production” och ”Product Manufacture”). [35] Reprinted with permission from [35]. Copyright 2011 Yale University.

3.2 Återvinningsgrader

Återvinning inkluderar flera steg: insamling, sotering, demontering, förbehandling och materialåtervinning. Den totala återvinningsgraden beror på hur effektivt varje steg i kedjan är, se Figur 7.



Figur 7. Återvinningskedja omfattar flera steg: insamling, sortering, förbehandling och material-återvinning. Bearbetad från [36]

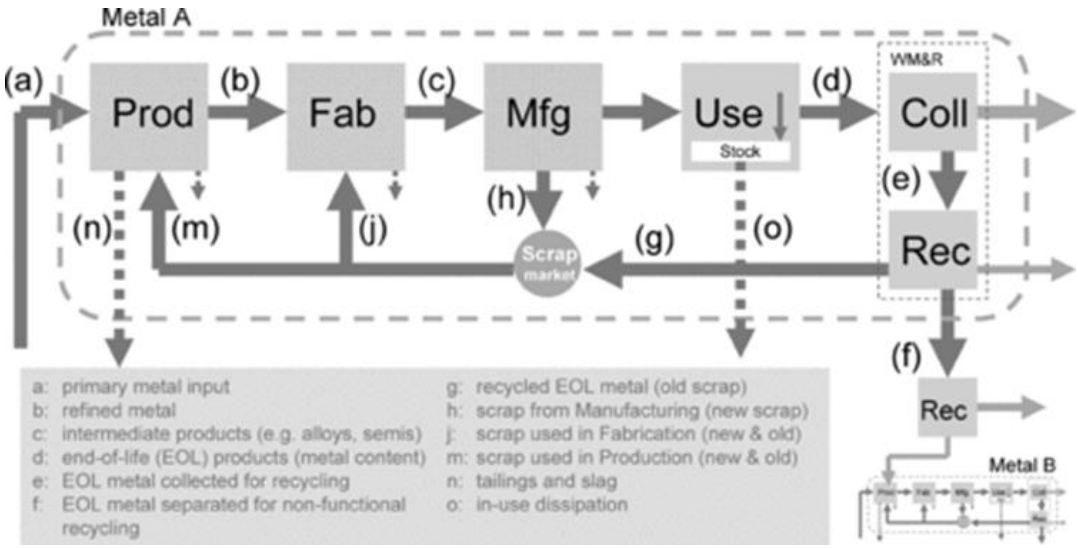
Återvinningsgraden, d.v.s. utbytet i återvinningen, kan mätas på olika sätt. Det är därför viktigt att vara tydlig med vilken slags återvinningsgrad man avser. UNEP Resource Panel definierar tre olika återvinningsgrader, se Figur 8 [2]:

1. EOL-RR (end-of-life recycling rate): hur stor del av avfallet från uttjänta produkter som återvinns
   EOL-RR = g/d (om funktionell återvinning)
   EOL-RR = f/d (om icke-funktionell återvinning)

2. EOL-RC (recycled content): hur stor del av konsumtionen som täcks av återvunnet material
   RC = (j+m)/(a+j+m)

3. EOL-OSR (old-scrap-collection rate): hur stor det av det återvunna materialet som kommer från uttjänta produkter som gått igenom hela sin livscykel och inte från produktionsspill.
   OSR = (g)/(g+h) = e/d

Ibland anges även återvinningsgrader eller utbyte över enskilda återvinningsprocesser: recycling process efficiency rate = g/e

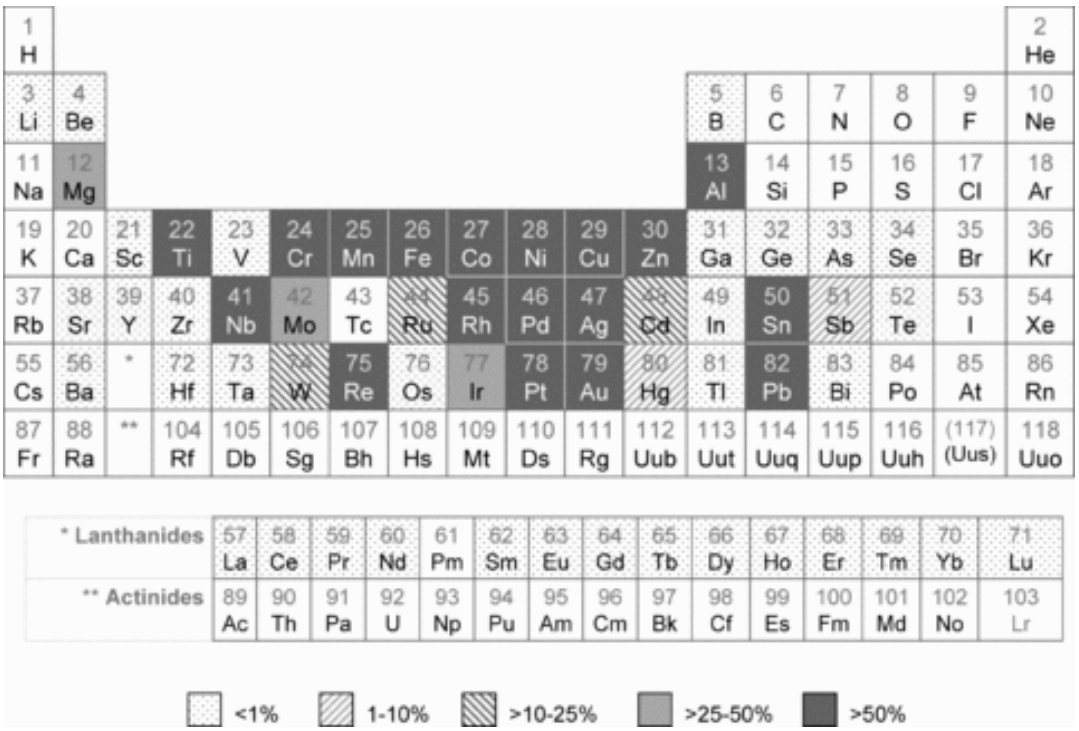


Figur 8. Förenklad livscykel för metaller för att illustrera hur olika återvinningsgrader beräknas [35] Reprinted with permission from [35]. Copyright 2011 Yale University.

3.3 Funktionell och icke-funktionell återvinning

Det är av stor betydelse att skilja mellan *funktionell* och *icke-funktionell* återvinning. Vid funktionell återvinning behålls de fysiska och kemiska egenskaperna som ett material ursprungligen designades för och används på nytt. Icke-funktionell återvinning resulterar i ett fullt användbart, men nedgraderat material, där de ursprungliga egenskaperna förlorats. Skillnaden är tydlig i definitionen av EOL-RR ovan.

Skillnaden mellan funktionell och icke-funktionell är särskilt viktig då det gäller återvinning av multimaterial. Multimaterial är sådana material som består av många olika material, kemiska föreningar eller grundämnen, t.ex. metallegeringar. Det är vanligt att man prioriterar att återvinna ett eller några få av de metaller som ingår, medan andra metaller följer med, men förlorar sin ursprungliga funktion. Ett exempel är de höghållfasta specialstål för fordon som efter återvinning ofta utnyttjas som mer lågvärdigt stål där legeringsmetallerna inte kommer till nytta eller förloras i slagg- eller gasfasen i stålverket. Järnet kan då sägas vara funktionellt återvunnet medan legeringsämnena är icke-funktionellt återvunna (såvida man inte återvinner dem från slaggen). I figur 9 visas den *funktionella återvinningsgraden efter konsumtion EOL-RR* för sextio metaller som grundämnen. Typiskt är återvinningsgraden högre för basmetaller som järn, koppar och aluminium än för legeringsmetaller som molybden och vanadin eftersom återvinningen av basmetallerna av olika skäl är prioriterade.



Figur 9. Global genomsnittlig funktionell återvinning efter konsumtion (EOL-RR) för metaller [35]. Reprinted with permission from [35]. Copyright 2011 Yale University.

I Figur 9 anges den genomsnittliga återvinningsgraden per material. Man har alltså gjort en sammanvägning av återvinningsgraderna för olika produkter som innehåller materialet. Ett exempel på ett material där återvinningsgraden skiljer sig markant mellan produktkategorier är guld: smycken och mynt 90-100%, industriella applikationer 70-90%, tandvård 15-20%, elektronik återvinns till 10-15 % och bilar och övriga 0-5% [2]. I genomsnittet vägs återvinningsgraderna för olika produkter mot produktkategorins andel av den totala användningen. Informationen om de produktspecifika möjligheterna att återvinna ett visst material faller alltså bort när återvinningsgraden presenteras aggregerad som i

Figur 9.

Metoder för återvinning av metaller

Många av kandidatmaterialen är metaller, som för närvarande kan återvinnas genom två huvudsakliga metoder: pyrometallurgisk och hydrometallurgisk återvinning.

Pyrometallurgisk återvinning (Smältning)

Pyrometallurgisk återvinning (smältning) innebär att metallen hettas upp till en hög temperatur (ibland över 2000 °C). Rent metallskrot, som bara innehåller det ämne eller ämnen man intresserad av att återvinna, kan smältas ned och återvinnas direkt. [4] Pyrometallurgiska separationsme-

toder bygger på att olika ämnen har olika fas vid olika temperaturer. Metallerna fördelar sig vid upphettning i tre faser: rökgas/stoftfraktion, smälta och slagg. Man försöker få så mycket som möjligt av den metallen man önskar återvinna att befinna sig i smältan. Smältan renas sedan vidare och man kan utvinna höghaltiga metaller. I Sverige är hela metallindustrin baserad på pyrometallurgiska processer [37]. För att återvinna komplexa produkter, till exempel elektroniskt avfall, baserar man återvinningsprocessen på några (två eller fler) s.k. ”bärarmetaller” såsom koppar, zink eller bly. [4] Bärarmetallen är i smält fas vid lämplig temperatur och de metaller man är intresserad av kan bilda legeringar med bärarmetallen. På så sätt får man en koncentrerad metallblandning som sedan behandlas ytterligare för att de enskilda metallerna skall kunna återvinnas. I vissa fall är det sista steget inte möjligt, eller inte ekonomiskt försvarbart, och slutprodukten i återvinningen blir istället en metallegering. Pyrometallurgiska metoder har vissa begränsningar när det gäller att separera metaller. Ofta behöver man därför komplettera med ett efterföljande hydrometallurgiskt processteg. [38]

Hydrometallurgisk återvinning (Urlakning)

Hydrometallurgiska separationsmetoder bygger på att metaller har olika löslighet i en vattenbaserad vätska, ofta en syra. Metallerna lakas ut med hjälp av lakningsagenten (vätskan) och anrikas sedan genom vätskeextraktion följd av en elektrolytisk process. [37] Hydrometallurgiska processer för återvinning av metaller ur elektronikskrot har många fördelar jämfört med pyrometallurgiska, bl.a. är de mer exakta, mer förutsägbara och enklare att kontrollera [38]. De senaste två decennierna har forskningen om nya hydrometallurgiska återvinningsmetoder för metaller i elektroniskt avfall varit intensiv. [38] Ett problem med hydrometallurgiska metoder kan vara att förlusterna av det material man vill återvinna är större. Det förlorade materialet, samt lakningsagenterna, hamnar dessutom i avloppsvattnet som måste efterbehandlas. [39]. Hydrometallurgiska processer används ofta som komplement till pyrometallurgiska processer, särskilt när det gäller att återvinna metaller som inte själva är ”bärarmetaller”. [4]

3.4 Nuvarande återvinning

I detta avsnitt redovisas översiktligt nuvarande återvinning av kandidatmaterialen med utgångspunkt från samma användningsområden som i Tabell 2. Resultatet av kartläggningen sammanställs i Tabell 7. Därefter beskrivs återvinningen av varje kandidatmaterial i mer detalj.

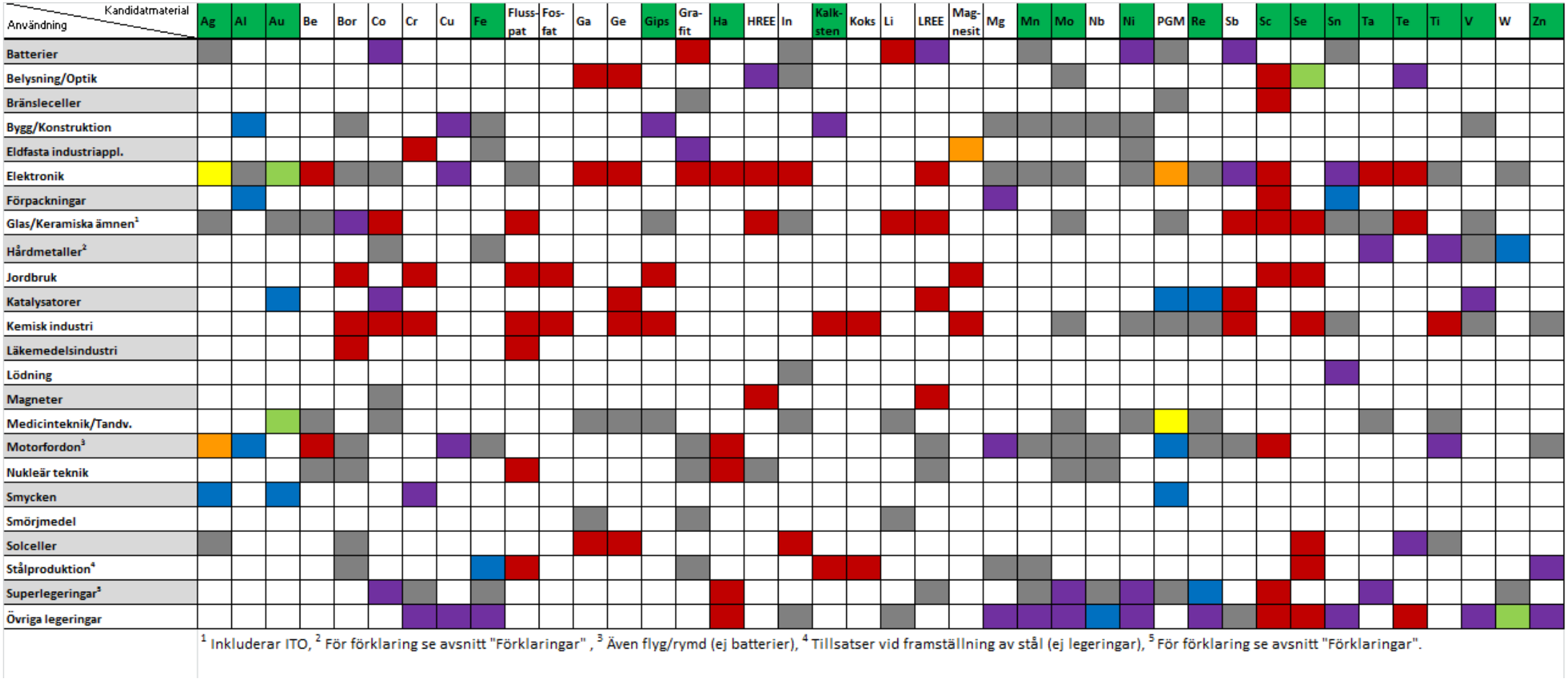
I Tabell 7 används ett antal färgkoder som visar återvinningsgraden (EOL-RR), d.v.s. *återvinning av uttjänt produkt efter konsumtion*:

- EOL-RR > 50 % (blå cell)
- EOL-RR 25 - 50 % (grön cell)

- EOL-RR 10 - 25 % (gul cell)
- EOL-RR 1 – 10 % (orange cell)
- EOL-RR < 1 % (röd cell)
- Återvinning förekommer, men tillförlitlig återvinningsgrad saknas (violett cell)
- Materialet används enligt Tabell 2, men information om att återvinning förekommer saknas (grå cell). I många fall innebär Grå färg att sannolikt att återvinning saknas.

I de allra flesta fall är återvinningsgraden i Tabell 7 ett *nuvarande globalt genomsnitt e*ftersom det är sådana uppgifter som finns att tillgå. Precis som i arbetet av UNEP Resource Panel är det funktionell återvinningsgrad vid återvinning av uttjänta produkter i konsumtionsavfall, EOL-RR, som presenteras. Detta innebär att återvinning av produktionsavfall inte ingår i tabellen utan bara i följande avsnitt där varje kandidatmaterial presenteras i mer detalj. För vissa material skiljer sig återvinningen av produktionsavfall och konsumtionsavfall stort. Ett exempel på detta är germanium, som återvinns till närmare 60 % från vissa typer av produktionsavfall, men där återvinningen av konsumtionsavfall är mycket låg. De material som används som tillsatser i tillverkning och förädling av andra material, kommer aldrig att ingå i en slutprodukt och har därför per definition noll i återvinningsgrad efter konsumtion. Ett exempel på detta är flusspat som är rödmarkerad i vår tabell men som återvinns till viss del från processer såsom oljealkylering, stålbetning och urananrikning.

Tabell 7. Återvinningsgrad EOL-RR (återvinning efter *konsumtion*) för olika kandidatmaterial per produktkategori. OBS Skilj mellan återvinning av konsumtions- och produktionsavfall. Färgkodning: BLÅ EOL-RR > 50 %, GRÖN EOL-RR 25 - 50 %, GUL EOL-RR 10 - 25 %, ORANGE EOL-RR 1 – 10 %, RÖD EOL-RR < 1 %, VIOLETT Återvinning sker, men i okänd omfattning, GRÅ Användning sker, men information om återvinning saknas. Grönmarkerade material är inte kritiska för EU [1]. Förkortningar som inte är kemiska beteckningar på grundämnen förklaras i avsnittet Förkortningar.



[1] Inkluderar ITO, [2] För förklaring se avsnitt "Förklaringar" , [3] Även flyg/rymd (ej batterier), [4] Tillsatser vid framställning av stål (ej legeringar), [5] För förklaring se avsnitt "Förklaringar".

Aluminium (Al)

Aluminium återvinns i stor skala. Återvinning av aluminium istället för brytning av nytt råmaterial kan bidra till energibesparingar på upp till 95 %. Återvinning är därför ekonomiskt fördelaktigt. Ungefär hälften av det aluminium -material som används i Europa idag har producerats av återvunnet material. [1], [2]

UNEP rapporterar en global EOL-RR för aluminium på över 50 %. Andelen återvunnet material av konsumerat aluminium globalt rapporteras vara ca 35 %. [2]

I Europa återvinns 63 % av aluminiumet i dryckesburkar och mer än 90 % från byggnader, konstruktionsmaterial samt bil- och transportindustrin. [40]

Antimon (Sb)

Återvinning av antimon från elektroniska produkter har varit svårt på grund av de små individuella flödena. Numera återvinner dock Umicore antimon med pyrometallurgisk teknik från elektroniskt avfall i sin anläggning i Hoboken [15]. Boliden återvinner endast antimon som legering med bly [41]. Processen för återvinning av antimon ur Pb-syra batterier är väletablerad, men användningen av dessa minskar [1, 15] UNEP rapporterar en global EOL-RR för antimon på över 1-10 %. Andelen återvunnet material av konsumerad antimon globalt rapporteras vara ca 10-25 %. [2]

Beryllium (Be)

Beryllium är i allmänhet svårt att återvinna på grund av den höga toxiciteten hos många kemikalier som det används i [15]. Man återvinner mycket av produktionsavfallet från beryllium-tillverkningen. Sådan återvinning står totalt för 30 % av konsumtionen enligt USGS [7]. Samma siffra uppskattas till 19 % av EPOW [15] och av UNEP till 10 – 25 % [2]. Vad gäller konsumtionsavfall är återvinningsgraden mycket lägre. UNEP rapporterar en EOL-RR under 1 %. [2] Om uttjänta produkter med berylliumlegerad koppar återvinns för kopparinnehållet, går beryllium ut i slaggmassan. Det är dock möjligt att tillvarata små mängder beryllium från slaggmassan genom förening med klor till $BeCl_2$. $BeCl_2$ kan användas t.ex. som katalysator i industri eller laboratorium [15].

Bor (B)

Bor återvinns inte i någon större utsträckning då det främst används i produkter som förbrukas vid användning (gödningsmedel, kemikalier och rengöringsmedel). EOL-RR uppskattas till under 1 % av UNEP [2]. Glas och keramik med bor får hög smälttemperatur och kan inte behandlas i vanlig glasåtervinning. Bor i keramiska material kan återvinnas till konstruktionsmaterial [1].

Flusspat (Kalciumfluorid CaF_2)

Flusspat används framförallt som ingångsmaterial vid tillverkning av fluorvätesyra och kan därför inte återvinnas. Lite kan dock återvinnas från urananrikning, oljealkylering och betning av rostfritt stål. Fluorvätesyra och fluorider återanvänds vid aluminiumproduktion [1]. Ett företag i Japan återvinner flusspat genom att reformera avloppsvatten [42]. Den totala återvinningsgraden (kvot mellan återvunnet material och total konsumtion) i EU uppskattades dock till under 1 % 2010 [43].

Fosfat

Fosfatmineral är inte återvinningsbar, ingen återvinning sker. [1, 7]

Gallium (Ga)

Det krävs mycket förädling av gallium innan den kan användas som halvledare. I förädlingsprocessen uppkommer stora mängder produktionsavfall, vilket tros kunna återvinnas till 90 %. Spill från CIGS-tillverkning återvinns också [1].

Totalt uppskattas andelen återvunnet material till 10-25 % av den totala galliumkonsumtionen. Mindre än 1 % gallium återvinns dock ur uttjänta produkter. Tekniken för att separera metallerna och därmed återvinna gallium från t.ex. kretskort existerar i princip i smältverk för elektroniskt avfall. Men på grund av den låga materialkoncentrationen i produkterna samt de ännu mycket små produktflödena på marknaden är återvinning fortfarande liten. [2] Molycorp säger sig kunna återvinna gallium ur CIGS. [44]

Ett sätt att öka återvinningsgraden av gallium kunde vara en kombinerad återvinningsindustri för tunna skärmar (LCD) och tunnfilms-solceller med syfte att öka materialflödet och därmed de ekonomiska incitamenten. [1]

Germanium (Ge)

Germanium i produktionsavfall återvinns i väletablerade processer. Till exempel återvinns 60 % av det germanium som används i produktion av optiska instrument. [1] Både hydrometallurgiska och pyrometallurgiska processer används. [45]

Germanium i kemiska katalysatorer för polymerisering förbrukas och kan därför inte återvinnas. Germanium i konsumtionsavfall återvinns i princip inte alls då de låga halterna gör det tekniskt och ekonomiskt svårt. Återvinning av germanium från konsumtionsavfall kan tänkas öka när EU direktiven för återvinning av elektroniskt avfall (WEEE) blir striktare. Fiberoptiska kablar skulle kunna vara en framtida källa till germanium. [5]

Gips (Kalciumsulfat $CaSO_4$)

Rent gips kan tekniskt sett återanvändas som likvärdiga produkter i ett slutet återvinningssystem. Det mesta avfall som innehåller gips är dock uppblandat med andra material och återvinns därför inte till likvärdiga produkter. En liten andel gips i konstruktion- och rivningsmaterial återvinns.

Återvunnet gips kan användas som jordförbättringsmedel i jordbruket men också som material i träfiberplattor (wallboard).[1]

Grafit (Naturlig)

Återvinningen av grafit är mycket begränsad, på grund av brist på ekonomiska incitament och på grund av tekniska utmaningar. Grafit skulle i teorin kunna återvinnas från ett flertal produkter men priset på ny grafit är för lågt för att det ska vara av ekonomiskt intresse.

Vissa produkter, så som bromsklossar och grafitbortsar är designade för att förbrukas under användning och kan därför inte återvinnas. Vissa eldfasta produkter av grafit har dock börjat återvinnas mer och mer, för att sedan användas i exempelvis isoleringsmaterial och bromsbelägg. [1, 7]

Guld (Au)

På grund av dess höga pris är guld kostnadseffektivt att återvinna. Guld i smycken, dekorationsprodukter, mynt och tandlagninar återvinns genom nedsmältning. Ungefär en tredjedel av dagens konsumtion täcks av återvunnet guld. [1] För mynt och smycken är återvinningsgraden 90-100 %. Återvinning av guld från elektroniskt avfall är dock låg, 10-15 % [2].

Guldkoncentrationen i exempelvis mobiltelefoner och kretskort till datorer är högre än i gruvfyndigheter. Det talas därför om goda möjligheter för så kallad ”urban mining” av guld. [9] De elektroniska produkterna är dock mycket komplexa och det krävs avancerad teknik för att separera guldet från de andra ämnena. Avancerade återvinningsanläggningar baserade på pyrometallurgisk teknik kan dock återvinna guld från elektroniskt avfall med mycket hög återvinningsgrad [46], [43]. Däremot är insamlingen av uttjänta produkter fortfarande ineffektiv och bidrar till att återvinningraden EOL-RR inte är hög. [9]

Hafnium (Hf)

Återvinningen av hafnium från uttjänta produkter är under 1 % [2]. Det anses troligt att hafnium återanvänds i industriella produktionsprocesser, men pålitlig data finns inte tillgänglig. [1]

Indium (In)

Appliceringsprocessen för ITO-beläggningar ger mycket spill vilket innebär att relativt stora mängder indium kan återvinnas från produktionsavfall. Indium återvinns även från produktion av CIGS celler. Uppskattningsvis är 63 % av den råvara som används i indiumproduktion återvunnet material [1].

Återvinning av konsumtionsavfall av LCD och CIGS är mycket liten. UNEP rapporterar EOL-RR för indium på under 1 % [2]. Detta beror delvis på låg koncentration i produkterna men även på att produkterna funnits så kort tid på marknaden att ett återvinningssystem inte hunnit etableras. [15] Tekniskt sätt finns möjlighet att återvinna indium ur såväl LCD som CIGS. Molycorp säger sig kunna återvinna In ur CIGS. [44]

Användningen av indium ökar snabbt och det sägs finnas ett stort behov av bättre återvinning av indium inom en snar framtid. Rent tekniskt är det lättare att återvinna indium från blandat konsumtionsavfall än t.ex. tantal. Detta skulle kunna tala till fördel för framtida indiumåtervinning. [5]

Järn (Fe)

Järn och stål återvinns i hög grad. UNEP uppskattar en EOL-RR för järn och stål på 70-90 %. [2] Stålverk är ofta designade för att använda återvunnet material. [7] Det återvunna materialet ger likvärdiga produkter som om man använt nytt material.

Kalksten (höggradig)

Höggradig kalksten återvinns inte direkt, men flera produkter som innehåller dessa ämnen återvinns och återanvänds, bl.a. papper och plast. Återvinning av stål minskar även behovet av GCC i stålverk. I pappersmassatillverkning kan kalk som används i massareningen återställas till kalcit och återanvändas. Biprodukter från processer som använder kalksten, t.ex. slagg från stålproduktion, kan används som gödningsmedel i jordbruket eller som avsvavlingsämne för behandling av rökgasemissioner. Byggmaterial som innehåller kalksten kan återvinnas som byggmaterial [1].

Kobolt (Co)

Kobolt återvinns från såväl produktion- som konsumtionsavfall. Globalt har återvinningen av kobolt ökat markant sedan mitten på 1990 talet. [5] Konsumtionsavfall som återvinns är framförallt batterier, legeringar och katalysatorer [15]. EOL-RR har uppskattats till 68 % [1], vilket är en hög siffra jämfört med andra metaller. Kobolt i batterier har länge återvunnits av metall-förädlingsindustrin, men avfallshanteringen sker nu i ökande omfattning via rena återvinningsföretag. Återvinningsprocesserna kan skilja sig åt betydligt och det återvunna materialet kan vara ren kobolt eller en koboltlegering med exempelvis järn, koppar och nickel. Legeringar smälts ofta ned och används igen som legering, utan att kobolt separeras. [47]

Kobolt återvinns i batterier pyrometallurgiskt i industriell skala och hydrometallurgiskt i labskala [14]. Kobolt i färg, glas och pigment kan inte återvinnas [15].

Koks

Koks förbränns då det används och kan alltså inte återvinnas. Däremot skulle andra ämnen, såsom REE and Ga, kunna återvinnas från askan. [1]

Koppar (Cu)

Koppar har god återvinningsbarhet. I stort sätt alla produkter som innehåller koppar kan smältas ned och återvinnas utan större förluster. [1]

Koppar i elektronik återvinns i pyrometallurgiska processer [41, 46]. Uppskattningsvis återvanns 45 % av världens koppar vid EOL mellan år 2000 och 2010. [48]

Krom (Cr)

Det finns ingen tillförlitlig uppskattning av återvinningsgraden för krom i Europa [1]. Det har dock gjorts försök att kvantifiera kromflödena även i Europa [49]. Handel med kromhaltigt avfall gör dock den regionala analysen komplicerad. För USA rapporteras att 50 % av konsumerat krom kom från återvunnet rostfritt stål år 2013. [7] UNEP rapporterar en global EOL-RR för krom på ca 90 % [2] baserat på [49]. UNEP rapporterar även att 10-25 % av kromkonsumtionen utgjordes av återvunnet material. Detta betyder att mängden krom som används i samhället ökar.

Rostfritt stål kan återvinnas genom omsmältning. Huvuddelen av krominnehållet kan tas till vara i återvinningsprocessen och materialet blir till nytt rostfritt stål. [18] Användningen av krom i kemikalier (färg, pigment) och eldfasta material sker i så låga halter att det inte är ekonomiskt att återvinna krom från sådana applikationer. [8]

Litium (Li)

Litium återvinns inte i någon större skala idag, varken från produktions- eller konsumtionsavfall. UNEP rapporterar mindre än 1 % både vad det gäller EOL-RR och RC, andel återvunnet material i produktionen. [2] Detta kan bero på dess relativt låga pris och på de låga koncentrationerna i enskilda produkter [5]. Det bedrivs en hel del forskning på återvinning av litium-jon batterier (LIB) men de flesta tekniker är fortfarande på lab- eller pilotskala. Anledningen till att man vill återvinna LIB är dock inte värdet i litium utan värdet i kobolt och mangan [1]. Umicore driver en anläggning för återvinning av batterier, bl.a. LIB [11]. I den pyrometallurgiska processen återfås kobolt, nickel och koppar medan litium hamnar i slaggen, si första hand kan återvinnas som vägmaterial och liknande. Återvinning av batterier förväntas öka i framtiden men om litium kommer att tas om hand i processen återstår att se. Utfallet kommer troligen att avgöras av litiumpriserna. [5]

Magnesit ($MgCO_3$)

Eftersom att magnesit används för att göra magnesiumoxid kan det inte återvinnas till ursprunglig form. Foder och gödningsmedel förbrukas och kan inte återvinnas. Dock återvinns ca 10 % av det eldfasta teglet vilket indirekt kan minska primär magnesit konsumtion. [1] LKAB återvinner eldfasta material, bl.a. tegel. [50]

Magnesium (Mg)

UNEP rapporterar en EOL-RR på 39 % och att återvunnet magnesium utgjorde år 2011 33 % av konsumtionen. [2] Magnesiumhaltiga produkter som återvinns är framförallt bildelar och dryckesburkar. Ca 60 % av det återvunna materialet var produktionsavfall, framförallt från tillverkning som innefattade pressgjutning [8]. Återvinningsprocessen är väletablerad och bygger på pyrometallurgisk teknik där man smälter ned magnesiumlegeringen. [15]

Mangan (Mn)

Mangan i stål kan återvinnas som del av stålåtervinningen. [7] UNEP rapporterar att mangan har en EOL-RR på över 50 % och att återvunnet material utgör 25-50 % av totala materialinflödet till metallproduktionen. Andelen konsumtionsavfall i det återvunna materialet uppskattas av UNEP till 25- 50 %. [2] Vid nedsmältning av metallskrot övergår dock en betydande del mangan till slaggfas och går förlorad [18]. Vi har inte hittat säkra källor hur hög manganhalt återvunnet blandstål får, eller om detta ens övervakas i stålverken. Forskning har pågått kring återvinning av mangan ur stålslaggen, och man haft lyckade resultat med sådana tekniker. [51]. Enligt USGS återvinns idag mangan ur stålslagg, något som skulle kunna öka återvinningsgraden. [7]

Molybden (Mo)

Molybdenhaltiga stål och superlegeringar återvinns tillsammans med stål i stålåtervinning, och på så sätt återvinns även molybden funktionellt [7, 52]. Molybden återvinns inte separat från stålsskrot. UNEP rapporterar att molybden har en EOL-RR på 25-50 % och att återvunnet material utgör 25-50 % av totala konsumtionen. [2]

Nickel (Ni)

Nickel återvinns såväl från produktionsavfall som från konsumtionsavfall. UNEP rapporterar att nickel har en EOL-RR på över 50 % och att återvunnet konsumtionsavfall utgör 25-50 % av totala materialinflödet till metallproduktionen. [2] Nickel i legeringar återvinns ofta som i samma form istället för att separera metallerna. [53, 54] Även nickel i superlegeringar återvinns till viss del. [55]. Nickel i NiMH-batterier som återvinns i Umicores batteriåtervinning blir nytt katodmaterial i en sluten krets [12]. Annars kan nickel från batteriåtervinning användas i rostfritt stål [53].

Niob (Nb)

Det förekommer i princip ingen återvinning av rent niob. Stål som innehåller niob kan återvinnas, men man separerar då inte niobhaltigt stål från annat stål, vilket gör att niob blandas med andra metaller och kan inte återvinnas separat [15]. Niob återvinns istället som legering ingående i stål.

Uppgifterna om återvinningsgrader för niob varierar. USGS och EU uppskattar att återvunnen niob kan utgöra upp emot 20 % av den totala konsumtionen [1, 7]. Samma siffra uppskattas till över 50 % av UNEP. 25-50 % av det återvunna materialet uppskattas utgöras av konsumtionsavfall. UNEP uppskattar EOL-RR för niob till över 50 %. [2]

Vid återvinning av legeringar förloras delvis de niob-unika egenskaperna. Dessutom oxideras niob delvis i nedsmältningsprocessen, vilket leder till förluster. [8, 15, 18]. Vi har inte hittat säkra källor hur hög niobhalt återvunnet blandstål får, eller om detta ens övervakas i stålverken.

Några viktiga källor för niob-avfall är uttjänta bildelar och produkter av superlegeringar, t.ex. jetmotorer. [8]

Superlegeringar med niob återvinns främst från produktionsavfall. I princip allt niob i produktionsavfall återvinns. [8]

Platina-gruppen (PGM)

PGM är dyrbara och återvinns i hög grad från produktionsavfall och industriell användning. Återvinningsprocesserna är väletablerade i och det finns ett antal större aktörer på området, framförallt i Europa, USA och Japan. PGM i industriella katalysatorer återvinns till 90 %. Konsumtionsavfall återvinns också relativt hög grad. Återvinningsgraden från konsumtionsavfall uppskattas till över 50 % för alla PGM förutom iridium och osmium. Bilkatalysatorer återvinns i väletablerade processer där man kan återfå ca 90 % av den insamlade mängden PGM. Återvinningsgraden för PGM från bilkatalysatorer och WEEE, om man även inkluderar insamlingsgrad, uppskattas till 50-60 % respektive 10 %. [15] Tandvårdsapplikationer återvinns till ca 15-20 % [2], men denna återvinningsgren har potential att öka. [5]

Processerna för att återvinna bilkatalysatorer är oftast pyrometallurgiska. Mer avancerade anläggningar, så som Umicores ädelmetallsåtervinning, kombinerar pyrometallurgi och specialiserad hydrometallurgi. [39]

Den stora förbättringspotentialen för återvinning av PGM ur konsumtionsavfall ligger idag snarare i insamlingssystemet än i själva återvinningsprocessen. Uttjänta bilar och elektronikprodukter exporteras till utvecklingsländer och det finns därför ett behov att förbättra insamling och återvinning även där. [5]

Palladium (Pd)

UNEP rapporterar en EOL-RR för palladium på ca 65 %. För bilkatalysatorer specifikt uppskattar man EOL-RR till mellan 50 och 55 %. Andelen återvunnet material i den totala konsumtionen av palladium uppskattas till ca 50 %. För vissa produkttyper är dock återvinningen mycket lägre. Exempelvis återvinns palladium i elektronik bara till 5-10 %. [2]

Platina (Pt)

UNEP rapporterar en EOL-RR för platina på ca 65 %. För bilkatalysatorer specifikt uppskattar man EOL-RR till mellan 50 och 55 %. Smycken återvinns till 90-100 %. För vissa produkttyper är dock återvinningen mycket lägre. Exempelvis återvinns platina i elektronik bara till 0-5 %. [2]

Rhodium (Rh)

UNEP rapporterar en EOL-RR för rhodium på 55 %. För bilkatalysatorer specifikt uppskattar man EOL-RR till mellan 45 och 50 %. Rhodium i industriella applikationer återvinns till 80-90 %. Partikelfilter för dieselmotorer kan återvinnas men återvinningen är generellt sett dyrare och har lägre effektivitet. [39]

Andra (rutenium (Ru), iridium (Ir) och osmium(Os))

UNEP uppskattar EOL-RR för rutenium till 5-15 % och för iridium till 20-30 %. Återvinning av osmium kan inte uppskattas då användningen är så liten. Vad gäller rutenium återvinns det ur industriella applikationer med en återvinningsgrad på ca 50 %, medan återvinningen från elektronik bara är 0 – 5 %. För iridium gäller att återvinningsgrad för industriella applikationer är ca 50 % men obefintlig för övriga användningsområden. [2]

Rhenium (Re)

Rhenium är dyrbart och ekonomiskt fördelaktigt att återvinna. UNEP rapporterar EOL-RR på över 50 % för rhenium. Andelen konsumtionsavfall i totala konsumtionen estimeras till 10-25 %, främst på grund av att ökad efterfrågan på Re kräver tillflöde även från primär produktion [2]. Rhenium i katalysatorer som också innehåller PGM återvinns i stor utsträckning. Mb-Re och W-Re skrot återvinns i viss utsträckning [7]. Rhenium i superlegeringar för flygindustrin återvinns till 68 % [54]. Molycorp har en anläggning för hydrometallurgisk återvinning av rhenium. [55]

Scandium (Sc)

Scandium används i låga koncentrationer vilket ger ogynnsamma förutsättningar för återvinning [1]. UNEP rapporterar en återvinningsgrad på under 1 % [2]. USGS rapporterar att ingen återvinning av scandium sker. [7]

Selen (Se)

UNEP rapporterar en EOL-RR på under 1 %. Andelen återvunnet material i den totala konsumtionen uppskattas till 1-10 % [2]. CIGS-solceller är så pass ny som teknologi ett fungerande återvinningssystem saknas, men denna återvinningsström förväntas öka. Ca 50 % av de uttjänta kopiatorer och likriktare som innehåller selen återvinns. Man använder inte längre selen i nytillverkning av dessa produkter, men äldre med selen finns fortfarande i användning. Mängden sådant avfall minskar dock, vilket innebär att även återvinningsgraden för selen har minskat de senaste åren. [1, 56]. Vid omsmältning av selen-haltigt stål förgasas större delen av seleninnehållet och kan inte tas tillvara. [18]

Silver (Ag)

Återvinningen av silver är relativt omfattande. Återvunnet silver utgör cirka en fjärdedel av den totala konsumtionen. [1] EOL-RR är större än 50 % enligt UNEP. Över 90 % av smycken, mynt och bordsilver återvinns genom omsmältning. Om man bortser från dessa produkter har övrigt silver en EOL-RR på 30–50 %. Framförallt är återvinningsgraden för silver från motorfordon och elektronik låg, 0–5 % respektive 10–15 %. [2] Silver i elektronik kan idag återvinnas med mycket hög återvinningsgrad i högteknologiska anläggningar som kombinerar pyrometallurgiska och hydrometallurgiska metoder. [1]

Sällsynta jordartsmetaller (REE)

REE i konsumtionsavfall är svåra att återvinna på grund av att de ofta förekommer i låga koncentrationer och för att de har egenskapen att lätt övergå till slaggfasen i nedsmältningsprocesser. Priset på REE har varit relativt lågt och det har tidigare saknats tillräckliga ekonomiska incitament för återvinning. [6]

EOL-RR är under 1 % för att REE [2]. Däremot återvinns produktionsavfall, framförallt i produktion av permanentmagneter. Cirka 20-30 % av det användbara materialet skulle annars gå till spillo i tillverkningen av magneterna. Permanentmagneter (Nd, Pr, Dy), NiMH-batterier (Ce, La) och fosforer (Y, Eu) bedöms vara de avfall där möjligheterna är störst för framtida återvinning av REE. [1]

Återvinning av REE från konsumtionsavfall är i forskningsstadiet. Till exempel forskas det på demonteringsmetoder för att plocka ut Nd-magneter ur exempelvis motorer, generatorer och hårddiskar. [6] Det finns även pilotprojekt kring återvinning av REE från NiMH-batterier. Viktiga aktörer är exempelvis japanska JOGMEC och belgiska UMICORE. [6, 12, 57] Forskning pågår kring återvinning av REE från fosforer (främst Eu och Y) och katalysatorer (främst Ce och La). OSRAM har ett patent på återvinning av REE från fosforiserande lampor [58]. Enligt USGS återvinns små kvantiteter yttrium från fosforiserande belysning. [7] Återvinning av REE från katalysatorer sker inte idag, bl.a. eftersom det ännu inte är ekonomiskt lönsamt. [6]

Sällsynta jordartmetaller, tunga (HREE)

Europium (Eu)

Europium kan återvinnas ut fosforiserande belysning i hydrometallurgiska processer. [59], [14] Återvinningen av europium är dock obetydlig, under 1 %, i nuläget. [2]

Gadolinium (Gd)

Gadolinium återvinns i små mängder från spill från magnetproduktion (internt i produktionen) [60]. Återvinningen av gadolinium från konsumtionsavfall är dock obetydlig, under 1 %, i nuläget [2].

Terbium (Tb)

Terbium kan återvinnas ut fosforiserande belysning i hydrometallurgiska processer [14, 59]. Återvinningen av terbium från konsumtionsavfall är dock obetydlig, under 1 %, i nuläget. [2]

Dysprosium (Dy)

Dysprosium återvinns i små mängder från spill från magnetproduktion [6]. Hitachi har utvecklat en pyrometallurgisk process för att återvinna dysprosium ur permanentmagneter. Återvinningen av dysprosium från konsumtionsavfall är dock obetydlig, under 1 %, i nuläget. [2]

Erbium (Er)

Inga data har hittats kring återvinning av erbium. Återvinningsgraden EOL-RR är under 1 % [2].

Yttrium (Y)

Yttrium kan återvinnas ut fosforiserande belysning i hydrometallurgiska processer [14, 59]. Återvinningen av yttrium är dock mycket liten i nuläget, EOL-RR under 1 % [2, 7].

Andra (holmium, tulium, ytterbium, lutetium)

EOL-RR under 1 % [2].

Sällsynta jordartmetaller, lätta (LREE)

Lantan (La)

Återvinningen av lantan antas vara mycket liten, med EOL-RR är under 1 % [2]. Detta kan dock ha förbättrats något sedan 2011 eftersom Umicore driver en återvinningsprocess för NiMH-batterier som efterbehandlar slaggprodukterna och därmed återfår REE, bl.a. lantan. [4, 12]

Cerium (Ce)

Återvinningen av cerium antas vara mycket liten, med EOL-RR under 1 % [2]. Cerium återvinns inte från bilkatalysatorer, där man istället fokuserar på PGM medan REE fälls ut i slaggen [6]. Cerium kan möjligen börja återvinnas ur batterier eftersom Umicore driver en återvinningsprocess för NiMH-batterier som efterbehandlar slaggprodukterna och därmed återfår REE, bl.a. cerium [4, 12]. Cerium kan återvinnas ut fosforiserande belysning i hydrometallurgiska processer. [14, 59]

Praseodym (Pr)

Praseodym återvinns i små mängder från spill från magnetproduktion [6]. Återvinning av praseodym från konsumtionsavfall antas vara mycket låg, med EOL-RR under 1 % [2]. Möjligen kan praseodym återvinnas ur batterier eftersom Umicore driver en återvinningsprocess för NiMH-batterier som efterbehandlar slaggprodukterna och därmed återfår REE, bl.a. praseodym [4, 12].

Neodym (Nd)

Återvinningen av neodym från konsumtionsavfall antas vara mycket liten, med EOL-RR under 1 % [2]. Små mängder neodym återvinns från spill från magnetproduktion [6]. Möjligen kan neodym återvinnas ur batterier eftersom Umicore driver en återvinningsprocess för NiMH-batterier som efterbehandlar slaggprodukterna och därmed återfår REE, bl.a. neodym. [4, 12]. Hitachi har utvecklat en pyrometallurgisk process för att återvinna neodym ur permanentmagneter [61].

Samarium (Sm)

Återvinningen av samarium från konsumtionsavfall antas vara mycket liten, med EOL-RR under 1 % [2]. Sm-Co magneter återvinns i viss utsträckning för att ta vara på kobolt, men samarium tas då inte till vara [62]. Forskning visar dock på att man med hydrometallurgiska metoder skulle kunna tillvarata även samarium ur Sm-Co batterier [63].

Tantal (Ta)

Återvinningen av tantal från konsumtionsavfall är låg, med EOL-RR under 1 %. Däremot rapporteras att 10-25 % av den totala konsumtionen kommer från återvunnet material [2]. Tantal återvinns från produktionsavfall som skapats vid produktion av elektroniska komponenter, hårdmetall och superlegeringar [7].

Konsumtionsavfall från flygmotorer och hårdmetaller återvinns i väletablerade nedsmältningsprocesser till likvärdiga legeringar alternativt till ett mindre förädlat material. Totalt uppskattas tantal från återvunnet konsumtionsavfall RC utgöra ca 1-9% av det använda tantalet. Den låga siffran beror framförallt på att tantal inte återvinns från elektriska kondensatorer, vilket är det största användningsområdet för tantal. Forskning för att utveckla återvinning av tantal från elektroniskt avfall pågår. [15]

Tellur (Te)

Återvinning av tellur har varit låg eftersom materialet hittills använts i begränsad omfattning [1]. UNEP rapporterar en återvinningsgrad EOL-RR på under 1 %. [2] Vid omsmältning av Te-haltigt stål förgasas det mesta av tellur och kan inte tillvaratas [18]. Små mängder tellur återvinns fortfarande ur gamla kopiatormaskiner [7].

Produktionsavfall av Te från solcellstillverkning kan återvinnas på ett lönsamt sätt, åtminstone från större produktionsenheter [5]. Det finns teknik för att återvinna tellur även ur konsumtionsavfall, från CdTe-solceller och elektronik. Än så länge sker detta dock endast i några få anläggningar. ”First Solar”, världens största tillverkare av CdTe-solceller, har rapporterat att solceller som använts i industrin kan tas om hand i en process som på ett mycket effektivt sätt återvinner upp till 95 % av halvledarna i CdTe-celler. [1, 64]

Tenn (Sn)

Återvinningsgraden för av tenn är hög. Tenn som återvinns genom nedsmältning blir fullgod råvara och kan användas i samma produkter som primär metall. Vid tillverkning av tenn-koppar-legeringar används ca 50 % återvunnet material. Vid tillverkning av tenn-baserad lödning används ca 20 % återvunnet material. [1]

Produktionsavfall återvinns med nära 100 % återvinningsgrad [8]. Även från konsumtionsavfall återvinns tenn i hög grad. UNEP rapporterar en EOL-RR för tenn på 75 % medan andelen återvunnet material i produktionen RC

uppskattas till 22 %. Omkring 25 till 50 % av det återvunna materialet uppskattas komma från konsumtionsavfall. [2]

Lödningar kan återvinnas ur exempelvis med hydrometallurgiska processer och elektrolys [38]. Umicore återvinner t.ex. tenn ur mobiltelefoner [65]. Tenn återvinns även ur brons och mässing samt ur förpackningar [8].

Titan (Ti)

Återvinning av titan är koncentrerat till titanmetall medan titanoxidpigment inte kan återvinnas. Titanmetall kan återvinnas effektivt och utan större förluster [66]. UNEP rapporterar en EOL-RR för titanmetall på hela 91 %. Andelen återvunnet material i produktionen av ny metall RC uppskattas till 52 %. Av det återvunna materialet uppskattas cirka 11 % från komma från konsumtionsavfall. [2]

En stor del av produktionsavfallet kommer från flygtillverkning där spillmaterial helt enkelt skickas tillbaka för omsmältning i början av tillverkningskedjan. Det har länge ansetts svårt att återvinna titanmetall i konsumtionsavfall på grund av de hårda och noggrant specificerade kvalitetskraven på titanmetall och titanlegeringar, men på senare tid har mer konsumtionsavfall återvunnits. Siffror på faktisk mängd återvunnet material är dock fortfarande osäkra. [66]

Vanadin (V)

Kemiska katalysatorer som innehåller vanadin återvinns till nya katalysatorer. Återvunna katalysatorer utgör upp emot 40 % av den totala konsumtionen. [67] Vanadin återvinns till liten del från stålavfall [67]. Vid omsmältning av vanadinhaltigt stål övergår i princip all vanadin till slaggfas [18]. Enligt USGS återvinns vanadin ur vissa verktygsstål. [67]. UNEP rapporterar en EOL-RR för vanadin på under 1 % [2].

En ny metod att utvinna exempelvis vanadin och mangan ur stålslagg har utvecklats i Sverige inom forskningsprogrammet Mistra Stålkretsloppet [68]. Enligt uppgift kan slaggämnena, särskilt vanadin, kan återanvändas som legeringsmaterial vilket har ett stort ekonomiskt värde. Dessutom breddas användningen av det renade slagget som konstruktionsmaterial.

Volfram (W)

Ungefär 30-50 % av efterfrågan på volfram kan idag mötas av återvunnet material. Av detta kommer 20-30 % från produktionsavfall och resten från konsumtionsavfall. Volframkarbider i verktygsstål återvinns till likvärdigt verktygsstål till 60-70 % medan volfram i belysning och legeringsmetaller har lägre återvinningsgrad. Tekniken för att återvinna volframkarbider togs fram i mitten på 1990-talet av Sandvik Coromant. Den höga återvinningsgraden av volframkarbider förenklar även återvinning av bl.a. niob, kobolt och tantal. Idag finns såväl hydrometallurgiska som pyrometallurgiska metoder för att återvinna volfram. [1, 15, 69]

Zink (Zn)

Återvinningen av zink är hög och ökar. Zink har goda återvinningsegenskaper och kan återvinnas utan kvalitetsförluster. Cirka 60 % av zinkproduktionen i USA år 2013 kom från återvunnen zink jämfört med 27 % år 1998 [8]. UNEP använder dock den äldre siffran och rapporterar att endast 10-25 % av zinkkonsumtionen täcks av återvunnet material. UNEP rapporterar en EOL-RR för zink på över 50 % baserat på [70] och en OSR på 25-50 %.

Zink återvinns ur produktionsavfall från galvaniseringsprocesser men också ur flygaska, framförallt från stålverk [7].

Zink har låg kokpunkt och kan återvinnas genom att zink i en legering (som brons och mässing) kokas bort. Ångan renas sedan och ren zinkmetall kan erhållas. [8]

Zink från uttjänta bilar kan återvinnas till zinkaska eller zinkoxid. Zinkplåt från tak, stuprännor, regnskivor och liknande kan återvinnas direkt och vid tillverkning av dessa produkter återvinns också zink. Zink kan också återvinnas från konsumtionsavfall av galvaniserat stål genom avzinkning. [8]

3.5 Aktörer för återvinning av kandidatmaterial i Sverige

Det finns ett antal aktörer som återvinner kandidatmaterial i Sverige. Nedan listas några av dessa. Observera att förbehandlare av avfall inte ingår, t ex Stena Technoworld, Kuusakoski och SIMS som förbereder elektronikavfall för materialåtervinning hos t ex Boliden.

Boliden: Är en av Europas största återvinnare av elektroniskt avfall och återvinner såväl svenskt som importerat avfall. I smältverket i Rönnskär används den så kallade kaldotekniken för separation av metallerna med hjälp av nedsmältning. Man återvinner koppar, guld, silver, zink, bly och biprodukten svavelsyra från elektronik. [71]

LKAB: Återvinner eldfasta material, vilket minskar åtgången på magnesit. [50]

Ovako: Återvinner en betydande del av svenskt fraggskrot.

Sandvik Coromant: Återvinner volframkarbider. [72]

ScanArc: ScanArc med dotterbolaget ArcMetal i Hofors återvinner ädelmetaller ur skrot. ArcMetal är specialiserade på katalysatoråtervinning som en av fem anläggningar i Europa och återvinner katalysatorer främst från Norden och Europa, men även andra delar av världen.

Stena Aluminium: Återvinner aluminium från bl.a. svenska fragmenteringsanläggningar.

Umicore (Belgien): Återvinner ädelmetaller (Au, Ag, PGM), specialmetaller (In, Se, Te) samt Sb, Sn, Bi, Pb, Cu och Ni från flera olika slags produktion- och konsumentavfall. [46] Umicore återvinner även batterier. Man har en anläggning för återvinning av nya typer av laddningsbara batterier såsom litium-jon, litium-polymer and NiMH, i vilken man kan tillvarata Ni, Co och REE [12]. Såväl smältverket för återvinning av ädel- och specialmetaller som batteriåtervinningen sker i Umicores anläggning i Hoboken utanför Antwerpen i Belgien. Umicore återvinner även produktionsavfall från tillverkning av CIGS-solceller i Hoboken. [1] Umicore har en site i Karlskoga för katalysatorer.

4. ANVÄNDNING OCH ÅTERVINNING AV KANDIDATMATERIAL I VISSA PRODUKTER

I detta avsnitt har vi samlat information om användning och återvinning av många av kandidatmaterialen i följande produkter: elektriska och elektroniska produkter och personbilar.

Runt om i världen pågår forskningsarbete för att ta fram mer kunskap och kvantifierad information om användning och återvinning av sekundära material, kandidatmaterial, kritiska material och knappa material. Ett exempel är projektet ProSUM, inom EU:s Horizon 2020, som kommer att pågå 2015-2017. ProSUM kommer bl.a. att undersöka eletroniska och elektriska produkter, personbilar, batterier och gruvavfall:

"The ProSUM project will establish a European network of expertise on secondary sources of critical raw materials (CRMs), vital to today's hightech society. [...] Data on primary and secondary raw materials are available in Europe, but scattered amongst a variety of institutions including government agencies, universities, NGOs and industry. [...] the project will coordinate efforts to collect secondary CRM data and collate maps of stocks and flows for materials and products of the "urban mine". The scope is the particularly relevant sources for secondary CRMs: Electrical and electronic equipment, vehicles, batteries and mining tailings. The project will construct a comprehensive inventory identifying, quantifying and mapping CRM stocks and flows at national and regional levels across Europe. Via a user-friendly, open-access Urban Mine Knowledge Data Platform [...], it will communicate the results online and combine them with primary raw materials data from the on-going Minerals4EU project. [...]. ProSUM [...] provides a factual basis for policy makers to design appropriate legislation, academia to define research priorities and to identify innovation opportunities in recovering CRMs for the recycling industry."

ProSUM leds av WEEE Forum [73] och ESA kommer att delta med fokus på personbilar.

4.1. Elektriska och elektroniska produkter

Elektriska och elektroniska produkter (EEE) tillhör de få produktgrupper där det förekommer relativt många publikationer som behandlar användning och återvinning av många av kandidatmaterialen. Vi kan konstatera att skillnaderna i produktinnehåll är stora både mellan och inom EEE-kategorierna och att olika studier rapporterar relativt olika nivåer (se Tabell 8, 9 och 10). Jämför exempelvis innehållet av guld, silver och palladium i ICT-utrustning i Tabell 8 och 9 [14, 74]:

Guld: 2,4 ppm jämfört med 21-627 ppm
Silver: 120 ppm jämfört med 43 – 6500 ppm
Palladium: 0,6 ppm jämfört med 10 – 336 ppm

Trots att det finns relativt många publikationer, känner vi inte till någon studie som gör en omfattande jämförelse och kritisk granskning av olika källor. I denna rapport ger vi därför endast några exempel på källor i Tabell 8, 9 och 10. Eftersom variationen är stor bör liknande information endast användas för att uppskatta *storleksordningen* på den mängd material som används i EE-produkter och den som finns tillgänglig att återvinna då de tjänat ut. Variationerna beror på att varje EEE-kategori omfattar flera olika slags produkter, men också på olika tillverkningstekniker (vilket leder till kraftigt varierande koncentrationer i produkter och komponenter), metoder för kvantifieringen (experimentell mätning eller teoretisk uppskattning) och osäkerheter i provtagningarna [75]. En ytterligare konsekvens av variationerna är att det är mycket osäkert att uttala sig om framtida förändringar i metallinnehåll och -koncentration [75].

Tabell 8. Innehåll av guld, silver och palladium i ICT-produkter enligt Sander et al 2012 citerad i [74].

Produkt	Guld		SIlver		Palladium	
	[mg]	[ppm]	[mg]	[ppm]	[mg]	[ppm]
PC	316-338	21-23	804-2127	54-142	146-212	10-14
Laptop	246-250	85-86	440	152	50-80	17-28
Surfplatta	131	215	26	43	No data	No data
Mobiltelefon	50-69	455-627	127-715	1155-6500	10-37	91-336

Tabell 9. Innehåll i % av totalvikt enligt Müller och Widmer, citerad i [14] (HFR = halogenerade flamskyddsmedel)

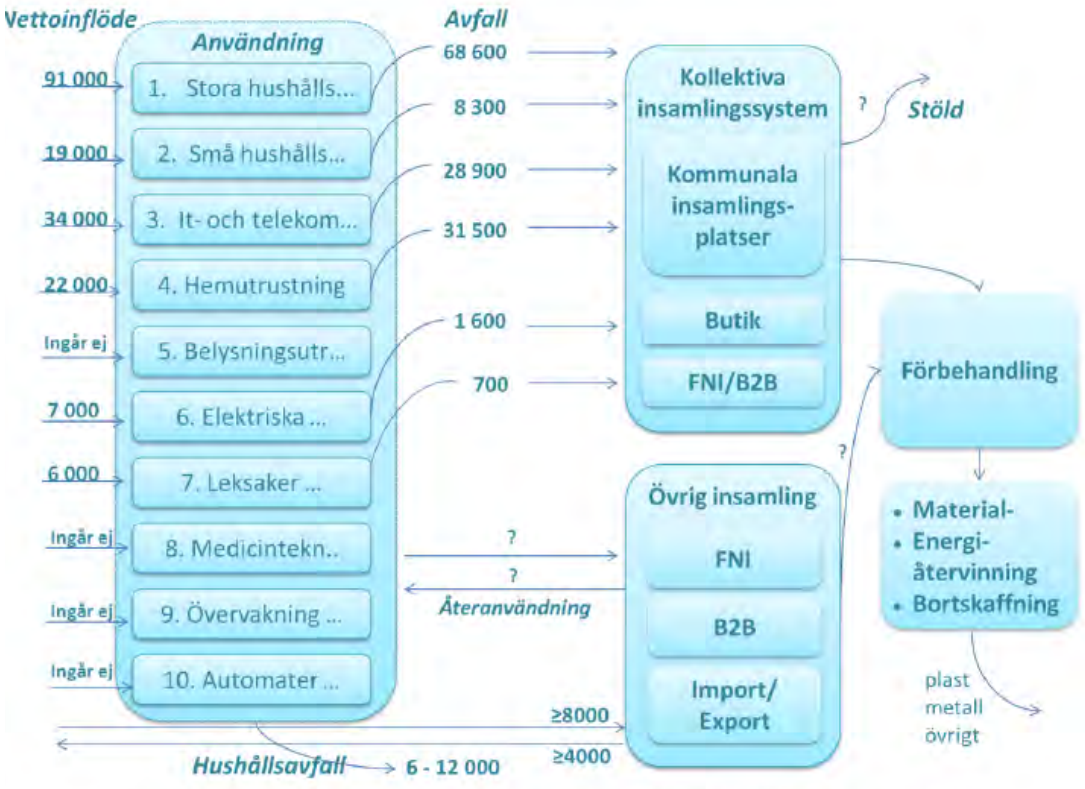
Material	Stora hushålls-apparater [% av total-vikt]	Små hushålls-apparater [% av total-vikt]	Information- och kommunikations-teknik och konsu-ment-elektronik [% av totalvikt]	Ljusutrust-ning [% av total-vikt]
Aluminium	14	9,3	5,0	14
Kadmium	0,014	8,3e-03	0,018	n.a.
Koppar	12	17	4,0	0,22
Glas	0,017	0,16	0,30	77
Guld	6,7e-07	6,1e-07	2,4e-04	n.a
Indium	0	0	5,0e-04	5,0e-04
Järn	43	29	36	n.a.
Bly	1,6	0,57	0,29	n.a.
Blyat glas	0	0	19	0
Kvicksilver	3,8e-05	1,9e-05	7,0e-05	0,020
Palladium	3,0e-07	2,4e-07	6,0e-05	n.a.
Silver	7,7e-06	7,0e-06	1,2e-03	n.a.
Plast utan HFR	19	37	12	n.a.
Plast med HFR	0,29	0,75	18	3,7
Övrigt	10	6,9	5,7	5,0

Tabell 10. Grov uppskattning av koncentration och innehåll av vissa metaller i EEE-kategorier. Produktdelar som ingår: 1 – plasthölje, 2 – kretskort, 3 – elektronikkomponent, 4 – LCD-panel, 5 – glas från CRT, 6 – batteri, 7 - magnet, 8 – LED, 9 – diod, 10 – kallkatodrör, ATO: antimon-tenn-oxid [75]. Intervallen är avlästa i figur i [75].

Metall	Typ av användning i produktdel 1-10	Koncentration intervall [mg/kg]	Innehåll intervall [mg/del]
Antimon	Synergist för flamskyddsmedel i höljen 1	2000-12000	5000-10000
	Synergist för flamskyddsmedel i kretskort 2	500-4000	15-800
	Elektronikkomponent plattform 3	6000-11000	
	ATO transparent ledande lager 4	100-500	1-400
	Glas i katodstrålerör 5	500-1500	1100-14000
Kobolt	Katodmaterial i Li-jonbatterier 6	150000-140000	2000-80000
	Metallhydridlegering i NiMH-batterier 6	20000-50000	150-10000
	Katod i NiCd-batterier 6	10000-20000	500-10000
	NdFeB-magnet 7	800000-20000	100-15000
	Elektrisk kontakt och elektronik-komponent 2	9-300	1-100
	Glas i katodstrålerör 5	10-100	50-2000
Gallium	Halvledarmaterial i integrerade kretsar 2	2-150	50-2000
	Halvledarmaterial i chip för vit LED 8	200-700	0.001-1
	Halvledarmaterial i laserdioder 9	200-700	0.001-0.01
Germanium	Halvledarmaterial i integrerade kretsar	n.a.	n.a.
	Fosfor	n.a.	n.a.
Indium	ITO transparent ledande lager 4	100-600	1-200
	Halvledarmaterial i chip för vit LED 8	10-100	0.001-0.1
	Lodmaterial	n.a.	n.a.
Sällsynta jordartsmetaller	Fosfor i flourocerande lampor 10	1000-7000	1-100
	Fosfor i LED 8	100-500	
	Magnetiskt material 7	200000-500000	50-10000
	Anod och katod i NiMH-batterier 6	10000-50000	700-2000
	Material i elektronik-komponenter	n.a.	n.a.
Tantal	Kondensator-anod 2	100-5000	20-800
	Material i elektronik-komponenter	n.a.	n.a.

Insamlingen av WEEE i Sverige är bland de högsta inom EU räknat i insamlad mängd per person, 15,6 kg år 2013 [76]. Men eftersom elavfallet är ett av de snabbast växande avfallsslagen, måste insamlingen öka för att insamlingsgraden inte ska sjunka. När man talar om återvinningsgrad (recovery and recycling rate %) i WEEE-direktivet avses “treatment efficiency”, d.v.s. förhållandet mellan återvunnen och behandlad mängd. Den beräknas alltså inte i förhållande till genererad avfallsmängd eller mängden produkter som satts på marknaden. Detta motsvarar recycling yield (e/f) i avsnitt 3.2.

Det totala flödet av WEEE uppskattades till 178 000 ton år 2010 (import-export +inhemsk produktion), se Figur 10 [76]. En stor andel samlas in, men det saknas samlad kunskap om vad som händer med avfallet sen. Mycket går sannolikt till förbehandling och därefter till materialåtervinning. Från det avfall som går till elektronikåtervinning återvinns i första hand koppar och ädelmetaller såsom guld, silver, platina och palladium (se Tabell 7), medan många av de andra metallerna som ingår (se Tabellerna 2, 8, 9 och 10) antingen förloras eller återvinns icke-funktionellt.



Figur 10. Sammanfattande flödesbild för nettoinflöde (import – export + inhemsk produktion), och kända mängder i avfallsledet, avrundade värden, ton, 2010. Baserad på bearbetning av data från utrikeshandelsstatistiken, SCB, kollektiva insamlingssystem (El-kretsen och EÅF) och plockanalyser på hushållens säck- och kärlavfall. FNI avser fastighetsnära insamling (från bostäder) och B2B business-to-business-insamling (från verksamheter). [77]

Samma studie pekar också på att elavfall sorteras fel och hamnar i hushållsavfallet, som går till avfallsförbränning, 6-12 000 ton per år [77]. Från en del av slaggen från svensk avfallsförbränning sorterar man ut slaggskrot för återvinning, ett relativt lågvärdigt järnskrot. Övriga metaller i slaggen återvinns inte funktionellt i dagsläget.

Studien konstaterar också att mängden EE-produkter som lagras i samhället växer. Samlat beräknas mängden EE-produkter i användning vara knappt 160 kg person, eller 1,5 miljoner ton. Den årliga fortsatta upplagringen uppskattas 40 000 ton, eller drygt 4 kg/person och år, vilket ger en fingervisning om framtida avfallsmängder. [77]

Man kan konstatera att insamlingen av WEEE är hög. Det finns dock en outnyttjad potential för återvinning av kandidatmaterial från WEEE: (1) WEEE som sorteras fel, (2) EE-produkter som är uttjänta, men inte lämnas in till återvinning och (3) WEEE går till återvinning som saknar tekniska och/eller ekonomiska förutsättningar för att återvinna fler kandidamaterial.

4.2. Personbilar

Realize - Realizing resource-efficient recycling of vehicles – är ett tvärvetenskapligt forsknings-projekt med mål att hitta strategier för en mer resurseffektiv återvinning av fordon. Realize pågår mellan 2012 och 2015, finansieras av Stiftelsen för miljöstrategisk forskning Mistra och utförs av deltagare från högskola, forskningsinstitut och näringsliv och ESA leder projektet. [78]

Ett forskningsområde i Realize är användning och återvinning av knappa metaller i fordon på kort och lång sikt. De knappa metaller som studeras i Realize är i ganska stor utsträckning samma som kandidatmaterialen. Realize är ett pågående projekt, varför vi i denna rapport refererar till publicerade delresultat.

Användningen av metaller baseras på en studie i samarbete med Volvo Cars [79]. I Volvo-studien ingår fyra olika personbilsmodeller från Volvo Cars. Tre av dessa har en konventionell dieselmotor, medan den fjärde är en el/diesel-hybrid. De tre modellerna med dieselmotor skiljer sig åt i utrustningsnivå och storlek. Samtliga fanns i Volvos sortiment år 2012. Vissa material, men inte alla, skiljer sig markant åt mellan modellerna. Innehållet av silver, kobolt, koppar, dysprosium, litium, mangan, neodym, praseodym och samarium är minst dubbelt så stort i hybridbilen som i de konventionella bilarna. I Tabell 11 redovisas innehållet i två av modellerna: lågutrustad diesel och medelutrustad el/diesel-hybrid. Det pågår flera studier i andra länder (i t.ex. Tyskland, Japan och Schweiz) som också har som mål att kvantifiera användningen av knappa metaller i personbilar. Publikationer från dessa blir troligen tillgängliga i slutet av 2014, varför det inte är möjligt att jämföra med dessa ännu.

Tabell 11. Innehåll av knappa material i två nya personbilsmodeller [79]

Material	Total vikt per bil		Enhet
	Konventionell (diesel, lågutrustad, mellanstor)	**Hybrid (el/diesel, medelutrustad, mellanstor)**	
Ag	15	50	g
Au	6	7	g
Ce	0.29	0.31	g
Co	25	75	g
Cu	25	62	kg
Dy	0.83	130	g
Er	0.18	0.18	g
Eu	*<0.01*	*<0.01*	g
Gd	*<0.01*	*<0.01*	g
In	0.15	0.08	g
La	5.2	6.7	g
Li	5.2	6300	g
Mb	570	630	g
Mn	6	14	kg
Mg	9	9	kg
Nd	43	530	g
Nb	63	110	g
Pd	1.2	1.8	g
Pt	5.5	5.5	g
Pr	0.81	4.0	g
Rh	*<0.01*	*<0.01*	g
Sm	0.43	1.4	g
Ta	5.8	11	g
Tb	*<0.01*	20	g
Yb	0.16	0.16	g
Y	0.22	0.23	g

Enligt studien är det i elektriska och elektroniska, metallurgiska och katalytiska applikationer som innehållet av knappa metaller är som störst. I elektriska och elektroniska applikationer identifierades permanentmagneter i elmotorer och hifi-system, kretskort, batterier och elkablar som delar med högt innehåll av knappa metaller. I metallurgiska applikationer identifierades delar av stål-, aluminium-, nickel- och zinklegeringar. I katalytiska applikationer identifierades katalysator och partikelfilter. [79]

Ofta nämns elektrifiering av fordon som en betydande drivkraft för ökad användning av knappa metaller. Men det är inte hela bilden: den allmänna trenden är både att fler och mer knappa metaller används, oavsett drivlina. Lättare bilar behöver starka och lätta material så som aluminium, magne-

sium och metallegeringar med t ex krom, molybden, mangan och niob. För att minska emissioner med hjälp av katalysatorer och partikelfilter behövs vanligtvis platinametaller (PGM) och sällsynta jordartsmetaller. Funktioner för säkerhet, förarassistans, drivlinekontroll och "infotainment" ökar fordonselektroniken som innehåller t.ex. guld, silver, PGM, gallium, tantal och sällsynta jordartsmetaller.

I delresultat från Realize studeras dagens återvinning av personbilar med fokus på knappa metaller [80]. Totalt skrotas omkring 180 000 personbilar årligen för närvarande i Sverige. Eftersom bilarnas genomsnittliga livslängd är 18 år tillverkades de flesta bilar som för närvarande skrotas alltså i senare halvan av 1990-talet. Samlad information om innehållet av knappa metaller i dessa bilar är inte tillgänglig. Dock kan man anta att innehållet i de nya modellerna i Volvostudien är mer representativa för de bilar som kommer att skrotas om 15-20 år. Att använda Volvo-modellerna för att beräkna flödena av knappa metaller i dagens bilåtervinning resulterar därför sannolikt i en överskattning [80]. Vi väljer därför att uppskatta *storleksordningen* av de flöden som kan komma in till svensk bilåtervinning inom ett tiotal år, om antalet skrotade bilar ligger kvar på dagens nivå, se Tabell 12. Vi använder metallinnehållet i den lågutrustade konventionella modellen, eftersom det är lika eller lägre än de andra modellerna. Eftersom dieseldrivna bilar utgör cirka 20 % av den nuvarande personbilsparken i Sverige, är mängden partikelfilter (som innehåller bl.a. PGM och REE) dock överskattad. I uppskattningen ingår endast personbilar och inga andra vägfordon så som lastbilar och bussar. Inte heller ingår el- och hybridbilar eftersom dessa fortfarande är få och det är osäkert om, och i så fall när, ett större antal kommer att nå återvinning.

Tabell 12. Uppskattning av *storleksordningen* på mängden knappa metaller till svensk bilåtervinning inom ett tiotal år, om antalet skrotade personbilar ligger kvar på dagens nivå.

Knappa metaller till svensk bilåtervinning	Uppskattad storleksordning inom ett tiotal år
Eu, Gd, Rh, Tb	enstaka kg
Ce, Er, In, Sm, Yb, Y	10-tals kg
Dy, Pd, Pr	100-tals kg
Ag, Au, Co, La, Li, Mn, Nd, Nb, Pt, Ta	enstaka ton
Mb	100-tals ton
Cu, Mg	1000-tals ton

Återvinningsmålet för fordonsåtervinning år 2015 är enligt EU:s ELV-direktiv 95 %, varav minst 85 % ska vara materialåtervinning och återanvändning. Max 10 % energiutvinning får räknas som återvinning. Sverige rapporterade 91 respektive 85 % år 2012, d.v.s. 85 % återvinning och återanvändning, 6 % förbränning och 9 % deponering. För att uppnå målet år

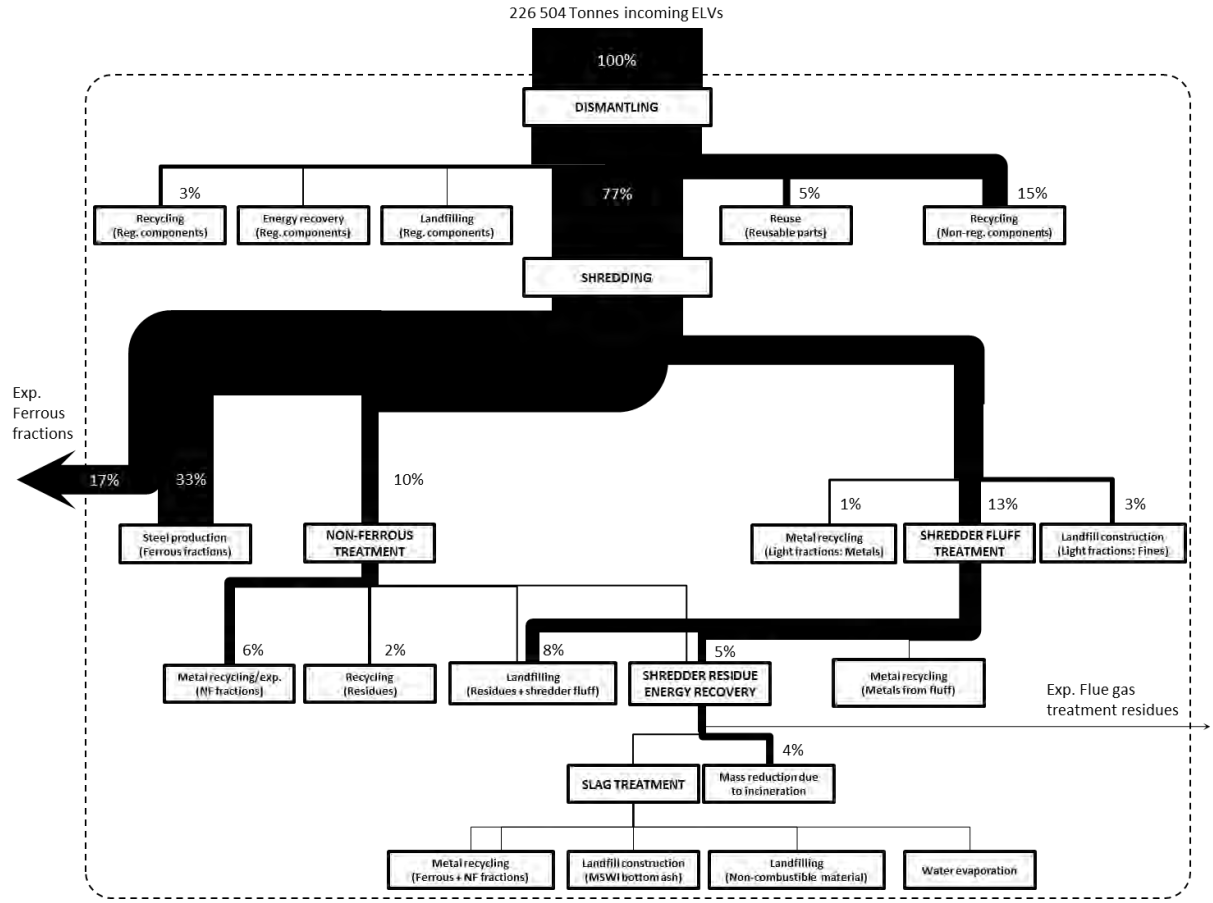
2015 måste alltså deponeringen minska. För närvarande är ökad demontering och återvinning av större plastkomponenter ett av huvudalternativen för uppnå målet. Återvinningsgraden beräknas precis som i WEEE-direktivet som "treatment efficiency", d.v.s. förhållandet mellan återvunnen och behandlad mängd. Den beräknas alltså inte i förhållande till uppkommen avfallsmängd eller mängden produkter som satts på marknaden. Detta motsvarar recycling yield (e/f) i avsnitt 3.2.

Dagens materialflöden i svensk bilåtervinning presenteras i ett s.k. Sankey-diagram, som baseras på uppgifter från främst 2011, se Figur 11 [80]. Figuren är ett resultat från en materialflödesanalys av den svenska bilåtervinningen, som visar att återvinningen av framför allt kandidatmaterialen stål och aluminium och även koppar är omfattande. När det gäller övriga kandidatmaterial är det endast den lagstadgade demonteringen av katalysatorer och partikelfilter där funktionell återvinning av några kandidatmaterial (PGM) med säkerhet kunnat identifieras hittills [80]. Det saknas idag kunskap om var knappa metaller hamnar efter fragmenteringen, bl.a. eftersom koncentrationerna är låga, totalmängderna små och man hittills inte regelbundet analyserat dessa metaller varken i in- eller utflödena. Schweiziska studier tyder på att en hög andel av ädelmetallerna kan hamna i fluff- eller finfraktionen [81]. Fluff består främst av organiska material som plast, textil och gummi, men även metaller och andra oorganiska material. Finfraktionen är ett finfördelat restavfall som främst består av oorganiska material som sand, rost, glas och metall. I Sverige skickas dessa fraktioner antingen till avfallsförbränning, deponering eller används som konstruktionsmaterial på deponier eller i vägar [80]. Observera att de uttjänta bilar som inte kommer in till återvinning ingår inte i analysen eftersom tillgänglig statistik saknas för dessa.

Återvinningsgraden i ELV-direktivet beräknas på bilens totala vikt och trots att den totalt sett alltså är hög, är den funktionella återvinningen av många knappa metaller troligen mycket låg. Strategier för att öka sådan återvinning studeras i Realize och kan t.ex. innebära ökad demontering av utvalda komponenter med högt innehåll av knappa metaller (t.ex. elektroniska styrenheter, elmotorer och ljudanläggningar) som kan skickas till befintliga återvinningsprocesser för elektronik. På sikt skulle batchvis fragmentering av chassin i kombination med utökad sortering i fler metallkvaliteter vara ett sätt att funktionellt återvinna höglegerade stål och andra speciallegeringar [80].

Att bilar ses som en tänkbar källa för knappa metaller är tydligt i pågående arbeten i t.ex. Tyskland, Japan och Schweiz. I det nya förslaget till den schweiziska motsvarigheten till EU:s WEEE-direktiv ingår krav på att återvinna flera kandidatmaterial: guld, palladium, indium, gallium, germa-

nium, neodym och tantal ska återvinnas ”så långt som möjligt”. Förslaget omfattar EE-produkter och även elektronik i fordon och byggnader [81].



Figur 11. Huvudprocesser i svensk fordonsåtervinning och materialflöden ≥ 1 % av mängden personbilar som kommer in till återvinning. Underlaget baseras främst på förhållandena år 2011. [80]

5. SLUTORD

Studien är en översiktlig kunskapssammanställning inom två områden: (1) användning av kandidatmaterial i produkter och branscher och (2) nuvarande återvinningsmöjligheter av kandidatmaterial. I studien ingår 41 av de 46 material som SGU och Naturvårdsverket listat som kandidater för Sverige, d.v.s. sådana material som kan komma att pekas ut som kritiska. I de flesta fall är det nuvarande global användning och återvinning som redovisas eftersom det är sådan information som finns tillgänglig.

Kandidatmaterialen används inom ett stort antal områden redan idag och inte bara i högteknologiska produkter med växande marknader, så som elbilar, vindkraft och solceller. En noggrann kartläggning kräver detaljerad inblick i många industrisektorer, tillverkningsprocesser och produktkategorier, varianter av dessa och hur de förändras över tid. I enstaka fall finns detaljerad information publikt tillgänglig. Därför redovisar vi *översiktligt* omfattningen av nuvarande användning av vart och ett av de 41 materialen utifrån 24 olika användningsområden (produkter och branscher). Endast några exempel på användning i vikt per produkt presenteras: elektriska och elektroniska produkter samt personbilar. Dessa bör dock inte användas till annat än att *översiktligt uppskatta storleksordningen* på användningen eftersom variationerna är stora mellan olika källor eller det finns alltför få källor för att säkerställa uppgifterna. En följd av detta är givetvis också att sådana källor endast bör användas för att *översiktligt uppskatta storleksordningen på den mängd material som potentiellt kan återvinnas*.

Möjligheten att återvinna skiljer sig åt *mellan kandidatmaterialen,* men av olika skäl också *mellan olika produkter som innehåller ett visst kandidatmaterial*. Därför presenteras återvinningsgrader för vart och ett av de 24 användningsområdena. Fokus i studien ligger på möjligheten att återvinna konsumtionsavfall, men även produktionsavfall diskuteras eftersom förutsättningarna ofta skiljer sig åt.

Det saknas idag tillgänglig information och samlad kunskap om många av kandidatmaterialen, men intresset är stort för denna typ av material och frågor som är kopplade till dem. Det pågår mycket arbete runt om i världen, liksom till viss del i Sverige, och om arbetet fortsätter att stödjas, är vår bedömning är att förutsättningarna att besvara studiens frågor kommer att vara betydligt bättre inom ett antal år. Mer kunskap ökar möjligheterna att ta välgrundade beslut kring de insatser som krävs för att ta till vara på de materialresurser i uttjänta produkter som idag är outnyttjade.

REFERENSER

[1] European Commission, *Report on Critical Raw Materials for the EU*, Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, DG Entr, Brussels, Belgium, 2014.

[2] T. E. Graedel, J. Allwood, J. P. Birate, M. Buchert, C. Hagelüken, B. K. Reck*, et al.*, *Recycling Rates of Metals - A Status Report,* UNEP Resource Panel, 2011.

[3] T. E. Graedel and M. D. Gerst, *Metal Stocks in Society- Scientific Synthesis*, UNEP Resource Panel, 2013.

[4] M. Reuter, C. Hudson, A. van Schaik, K. Heiskanen, C. Meskers, and C. Hagelüken, *Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure*, UNEP Resource Panel, 2013.

[5] M. Buchert, D. Schüler, and D. Bleher, *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential*, Öko-Institute, Darmstadt, Germany, 2009.

[6] D. Schüler, M. Buchert, R. Liu, S. Dittrich, and C. Merz, *Study on Rare Earths and their Recycling*, Öko-institute, Darmstadt, Germany, 2011.

[7] *Mineral Commodity Summaries 2014*, United States Geological Survey, Reston, VA, USA, 2014.

[8] *Flow Studies for Recycling Metal Commodities in the United States,* United States Geological Survey, Reston, VA, USA, 2004.

[9] C. Hagelüken and C. Corti, "Recycling of gold from electronics: Cost-effective use through 'Design for Recycling'," *Gold Bulletin,* vol. 43, 2010, pp. 209-220.

[10] C. Hagelüken and C. E. M. Meskers, "Complex Life Cycles of Precious and Special Metals," in *Linkages of Sustainability*, T. Graedel and E. van der Voet, eds., Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2009, pp. 163-197.

[11] Umicore, *Battery to Battery*, 25 Jul. 2014; http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/media/show_BatteryToBattery.pdf

[12] Umicore, *Umicore Battery Recycling Process,* 25 Jul. 2014; http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/process/

[13] P. Wäger, R. Widmer, and A. Stamp, *Scarce Technology metals - applications, criticalities and intervention options*, EMPA, Switzerland, 2011.

[14] F. Blaser, S. Castelanelli, P. Wäger, and R. Widmer, *Seltene Metalle in Elektro- und Elektronikaltgeräten - Vorkommen und Rückgewinnungstechnologien*, EMPA, Switzerland, 2011.

[15] *Study into the feasibility of protecting and recovering critical raw materials through infrastructure development in the south east of England*, European Pathway to Zero Waste, Environment Agency, UK, 2011.

[16] Zepf V., Reller A., Rennie C., Ashfield M. & Simmons J., BP, "*Materials critical to the energy industry. An introduction*. *2nd edition",* University of Augsburg, Germany, 2014.

[17] T. Zimmermann and S. Gößling-Reisemann, "Critical materials and dissipative losses: A screening study," *Science of The Total Environment,* vol. 461–462, 2013, pp. 774-780.

[18] R. Lagneborg and E. Waltersson, *Guide för legeringsmetaller och spårelement i stål*, D811, Jernkontoret, Stockholm, Sweden, 2004.

[19] *Mineral Profile: Flourspar*, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK, 2011.

[20] R. R. Moskalyk, "Gallium: the backbone of the electronics industry," *Minerals Engineering,* vol. 16, no. 10, 2003, pp. 921-929.

[21] World Gold Council, *Gold Demand Trends First Quarter 2014*, 25 Jul. 2014; http://www.gold.org/sites/default/files/GDT_Q1_2014_v3.pdf

[22] J. Xu, H. R. Thomas, R. W. Francis, K. R. Lum, J. Wang, and B. Liang, "A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries," *Journal of Power Sources,* vol. 177, no. 3, 2008, pp. 512-527.

[23] H. Imgrund and N. Kinsman, *Molybdenum - an extraordinary metal in high demand*, International Molybdenum Association, 2007.

[24] Sellenium Tellurium Development Association, *Se and Te,* 28 Jul. 2014; http://www.stda.org/index.html

[25] X. Du and T. E. Graedel, "Global In-Use Stocks of the Rare Earth Elements: A First Estimate," *Environmental Science & Technology,* vol. 45, 2011, pp. 4096-4101.

[26] H. Kara, A. Chapman, T. Crichton, P. Willis, and N. Morley, *"Lanthanide Resources and Alternatives,"* Oakdene Hollins, Aylesbury, UK, 2010.
[27] M. Humphries, *Rare Earth Elements: The Global Supply Chain,* Congressional Research Service, Washington DC, United States, 2013.
[28] T. G. Goonan, *Rare Earth Elements—End Use and Recyclability*, United States Geological Survey, Reston, Virginia, United States, 2011.
[29] J. Nishii, S. Morimoto, I. Inagawa, R. Iizuka, T. Yamashita, and T. Yamagishi, "Recent advances and trends in chalcogenide glass fiber technology: a review," *Journal of Non-Crystalline Solids,* vol. 140, 1992, pp. 199-208.
[30] E. Lassner, W.-D. Schubert, E. Lüderitz, and H. U. Wolf, "Tungsten, Tungsten Alloys and Tungsten Compounds," *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, ed: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000.
[31] G. G. Graf, "Zinc," *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, ed: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000.
[32] Comtrade, United Nations Commodity Trade Statistics Database. Available: http://comtrade.un.org/db/default.aspx
[33] SCB, Materialflödesräkenskaper 2000–2012, Available: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI1301/MI1301MFTA01/?rxid=5891c395-0775-4bb3-b5c8-850efa9d7c99
[34] B. Strömberg and M. Lundgren, *Industrins varuproduktion 2012*, Sveriges officiella statistik. Statistiska meddelanden, NV 19 SM 1401, Statistiska centralbyrån, 2014.
[35] T.E. Graedel, J. Allwood, J.P. Birat, M. Buchert, C. Hagelüken, B.K. Reck, S.F. Sibley, and G. Sonnemann, "What do we know about metal recycling rates?", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 15, no. 3, 2011, pp. 355-366.
[36] H. Böni, *Seltene Metalle in Elektro und elektronikgeräten*, EMPA, Switzerland, 1 Oct. 2014; http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/116094
[37] D. Berggren Kleja och Y. Ohlsson, *Kunskapsläge och förutsättningar för återvinning av metaller i förorenade massor*, Publikation 4, Statens geotekniska institut, Linköping, 2013.
[38] J. Cui and H. J. Roven, "Electronic Waste," in *Waste: A Handbook for Management*, T. Letcher and D. Vallero, eds., ed: Academic Press, 2011, pp. 281-296.
[39] C. Hagelüken, "Closing the loop - Recycling of automotive catalysts," *Metall,* vol. 61, 2007, pp. 24-39.
[40] European Aluminum Association, *Recycling,* 28 Jul. 2014; http://www.alueurope.eu/recycling2/
[41] Boliden, *Boliden Products,* 28 Jul. 28 2014; http://www.boliden.com/Products/
[42] Morita Chemical Industries, *Flourine Recycling Business,* 28 Jul. 2014; http://www.morita-kagaku.co.jp/en/company/recycle.html.
[43] European Commission, *Critical raw materials for the EU - Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials,* Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, Brussels, Belgium 2010.
[44] Molycorp, *Rare Metals Recycling & Upgrading*, 12 Aug. 2014; http://www.molycorp.com/about-us/our-facilities/rare-metals-facilities/services/
[45] Umicore. *Electro-Optic Materials Recycling Capabilities*. 12 Aug. 2014; http://eom.umicore.com/en/recycling/recycling/
[46] Umicore, *Precious Metals Refining Process*. 11 Aug. 2014; http://www.preciousmetals.umicore.com/PMR/Process/
[47] *Cobalt Commodity Profile*, British Geological Survey, Nottingham,UK, 2009.
[48] S. Glöser, M. Soulier, and L. A. Tercero Espinoza, "Dynamic Analysis of Global Copper Flows. Global Stocks, Postconsumer Material Flows, Recycling Indicators, and Uncertainty Evaluation," *Environmental Science & Technology,* vol. 47, 2013, pp. 6564-6572.
[49] J. Johnson, L. Schewel, and T. E. Graedel, "The Contemporary Anthropogenic Chromium Cycle," *Environmental Science & Technology,* vol. 40, 2006, pp. 7060-7069.
[50] LKAB, *Recycled refractory minerals*, 13 Aug. 2014; http://www.lkabminerals.com/en/Applications/Recycled-refractory-minerals/
[51] Jernkontoret, *Stålkretsloppet: En sluten tillverkning och användning av stål i samhället - Slutrapport 2004-2012*, D852, Jernkontoret, Stockholm, Sverige, 2012.

[52] J. W. Blossom, *Molybdenum recycling in the United States in 1998*, Open File Report 02-165, United States Geological Survey, Reston, VA, USA, 1998.
[53] Nickel Institute, *Recycling of Nickel,* 12 Aug. 2014; http://www.nickelinstitute.org/en/Sustainability/LifeCycleManagement/RecyclingofNickel.aspx
[54] B. K. Reck and T. E. Graedel, "Challenges in Metal Recycling," *Science,* vol. 337, 2012, pp. 690-695.
[55] Molycorp, *Rare Metal Facilities,* 12 Aug. 2014; http://www.molycorp.com/rareметals
[56] G. Kavlak and T. E. Graedel, "Global anthropogenic selenium cycles for 1940–2010," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 73, no. 4, 2013, pp. 17-22.
[57] JOGMEC, *Metal Recycling Project from Ni-H Batteries for Hybrid Electric Vehicles and Slag*, . Aug. 4 2014; http://www.jogmec.go.jp/english/metal/technology_016.html
[58] R. Otto and A. Woj taleWicz-Kasprzak, *Method for Recovery of Rare Earths from Fluorescent Lamps,* USA Patent 7976798, 2009.
[59] T. Langer, "Rare earth recovery from Urban Mines: Recycling of luminescent powder from fluorescent lamps.," proceedings *Electronic Recycling Asia*, Guangzhou, China, 2012.
[60] X. Du and T. E. Graedel, "Uncovering the Global Life Cycles of the Rare Earth Elements," *Scientific Reports,* vol. 1:145, 2011.
[61] T. Akahori and T. Saeki, "Recycling Process for Rare Earth Magnets in End of Life Electric Products," proceedings *The Minerals Metals and Materials Society 143rd Annual Meeting & Exhibition*, San Diego, CA, USA, 2014. 5 Aug. 2014; http://www.hitachi.com/rd/portal/conf/2014/tms/index.html
[62] J. Liu and C. Chinnasamy, "Rare Earth Magnet Recycling," *Rare Earth Elements Workshop*, Colorado, US, 2012.
[63] T. Vander Hoogerstraete, S. Wellens, K. Verachtert, and K. Binnemans, "Removal of transition metals from rare earths by solvent extraction with an undiluted phosphonium ionic liquid: separations relevant to rare-earth magnet recycling," *Green Chemistry,* vol. 15, 2013, pp. 919-927.
[64] FirstSolar, *Recycling Services*, 5 Aug. 2014; http://www.firstsolar.com/en/technologies-and-capabilities/recycling-services
[65] Umicore, *Recycling electronic scrap,* 29 Aug. 2014; http://www.preciousmetals.umicore.com/recyclables/eScrap/
[66] T. G. Goonan, *Titanium Recycling in the United States in 2004*, United States Geological Survey, Reston, Virginia, United States, 2010.
[67] T. G. Goonan, *Vanadium Recycling in the United States in 2004,* United States Geological Survey, Reston, Virginia, United States, 2011.
[68] Mistra, *Stålkretsloppet*, Aug 13 2014; http://www.mistra.org/forskning/genomford-forskning/stalkretsloppet.html
[69] K. B. Shedd, *Tungsten Recycling in the United States in 2000,* United States Geological Survey, Reston, Virginia, United States, 2011.
[70] T. E. Graedel, D. van Beers, M. Bertram, K. Fuse, R. B. Gordon, A. Gritsinin*, et al.*, "The Multilevel Cycle of Anthropogenic Zinc," *Journal of Industrial Ecology,* vol. 9, 2005, pp. 67-90.
[71] J. Wickström, "Från Skrot till Guld," *Energivärlden,* vol. 1, 2013, pp. 21-23.
[72] Sandvik Coromant, *Recycling is both environmentally sound and profitable*. Aug. 13 2014; http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/services/sustainability/pages/recycling.aspx
[73] WEEE forum, 1 Oct. 2014; http://www.weee-forum.org
[74] H. Böni, M. Schleup and R. Widmer, "Recycling of ICT Equipment in industrialized and developing countries," *ICT Innovations for Sustainability,* eds.L.M. Hilty and b. Aebischer, Springer International Publishing, Switzerland, 2015, pp. 223-241.
[75] P. Chancerel, V.S. Rotter, M. Ueberschaar, M. Marwede, N.F. Nissen, & K.D. Lang. "Data availability and the need for research to localize, quantify and recycle critical metals in information technology, telecommunication and consumer equipment." *Waste Management & Research*, vol. 31, no 10 suppl, 2013, pp. 3-16.
[76] Sopor.nu, Sveriges avfallsportal, *Statistik över olika avfallsslag*, 1 Oct 2014; http://www.sopor.nu/Rena-fakta/Avfallsmaengder/Statistik

[77] K., Hemström, Å. Stenmarck, L. Sörme, A. Carlsson, *Kartläggning av flöden och upplagrade mängder av elektriska och elektroniska produkter i Sverige 2010*, SMED rapport 105, SMHI, Norrköping, 2012.

[78] *Realize – realizing resource-efficient recycling of vehicles*, 1 Oct. 2014; http://www.chalmers.se/hosted/realize-sv

[79] K. Cullbrand, and O. Magnusson, *The use of potentially critical materials in passenger cars*, report 2012:13, Dept of Energy and Environment, Chalmers university of technology, Gothenburg, 2012.

[80] M. Andersson, M. Ljunggren Söderman, and B.A. Sandén, "Scarce metals in Swedish end-of-life vehicle recycling," P*roc. Symposium on Urban Mining*, Bergamo, Italy, 2014.

[81] P. Wäger, “Recovery of scarce metals from ELV: current developments in Switzerland,” *International Workshop on the Status and Future Perspectives on ELV Recycling*, Tokyo, Japan, 2014.

APPENDIX

Utrikeshandel

Import och export till och från Sverige har uppskattats med hjälp av data från FNs databas för handel med råvara, Comtrade [32]. Comtrade använder kategoriseringssystemet HS för att dela upp olika produkter och råvaror. Vi har sökt ut data för handel med råmaterial och halvfabrikat som tydligt kan kopplas till ett kandidatmaterial. Däremot har vi inte sökt ut data för färdiga produkter eftersom det skulle krävas en mycket mer omfattande analys för att koppla dessa till koppla innehåll av kandidatmaterial. Tabell A visar vilka HS-kategorier som inkluderats vid kartläggning av svensk utrikeshandel med kandidatmaterialen.

Tabell A. Materialkategorier HS för sökningen i Comtrade-databasen

Commodity Code	Commodity
76	Aluminium and articles thereof
2606	Aluminium ores and concentrates.
8110	Antimony and articles thereof, including waste and scrap.
261710	Antimony ores and concentrates
380190	Artificial graphite; colloidal or semi-colloidal graphite
2810	boron (oxides of); boric acids.
280450	Boron; tellurium
811229	Chromium : // -- Other
270400	Coke and semi-coke of coal, of lignite or of peat, whether or not agglomerated; retort carbon.
74	Copper and articles thereof
2603	Copper ores and concentrates.
252921	Fluorspar : // -- Containing by weight 97 % or less of calcium fluoride
252922	Fluorspar : // -- Containing by weight more than 97 % of calcium fluoride
7108	Gold (including gold plated with platinum) unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.
284330	Gold compounds
2520	Gypsum; anhydrite; plasters
2820	Inorganic chemicals; organic or inorganic compounds of precious metals, of rare-earth metals, of radioactive elements or of isotopes // Manganese oxides.
2601	Iron ores and concentrates, roasted iron pyrites
72	Iron and steel
720229	Iron and steel // Ferro-alloys. // - Ferro-silicon : // -- Other
73	Iron or steel (articles of)
2521	Limestone flux; limestone and other calcareous stone, of a kind used for the manufacture of lime or cement.
850650	Lithium (Primary cells and primary batteries.)

282520	Lithium oxide and hydroxide
251910	Magnesite
8104	Magnesium and articles thereof, including waste and scrap.
8111	Manganese and articles thereof, including waste and scrap.
2602	Manganese ores and concentrates, including ferruginous manganese ores and concentrates with a manganese content of 20 % or more, calculated on the dry weight.
270820	Mineral fuels, mineral oils and products of their distillation; bituminous substances; mineral waxes // Pitch and pitch coke, obtained from coal tar or from other mineral tars. // -Pitch coke
8102	Molybdenum and articles thereof, including waste and scrap.
2613	Molybdenum ores and concentrates.
2504	Natural graphite.
75	Nickel and articles thereof
2615	Niobium, tantalum, vanadium or zirconium ores and concentrates.
711029	Palladium semi-manufactured forms
711021	Palladium Unwrought or in powder form
2510	Phospahtes. Natural calcium phosphates, natural aluminium calcium phosphates and phosphatic chalk.
7110	Platinum, unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.
280530	Rare-earth metals, scandium and yttrium, whether or not intermixed or interalloyed
280490	Selenium
7106	Silver (including silver plated with gold or platinum), unwrought or in semimanufactured forms, or in powder form.
8103	Tantalum and articles thereof, including waste and scrap.
80	Tin and articles thereof
8108	Titanium and articles thereof, including waste and scrap.
2614	Titanium ores and concentrates.
8101	Tungsten (wolfram) and articles thereof, including waste and scrap.
2611	Tungsten ores and concentrates.
2608	Zinc ores and concentrates
79	Zinc and articles thereof

Av de kandidatmaterial som ingår i denna rapport saknas HS-kategorier och följaktligen data för beryllium, gallium, germanium, hafnium, indium, kobolt, rhenium, tellur och vismut .

I Tabell och Tabell anges handelsvärdena i nominella amerikanska dollar, USD. Värdena är alltså inte justerade för inflation. Då växelkurserna rapporterats i nationell valuta beräknas handelsvärdena i USD för import och export separat genom att väga den officiella månatliga växelkursen med den månatliga import- respektive exportvolymen. Mer information på http://comtrade.un.org/db/default.aspx.

Tabell B. Import av råvara och halvfabrikat av råvara till Sverige 2013 för alla materialkategorier i Tabell A (värde i USD) [34]

Commodity	Qty Unit	Qty	Trade Value (US$)
Iron and steel	No Quantity		4.36E+09
Iron or steel (articles of)	No Quantity		3.17E+09
Aluminium and articles thereof	No Quantity		1.43E+09
Copper and articles thereof	No Quantity		1.40E+09
Copper ores and concentrates.	No Quantity		5.79E+08
Nickel and articles thereof	No Quantity		4.43E+08
Zinc and articles thereof	No Quantity		9.39E+07
Molybdenum ores and concentrates.	Weight in kg	5987177	8.95E+07
Lithium (Primary cells and primary batteries.)	Number of items	12153059	7.33E+07
Titanium and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	2119542	5.44E+07
Gold (including gold plated with platinum) unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	1470	5.01E+07
Silver (including silver plated with gold or platinum), unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	49827	4.02E+07
Coke and semi-coke of coal, of lignite or of peat, whether or not agglomerated; retort carbon.	Weight in kg	98898000	3.47E+07
Iron and steel // Ferro-alloys. // - Ferro-silicon : // -- Other	Weight in kg	13743146	2.90E+07
Magnesium and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	3695646	1.30E+07
Manganese and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	4862426	1.27E+07
Platinum, unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	502	1.26E+07
Tungsten (wolfram) and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	420173	1.25E+07
Gypsum; anhydrite; plasters	Weight in kg	3,32E+08	1.16E+07
Iron ores and concentrates, roasted iron pyrites	Weight in kg	26079099	9.80E+07
Molybdenum and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	166224	6.60E+06
Tin and articles thereof	No Quantity		6.33E+06
Palladium Unwrought or in powder form	Weight in kg	262	5.51E+06
Limestone flux; limestone and other calcareous stone, of a kind used for the manufacture of lime or cement.	Weight in kg	2,31E+08	5.29E+06
Gold compounds	Weight in kg	105	4.00E+06
Aluminium ores and concentrates.	Weight in kg	13073000	3.33E+06
Natural graphite.	Weight in kg	919882	2.77E+06
Palladium semi-manufactured forms	Weight in kg	116	2.64E+06
boron (oxides of); boric acids.	Weight in kg	1770489	2.22E+06

Fluorspar : // -- Containing by weight 97 % or less of calcium fluoride	Weight in kg	5816419	2.13E+06
Lithium oxide and hydroxide	Weight in kg	236019	1.86E+06
Titanium ores and concentrates.	Weight in kg	660579	1.49E+06
Rare-earth metals, scandium and yttrium, whether or not intermixed or interalloyed	Weight in kg	63570	1.33E+06
Artificial graphite; colloidal or semi-colloidal graphite	Weight in kg	33541	8.42E+05
Fluorspar : // -- Containing by weight more than 97 % of calcium fluoride	Weight in kg	1000000	7.03E+05
Chromium : // -- Other	Weight in kg	24672	6.48E+05
Phospahtes. Natural calcium phosphates, natural aluminium calcium phosphates and phosphatic chalk.	Weight in kg	4953262	4.97E+05
Niobium, tantalum, vanadium or zirconium ores and concentrates.	No Quantity		4.45E+05
Antimony and articles thereof, including waste and scrap.	No Quantity		4.15E+05
Manganese ores and concentrates, including ferruginous manganese ores and concentrates with a manganese content of 20 % or more, calculated on the dry weight.	Weight in kg	506615	2.89E+05
Magnesite	Weight in kg	86836	1.21E+05
Tantalum and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	164	1.09E+05
Boron; tellurium	Weight in kg	17284	1.03E+05
Selenium	Weight in kg	27043	9.61E+04
Inorganic chemicals; organic or inorganic compounds of precious metals, of rare-earth metals, of radioactive elements or of isotopes // Manganese oxides.	Weight in kg	59257	7.37E+04
Zinc ores and concentrates	Weight in kg	32692	7.42+E04
Mineral fuels, mineral oils and products of their distillation; bituminous substances; mineral waxes // Pitch and pitch coke, obtained from coal tar or from other mineral tars. // -Pitch coke	Weight in kg	33000	6.57E+04
Antimony ores and concentrates	Weight in kg	79	4.61E+02
Tungsten ores and concentrates.	Weight in kg	14	3.07E+02

Tabell C. Export av råvara och halvfabrikat av råvara till Sverige 2013 för alla materialkategorier i Tabell A (värde i USD). [34]

HS Category	Quantity Unit Code	Netweight (kg)	Trade Value (USD)
Iron and steel	No Quantity		6.57E+09
Iron or steel (articles of)	No Quantity		2.95E+09
Iron ores and concentrates, roasted iron pyrites	Weight in kg	2.35E+10	2.94E+09
Aluminium and articles thereof	No Quantity		1.75E+09
Copper and articles thereof	No Quantity		1.74E+09
Gold (including gold plated with platinum) unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	15512	7.29E+08
Silver (including silver plated with gold or platinum), unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	445563	3.42E+08
Zinc ores and concentrates	Weight in kg	3.33E+08	2.41E+08
Nickel and articles thereof	No Quantity		1.41E+08
Titanium and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	996866	4.59E+07
Zinc and articles thereof	No Quantity		3.29E+07
Tungsten (wolfram) and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	571679	1.88E+07
Limestone flux; limestone and other calcareous stone, of a kind used for the manufacture of lime or cement.	Weight in kg	1.58E+09	1.85E+07
Rare-earth metals, scandium and yttrium, whether or not intermixed or interalloyed	Weight in kg	65000	4.85E+06
Coke and semi-coke of coal, of lignite or of peat, whether or not agglomerated; retort carbon.	Weight in kg	2.618E+07	3.95E+06
Gypsum; anhydrite; plasters	Weight in kg	6524159	2.90E+06
Magnesium and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	386871	2.55E+06
Platinum, unwrought or in semi-manufactured forms, or in powder form.	Weight in kg	94	2.43E+06
Tin and articles thereof	No Quantity		2.09E+06
Palladium Unwrought or in powder form	Weight in kg	67	1.54E+06
Gold compounds	Weight in kg	60	1.34E+06
Manganese and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	98000	7.65E+05
Fluorspar Containing by weight 97 % or less of calcium fluoride	Weight in kg	11598000	7.63E+05
Molybdenum ores and concentrates.	Weight in kg	54000	7.33E+05
Molybdenum and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	20287	7.03E+05
Natural graphite.	Weight in kg	181512	6.48E+05
boron (oxides of); boric acids.	Weight in kg	580453	5.90E+05
Boron; tellurium	Weight in kg	17000	3.47E+05
Selenium	Weight in kg	17000	3.47E+05
Phospahtes. Natural calcium phosphates, natural aluminium calcium phosphates and phosphatic chalk.	Weight in kg	1557000	3.20E+05
Artificial graphite; colloidal or semi-colloidal graphite	Weight in kg	5115	1.23E+05
Titanium ores and concentrates.	Weight in kg	42403	1.13E+05
Fluorspar Containing by weight more than 97 % of calcium fluoride	Weight in kg	72000	1.10E+05
Aluminium ores and concentrates.	Weight in kg	87717	5.64E+04

Inorganic chemicals; organic or inorganic compounds of precious metals, of rare-earth metals, of radioactive elements or of isotopes // Manganese oxides.	Weight in kg	32079	5.42E+04
Chromium :Other	Weight in kg	1276	4.55E+04
Niobium, tantalum, vanadium or zirconium ores and concentrates.	No Quantity		4.42E+04
Tungsten ores and concentrates.	Weight in kg	1000	3.95E+04
Manganese ores and concentrates, including ferruginous manganese ores and concentrates with a manganese content of 20 % or more, calculated on the dry weight.	Weight in kg	10000	2.76E+04
Tantalum and articles thereof, including waste and scrap.	Weight in kg	32	1.93E+04
Palladium semi-manufactured forms	Weight in kg	1	1.31E+04
Antimony and articles thereof, including waste and scrap.	No Quantity		1.24E+04
Copper ores and concentrates.	No Quantity		4.76E+03
Lithium oxide and hydroxide	No Quantity		2.92E+03
Magnesite	No Quantity		6.14E+02
Antimony ores and concentrates	Weight in kg	43	3.07E+02

Industrins varuproduktion

Tabell D. Industrins varuproduktion- Varor på kapitelnivå 2007-2012, produktionsvärden i miljoner SEK. Sorterat på produktionsvärde år 2012 i fallande ordning [34].

Kapitel	Beskrivning	2007 [Mkr]	2008 [Mkr]	2009 [Mkr]	2010 [Mkr]	2011 [Mkr]	2012 [Mkr]	2012 [%]
84	Kärnreaktorer, ångpannor, maskiner, apparater och meka-niska redskap; delar till sådana varor	218 705	222 971	163 636	181 569	207 273	193 118	14.22
87	Fordon, andra än rullande järnvägs- eller spårvägsma-teriel, samt delar och tillbehör till fordon	211 068	187 192	107 753	143 668	175 101	150 545	11.09
27	Mineraliska bränslen, mineraloljor och destillat-ionsproduk-ter av dessa; bituminösa ämnen; mine-ralvaxer	78 595	109 250	84 616	103 095	116 043	137 008	10.09
48	Papper och papp; varor av pappersmassa, papper eller papp	92 211	92 568	89 994	92 404	95 592	88 481	6.52
85	Elektriska maskiner och apparater, elektrisk mate-riel samt delar till sådana varor; apparater för in-spelning eller åter-givning av ljud, apparater för inspelning eller återgivning av bilder och ljud för tele-vision samt delar och tillbehör till sådana appa-rater	135 776	136 591	119 137	126 226	81 634	70 254	5.17
72	Järn och stål	97 892	94 184	54 520	78 658	85 010	70 132	5.17
44	Trä och varor av trä; träkol	76 969	67 785	63 220	69 819	69 091	65 198	4.80
30	Farmaceutiska produkter	48 942	41 219	54 924	52 224	50 242	46 422	3.42
73	Varor av järn eller stål	48 730	49 052	38 019	40 475	44 724	43 360	3.19
94	Möbler; sängkläder, madrasser, resårbottnar till sängar, kuddar och lik-nande stoppade inred-ningsartiklar; belys-ningsarmatur och andra belysningsartiklar, inte nämnda eller inbegripna någon annanstans; ljusskyl-tar, namnplåtar med be-lysning, o.d.; monterade eller monteringsfärdiga byggnader	50 417	50 145	38 149	41 794	45 019	41 429	3.05
39	Plaster och plastvaror	44 238	43 638	38 329	35 542	37 669	35 315	2.60
26	Malm, slagg och aska	22 088	26 370	16 518	36 018	39 394	35 137	2.59

90	Optiska instrument och apparater, foto- och kino-apparater, instrument och apparater för mätning eller kontroll, medi-cinska och kirurgiska instrument och apparater; delar och tillbe-hör till sådana artiklar	35 546	35 371	35 254	33 484	31 115	28 419	2.09
2	Kött och ätbara slaktbipro-dukter	18 584	20 762	21 727	21 616	22 411	22 982	1.69
47	Massa av ved eller andra fibrösa cellulosahaltiga material; papper eller papp för återvinning (avfall och förbrukade varor)	22 860	22 689	19 371	25 581	23 370	21 487	1.58
19	Beredningar av spannmål, mjöl, stärkelse eller mjölk; bak-verk	18 780	20 437	20 475	20 480	21 052	21 210	1.56
74	Koppar och varor av kop-par	21 083	20 879	15 656	21 845	23 149	20 923	1.54
4	Mejeriprodukter; fågelägg; naturlig honung; ätbara produk-ter av animaliskt ursprung, inte nämnda eller inbegripna någon annanstans	17 536	19 702	18 487	18 530	18 765	19 346	1.42
29	Organiska kemikalier	17 291	18 794	16 456	16 063	17 528	19 057	1.40
22	Drycker, sprit och ättika	16 061	15 820	16 788	16 894	16 426	16 988	1.25
38	Diverse kemiska produkter	13 681	14 565	13 915	13 846	16 332	16 292	1.20
82	Verktyg, redskap, knivar, skedar och gafflar av oädel metall; delar av oädel metall till sådana artiklar	15 736	15 836	10 883	14 079	14 376	15 060	1.11
16	Beredningar av kött, fisk, kräftdjur, blötdjur eller andra ryggradslösa vatten-djur	14 962	14 165	15 362	14 242	14 213	14 445	1.06
68	Varor av sten, gips, ce-ment, asbest, glimmer eller liknande material	12 499	13 479	11 467	11 849	13 105	13 082	0.96
76	Aluminium och varor av aluminium	19 143	15 451	10 790	12 546	13 285	12 980	0.96
25	Salt; svavel; jord och sten; gips, kalk och cement	9 193	10 782	9 660	11 290	12 439	12 561	0.93
32	Garvämnes- och färgäm-nesextrakter; garvsyror och garvsy-raderivat; pigment och andra färgämnen; lacker och andra målnings-färger; kitt och andra tätnings- och utfyllnings-me-del; tryckfärger, bläck och tusch	10 804	10 401	10 187	10 367	10 343	10 724	0.79

71	Naturpärlor och odlade pärlor, ädelstenar och halvädelste-nar, ädla metaller och metaller med plätering av ädel metall samt varor av sådana produkter; oäkta smycken; mynt	4 523	5 347	5 975	6 878	8 152	9 215	0.68
23	Återstoder och avfall från livsmedelsindustrin; beredda fodermedel	6 077	7 721	7 399	7 618	8 478	8 813	0.65
40	Gummi och gummivaror	8 859	8 279	6 502	7 421	8 612	7 793	0.57
70	Glas och glasvaror	7 201	7 192	6 432	6 643	7 018	6 673	0.49
21	Diverse ätbara beredningar	5 593	5 973	6 396	6 273	6 069	6 214	0.46
28	Oorganiska kemikalier; organiska och oorganiska föreningar av ädla metaller, av sällsynta jordartsmetaller, av radioak-tiva grundämnen och av isotoper	6 842	6 546	6 671	6 533	6 140	6 154	0.45
20	Beredningar av grönsaker, frukt, bär, nötter eller andra växtdelar	4 533	4 565	4 866	4 974	5 366	5 137	0.38
9	Kaffe, te, mate och kryddor	3 535	4 302	4 260	3 671	4 225	4 764	0.35
96	Diverse artiklar	820	865	843	994	989	4 749	0.35
34	Tvål och såpa, organiska ytaktiva ämnen, tvättmedel, smörjmedel, konstgjorda vaxer, beredda vaxer, puts- och skurmedel, ljus och liknande artiklar, modelleringspastor, s.k. dentalvax samt dentalpreparat på basis av gips	4 112	4 016	4 673	4 806	5 102	4 693	0.35
15	Animaliska och vegetabiliska fetter och oljor samt spalt-ningsprodukter av sådana fetter och oljor; beredda ätbara fetter; animaliska och vegetabiliska vaxer	3 769	4 780	4 472	3 932	4 456	4 644	0.34
88	Luftfartyg och rymdfarkoster samt delar till sådana	4 692	4 717	4 978	5 304	6 204	4 337	0.32
17	Socker och sockerkonfektyrer	3 531	4 171	4 152	4 335	3 943	4 197	0.31
86	Lok och annan rullande järnvägs- och spårvägsmateriel samt delar till sådan materiel; stationär järnvägs- och spårvägsmateriel samt delar till sådan materiel; mekanisk (inbe-gripet elektromekanisk) trafiksignaleringsutrustning av alla slag	3 651	3 581	3 605	2 957	4 834	4 057	0.30
24	Tobak samt varor tillverkade av tobaksersättning	2 591	3 078	3 502	3 921	3 798	4 043	0.30

83	Diverse varor av oädel metall	5 795	5 570	4 686	4 693	4 110	3 989	0.29
11	Produkter från kvarnindustrin; malt; stärkelse; inulin; vete-gluten	3 009	3 925	3 167	2 817	3 154	3 292	0.24
35	Proteiner; modifierad stärkelse; lim och klister; enzymer	2 298	2 346	2 298	2 082	2 342	2 412	0.18
69	Keramiska produkter	2 529	2 189	2 111	2 155	1 915	1 802	0.13
33	Eteriska oljor och resinoider; parfymerings-, skönhets- och kroppsvårdsmedel	1 027	1 298	1 667	1 793	1 666	1 713	0.13
18	Kakao och kakaoberedningar	3 434	3 948	3 186	1 743	1 622	1 623	0.12
31	Gödselmedel	1 066	1 355	1 284	1 521	1 456	1 571	0.12
3	Fisk samt kräftdjur, blötdjur och andra ryggradslösa vatten-djur	962	1 111	1 430	1 679	1 644	1 561	0.11
56	Vadd, filt och bondad duk; specialgarner; surrningsgarn och tågvirke samt varor av sådana produkter	1 173	1 569	1 278	1 359	1 534	1 534	0.11
59	Impregnerade, överdragna, belagda eller laminerade textil-vävnader; textilvaror för tekniskt bruk	2 464	1 762	1 591	1 593	1 475	1 428	0.11
95	Leksaker, spel och sportartiklar; delar till sådana artiklar	1 419	1 282	1 199	1 344	1 282	1 258	0.09
78	Bly och varor av bly	1 309	895	715	957	892	948	0.07
7	Grönsaker samt vissa ätbara rötter och stam- eller rotknölar	779	799	1 028	867	848	784	0.06
81	Andra oädla metaller; kermeter; varor av dessa material	794	798	614	651	474	668	0.05
41	Oberedda hudar och skinn (andra än pälsskinn) samt läder	1 056	594	428	623	709	633	0.05
8	Ätbar frukt samt ätbara bär och nötter; skal av citrusfrukter eller meloner	188	557	368	569	548	562	0.04
60	Dukvaror av trikå	472	492	428	453	406	518	0.04
75	Nickel och varor av nickel	1 177	779	426	644	614	478	0.04
57	Mattor och annan golvbeläggning av textilmaterial	293	306	290	359	394	422	0.03
92	Musikinstrument; delar och tillbehör till musikinstrument	175	191	203	234	248	255	0.02
54	Konstfilament	136	131	185	231	141	170	0.01
79	Zink och varor av zink	239	227	134	168	180	153	0.01
58	Speciella vävnader; tuftade dukvaror av textilmaterial; spetsar; tapisserier; snörmakeriarbeten; broderier	239	191	137	143	145	133	0.01

91	Ur och delar till ur	256	235	365	268	332	106	0.01
5	Produkter av animaliskt ursprung, inte nämnda eller inbe-gripna någon annanstans	66	48	68	59	69	74	0.01
55	Konststapelfibrer	136	114	70	84	69	71	0.01
51	Ull samt fina eller grova djurhår; garn och vävnader av tagel	76	68	52	70	109	64	0.00
52	Bomull	115	42	42	46	41	34	0.00
12	Oljeväxtfrön och oljehal-tiga frukter; diverse andra frön och frukter; växter för industriellt eller medicinskt bruk; halm och foderväxter	6	11	8	8	11	12	0.00
53	Andra vegetabiliska textil-fibrer; pappersgarn och vävnader av pappersgarn	62	65	20	18	18	8	0.00
10	Spannmål	11	18	13	7	4	4	0.00
80	Tenn och varor av tenn	50	63	45	86	5	0	0.00
	SUMMA	**1491103**	**1500218**	**1221564**	**1371798**	**1428555**	**1357730**	**100**

Rapport som beskriver mängder och potential för återvinning av olika metaller från elektronikavfall som del av rapporter i uppdraget ” **Regeringsuppdraget att Kartlägga och analysera utvinnings- och återvinningspotentialen för metall och mineral i Sverige”,** utarbetad av Stena Metall AB på uppdrag av Naturvårdsverket, Juli 2014.

1 Bakgrund

Stena Metall AB bedriver främst återvinningsverksamhet i norra Europa. Dotterbolaget Stena Technoworld AB är en av de större återvinnarna av elektronikavfall i Europa med verksamhet i Sverige, Norge, Finland, Danmark, Polen, Österike och Italien.

Underlaget i rapporten kommer från dels Elkretsens statistik och erfarenheter från den operativa verksamheten inom Stena.

Då Stena inte har någon återvinningsverksamhet i Sverige för ljuskällor eller batterier utgörs underlaget i det fallet av det som Elkretsen rapporterar. Några siffror på mängder REM från ljuskällor och batterier finns därför inte med i tabellerna i fliken ”Mängder”.

2 Resultat och slutsatser

Utvecklingen de senaste 10 åren för elektronikprodukter har varit mycket snabb, och förväntas fortsätta. Försäljningen av exv ”tjock TV-apparater” (CRT) upphörde helt för ca 5 år sedan. För 10 år sedan kom i princip inga platta TV-apparater, som ersatt CRT, in som avfall. Livscykeln för många produkter blir kortare. Låga halter av mer ovanliga metaller, som sällsynta jordartsmetaller finns i allt fler produkter, vilket dock inte framgår i någon produktdokumentation som är tillgänglig för kunden eller återvinnaren.

Ett av flera EU-projekt inom detta område, Greenelec
http://www.eniac.eu/web/downloads/projectprofiles/pp_call4_greenelec.pdf,

http://www.hitech-projects.com/euprojects/greenelec/ kommer under hösten rapportera uppskattade mängder av olika grundämnen i olika produkter.
http://www.cit.chalmers.se/project/greenelec-design-och-tillverkning-effektivare-atervinning/

Återvinningen av basmetaller som Fe, Al och Cu fungerar relativt väl i Sverige. Följande huvudsakliga osäkerheter gör att många andra metaller inte återvinns:

1. Värdet på metallen varierar över tid, med tillgången, renheten, etc. vilket gör att grunden för att våga investera i en återvinningsanläggning saknas.
2. Mängderna metall i produkter som skall återvinnas är ofta okända.
3. Många av dessa metaller finns i designen tillsammans och blandat med andra ämnen som gör det kostsamt att sortera ut.

Omfattningen av analyser på de mer udda metallerna är mycket begränsad och många kommersiella laboratorier har bara de senaste åren erbjudit analyspaket som innehåller dessa grundämnen varför det statistiska underlaget är litet.

Kortfattat är det bara basmetallerna och ädelmetallerna som kommer in till återvinnare som återvinns. Förlusterna av ädelmetaller finns främst i material som inte lämnas in för materialåtervinning utan energiåtervinns i Sverige.

I bifogad excel-fil framgår vår bedömda årliga omsättning av olika grundämnen i elektronikprodukter, om mängderna bedöms minska eller öka den kommande 5 årsperioden, hur mycket som återvinns samt hur mycket som finns i Svenska deponier, antingen i slagg eller som en finfraktion (< 7 mm stora bitar).

Rapporten har utarbetats av Sverker Sjölin på Stena Technoworld, Björn Hall på Stena Recycling International och Christer Forsgren på Stena Recycling International.

För noteringarna,

Christer Forsgren, 10e Juli 2014

Deponier som gruvor

Förekomst och förutsättningar för att utvinna basmetaller från svenska deponier

Nils Johansson

Inst. för Ekonomisk och Industriell Utveckling
Avd. Industriell miljöteknik
Linköpings universitet
581 83 Linköping

1. INTRODUKTION

Ända sedan den första gruvan i de paleolitiska samhällena för 450 000 år sedan (Lewis och Clark, 1964) har människan successivt flyttat metallresurser från jordskorpan in till samhället i byggnader, infrastruktur, produkter och avfallshögar. Det pågår således ett *geologiskt skifte* (Johansson, 2013), som accelererade i samband med industrialiseringen, där metaller omlokaliseras till den bebyggda miljön på bekostnad av de geologiska reserverna. Vissa forskare menar att människan har blivit en geologisk kraft så till den grad att för vissa metaller som järn och koppar är mängderna jämförbara i samhället med reserverna i jordskorpan (Lichtensteiger, 2002;. Elshkaki et al, 2004; Spatari et al. 2005, Müller et al, 2006; Halada et al, 2009; Johansson, 2013).

Soptippar, eller mer formellt deponier, är ett av förråden ovanför jordytan som har fått allt mer uppmärksamhet, eftersom de i sin roll av att vara i slutet av materialflödet fångar upp en stor andel av metallerna på ett avgränsat område. Om deponier definieras i vid mening till att inkludera alla former av avfallsupplag, dvs. även till exempel gruvavfall, så återfinns troligen 50 % av alla uppgrävda metaller i dessa inaktiva förråd (Johansson et al., 2013; Kapur, 2006; Graedel and Kapur 2006). Ur ett globalt perspektiv innebär detta att exempelvis mängden koppar i avfallsupplag motsvarar hälften av de kvarvarande mängderna i jordskorpans reserver (Johansson et al., 2013).

Även om avfallsupplag avgränsas till inflöden av industriellt avfall (exklusive gruvavfall) och hushållsavfall så är metallinnehållet signifikant. Materialflödesanalyser av koppar och järn har påvisat att mellan 10-20 % av metallerna ovanför jordytan finns i dessa förråd (Johansson et al., 2013). Visserligen är deponering av hushållsavfall idag begränsad, men sedan industrialiseringen har deponeringen varit den vanligaste avfallshaneringsmetoden i Sverige. Detta innebär att i stort sett varje by har sin egen soptipp med stora mängder metaller och andra resurser placerade på hög. Uppskattningsvis finns över 4000 kommunala soptippar i Sverige med varierande storlek (Frändegård et al., 2013).

Vid sidan av kommunala soptippar finns det även industriella soptippar som är placerade direkt i anknytning till en verksamhet. Uppskattningar har antytt att det finns upp till 1000 industriella

soptippar i Sverige. Till skillnad från hushållsavfall deponeras fortfarande signifikanta mängder industriellt avfall i form av till exempel schaktmassor och aska (Naturvårdsverket, 2012a). Det saknas dock mer detaljerade studier av mängderna av olika metaller i industriella och kommunala deponier samt de tekniska och institutionella förutsättningarna för att bryta dessa metaller. Kan deponier vara framtidens gruvor?

1.1. MÅLBESKRIVNING

Som en följd av den svenska Mineral strategin har Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) fått i uppdrag av regeringen att i samråd med Naturvårdsverket genomföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotentialen för olika metall- och mineraltillgångar i Sverige. Kartläggningen ska redovisa fyndpotentialen för de svenska metall- och mineraltillgångarna. Resultatet ska utgöra en delmängd av de underlag som behövs för att stimulera till en effektivare användning av svenska metall- och mineralresurser. Som en del i detta ingår att utreda återvinningspotentialen för metaller i deponier.

Målet med den här rapporten är att redovisa förekomsten av basmetaller i deponier. För att utröna återvinningspotentialen är dock inte bara materiella villkor avgörande utan även tekniska, ekonomiska och institutionella möjligheter att få upp metallerna från deponier. Huvudfokus i rapporten kommer att ligga på prospektering av mängden basmetaller i deponier, men kompletteras med en diskussion om tekniska, ekonomiska och institutionella villkor för metallutvinning från deponierna. Rapporten baseras på forskning om Landfill mining på avdelningen för Industriell Miljöteknik vid Linköpings Universitet.

I denna rapport kommer deponier att delas upp i kommunala respektive industriella deponier, i och med att kommunala deponier är relativt jämförliga i sin sammansättning medan industriella deponier är mer olika varandra beroende på verksamhet. Möjligheterna till att uppskatta metallmängder såväl som förutsättningar för utvinning av metaller är således olika för industriella och kommunala deponier. Det bör dock nämnas att kommunala deponier ofta innehåller en varierande blandning av hushållsavfall och industriellt avfall.

2. METALLMÄNGDER I KOMMUNALA DEPONIER

Den sammanlagda mängden skrot och andra resurser i Sveriges kommunala deponier med icke farligt avfall har tidigare rapporterats av Frändegård et al (2013). Genom att komplettera Avfalls Sveriges (1997, 2003, 2007) deponeringsstatistik med inventeringar av soptippar i Linköping (Linköpings kommun, 2008) och Växjö (Naturvårdsverket, 1990) kom de fram till att Sveriges samtliga 4000 kommunala soptippar innehåller runt 365 miljoner ton material. Det genomsnittliga metallinnehållet för dessa soptippar beräknades genom medelvärde från litteraturstudier av soptippar till 4,5 %, vilket innebär att Sveriges kommunala deponier innehåller cirka 16 miljoner ton metaller i skrotform. Den sammanlaga mängden metaller delades därefter upp enligt historiska konsumtionsmönster i Sverige av 80 % järn och 20 % icke järnhaltiga metaller (Naturvårdsverket, 1996), till 13 miljoner ton järn och 3 miljoner ton övriga metaller, icke-järnhaltiga.

Förekomsten av olika basmetaller i gruppen med övriga icke järnhaltiga metaller kan uppskattats utifrån vissa antaganden. Ett sätt att undersöka fördelningen av olika basmetaller i dessa 3

miljoner ton övriga metaller är att utgå från fördelningen av basmetallsproduktionen mellan åren 1930-2000. En sådan jämförelse bygger på att basmetaller som produceras når användning, återvinns i bästa fall 2-3 gånger för att därefter hamna på deponin (Matsuno et al., 2007; Eckelman & Daigo, 2008*;* Eckelman et al., 2012). Av den totala mängden basmetaller som bröts globalt under denna tidsperiod var ungefär 33 % aluminium, 21 % koppar, 21 % krom 16 % zink och 9 % bly (BGS, 2013). Utifrån den fördelningen skulle det innebära att Sveriges kommunala deponier innehåller runt 1 miljon ton aluminium, 600 000 ton koppar, 600 000 ton krom, 500 000 zink och 300 000 ton bly.

Ett annat alternativ är att titta direkt på fördelningen av basmetaller i användning. Eftersom användning är steget precis innan soptippen i materialflödet är troligen fördelning av icke järnhaltiga metaller jämförbar. FNs miljöorganisation UNEP (2010) har genom en litteraturgenomgång beräknat mängderna av metaller i användning för ett mer ekonomsikt utvecklat land som exempelvis Sverige. Enligt UNEPs (2010) uppskattningar av icke-järnhaltiga basmetallerna i användning utgjorde ungefär 42 % aluminium, 22 % koppar, 14 % zink, 13 % rost-fritt och bly 8 % och 3 % krom. Utifrån den fördelningen skulle det innebära att Sveriges kommunala deponier innehåller runt 1.2 miljoner ton aluminium, 600 000 ton koppar, 400 000 ton zink, 400 000 rost-fritt, 300 000 ton bly och 100 000 ton krom. Anledningen till att krom är mycket lägre i användning än i gruvproduktion är att en stor del av kromet används i olika rostfria legeringar och redovisas således delvis under rost-fritt.

Uppskattningen av mängden basmetaller i soptippen visar på att det finns stora mängder skrot i svenska kommunala deponier, se tabell 1. I kommunala deponier finns, utöver de sedan tidigare uppskattade 13 miljoner ton järn (Frändegård et al., 2013), runt 1.1 miljoner ton aluminium, 600 000 ton koppar, 500 000 ton zink, 300 000 ton bly och jämförbara mängder krom.

Tabell 1. Översikt av mängden skrot i svenska kommunala deponier. Mängderna varierar något beroende på uppskattningsmetod och om de redovisas som förekomst i legeringar.

Metall	Mängd (ton)
Järn	13 000 000
Aluminium	1 000 000-1 200 000
Koppar	600 000
Zink	400 000-500 000
Bly	300 000
Krom	100 000-600 000

En stor andel basmetaller inkluderades dock inte i Frängdegård et al (2013) uppskattning, eftersom plockanalyser oftast avgränsas till en viss materialstorlek mellan till exempel 4 cm och cirka 20 cm (Karlsson och Åslund, 2014). Metallkoncentrationen kan dock vara högre i större materialstorlekar, med tanke på att många metalliska föremål är stora till exempel kylskåp eller stålbalkar. Dessutom har metaller i vissa fall, till exempel elavfall, kategoriserats som farligt avfall. I Gladsax sorterades emellertid elavfall ut och utgjorde upp till 0.5 % av innehållet (Hogland et al., 2004). Med tanke på att elavfall innehåller runt 7 % koppar och 5 % aluminium (Widmer et al., 2005) så är troligen innehållet av metaller högre än de 16 miljoner ton som Frändegård et al (2013) kom fram till. Dessutom finns det även hel del metaller som är kemiskt bundet i små partiklar i en kommunal deponi och således svårtillgängligt för traditionell återvinningsteknik. Det

saknas heltäckande studier av hur mycket metaller totalt som finns kemiskt bundet i kommunala deponier. Krook et al. (inskickad) har dock uppskattat att i svenska kommunala deponier finns 800 000 ton aluminium, 73 000 ton titan, och 60 000 ton koppar kemiskt bundet i aska från avfallsförbränning.

2.1. METALLERNAS LOKALISERING

På ett nationellt plan finns kommunala soptippar geografiskt koncentrerade enligt befolkningstäthet och således framförallt i södra Sverige. Kommunala soptipparna har i regel lokaliserats i utkanten av samhällen, men städer med kraftig expansion har ofta vuxit i kapp och ibland över soptippar. Bara inom Linköpings kommun (2008) finns det 19 soptippar och fler upptäcks löpande i samband med olika grävprojekt.

Troligen är relativt nya deponier de mest intressanta ur metallsynpunkt, eftersom metallinnehållet i hushållsavfall har ökat i takt med den ökade metallkonsumtionen (Hogland, 1996). Sedan 90-talet och producentansvaret har dock allt mer metaller sorterats ut vilket har minskat innehållet av metaller i det osorterade hushållsavfallet som skickades till deponi. Detta innebär att soptippar med hushållsavfall från 70- och 80-talen troligen är de kommunala soptipparna med högst metallinnehåll eftersom metallkonsumtionen var relativt högt under denna tidsperiod samtidigt som metallerna inte sorterades ut innan deponeringen[1]. Idag deponeras inte hushållsavfall direkt utan i form av aska efter avfallsförbränning. Sedan mitten av 2000-talet sorteras dock kvarvarande metaller ut från hushållsavfallet vid förbränningsverket (Krook et al, inskickad), vilket gör att skrotförekomsten är låg i den aska som deponerats i kommunala deponier under de senaste 10-15 åren.

3. METALLMÄNGDER I INUDSTRIELLA DEPONIER

En kartläggning av metallinnehållet i Sveriges industriella deponier har tidigare inte gjorts, på grund av att industriella deponier är alltför olika varandra för att skala upp nationella antaganden utifrån enskilda soptippar. Vissa industriella soptippar tillhörande exempelvis smältverk, skrotupplag och fragmenteringsanläggningar kan innehålla höga metallhalter, medan andra industriella soptippar såsom schaktdeponier med jord, grus och stenar eller sågverksdeponier med trä helt saknar metaller i skrotform. Krook et al. (inskickad) har dock beräknat att det finns cirka 100 000 ton järnskrot och 25 000 ton skrot av icke järnhaltiga metaller i avfallsförbränningsaskor lokaliserade till farligt avfallsdeponier. Utöver askan saknas nationella antaganden, varför istället enskilda exempel kommer belysas som kan antas ha särskilt hög förekomst av basmetaller.

En typ av industriell soptipp som troligen är särskilt intressant är deponier i anslutning till skrothantering, som till exempel fragmentering. I synnerhet är mängderna av icke-järnhaltiga metaller signifikanta, i och med att endast järn återvanns under en lång period. En förstudie av den materiella sammansättningen av Stenas fragmenteringsdeponi i Halmstad visade till exempel på 16 000 koppar och kopparkoncentrationer på över 11 % i vissa delar av deponin (Alm et al., 2006). Tidigare analyser har även visat att förekomsten av icke järnhaltiga metaller i avfall som

[1] Det bör dock tilläggas att dåtidens avfallsarbetare har vittnat om att metaller ibland sorterades och såldes informellt av verksamma på soptippen innan avfallet deponerades. Detta kan innebära att stora och rena metallföremål i vissa soptippar redan kan vara bortsorterade.

skickas till fragmenteringsanläggningar såväl som deponeras kan vara över 10 % (Vermeulen et al. 2011). Stena har dessutom en annan deponi i Hallstahammar som är ungefär 3/5 så stor som den i Halmstad (Lorentsson, 2014), samtidigt som det finns minst tio andra skrotdeponier runt om i Sverige (Naturvårdsverket, 2012b) med troligen stora mängder metaller.

Precis som i kommunala deponier finns det i industriella deponier även metaller i kemiskt bunden form och således tekniskt svårtillgängligt. Bara i askor på farligt avfallsdeponier finns det till exempel 110 000 ton aluminium, 14 000 titan och 6 000 ton koppar kemiskt bundet. Det finns även stora mängder metaller kemiskt bundet i metallhydrooxidslam, som ofta är en restprodukt från vattenrening. Dock saknas nationella siffror eftersom det är svårt att skala upp enskilda exempel på slam till nationella antaganden i och med att sammansättningen av slammet skiljer sig markant mellan olika typer av industrier (Netpradita, 2003; Santos, 2008). Koncentrationen i vissa typer av slam kan dock vara så hög som till exempel 20 % zink (Santos, 2008). Enligt Naturvårdsverket (2012b) finns det åtminstone åtta industriella soptippar med mer eller mindre uteslutande metallhydroxidslam, samtidigt som detta avfall precis som annat industriellt avfall även förekommer i kommunala soptippar (Tanha och Zarrate, 2012).

3.1. METALLERNAS LOKALISERING

Industriella soptippar har i regel lokaliserats i omedelbar närhet till den specifika verksamheten och finns relativt utspridda i Sverige. Som tidigare nämnt varierar dock metallinnehållet mycket mellan olika typer av industriella deponier. I och med att den industriella processen sällan är helt effektiv är i synnerhet deponier i anknytning till olika typer av metallhantering intressanta; i början av metallernas livscykel vid smältverk, gjuterier, anrikningsverk och smedjor såväl som i slutet av metallernas livscykel vid fragmenteringsanläggningar, skrotar och avfallsförbränningsverk.

Till skillnad från kommunala soptipparna har troligen industriella soptippar högre metallkoncentrationer desto äldre de är, med tanke på att den tekniska utvecklingen har över tid effektiviserat industriella processer och minskat förlusten av värdefulla metaller till avfallet. Ett sådant exempel är deponier tillhörande fragmenteringsanläggningar där alla metaller förutom järn deponerades till en början. Ett annat exempel är anrikningsverk, där kopparkoncentration i avfallet som deponerades föll från 0.75 % till 0.14 % under 1900-talet (Gordon, 2002).

4. EKONOMISKA, TEKNISKA OCH INSITUTIONELLA VILLKOR

Den största återvinningspotentialen finns troligen i metaller under användning. Uppskattningsvis finns mer än 50 % av alla metaller ovanför jordytan, en gång brutit från jordskorpan, i användning. Om UNEPs (2010) uppskattningar för mängder metaller i användning per capita för ett mer ekonomiskt utvecklad land appliceras på Sverige så skulle det innebära att det i Sverige finns runt 100 000 000 ton järn, 70 000 000 ton stål, 4 000 000 ton aluminium, 2 000 000 ton koppar, 1 300 000 ton zink och 800 000 ton bly i användning (tabell 2). Jämförandevis kan det nämnas att det finns runt 1 100 000 ton aluminium, 600 000 ton koppar, 500 000 ton zink och 300 000 ton bly i svenska kommunala deponier. Mängden metaller i soptippar är visserligen lägre än i användning, men å andra sidan fyller metallerna i användning en funktion och blir först tillgängliga när de övergår till avfall. Fördelen med metallerna i soptippar är således att de ofta är direkt tillgängliga för återvinning.

Tabell 2. Översikt av mängden skrot i användning, kommunala deponier och exempel på gruvor i Sverige. Mängderna i deponierna varierar något beroende på uppskattningsmetod och om de redovisas som förekomst i legeringar. Exempel på gruvorna namnges i brödtexten nedan. I Sverige bryts inte bauxit (aluminium) och krom.

Metall	Ton i användning	Ton i deponier	Ton i enstaka gruvor
Järn/stål	170 000 000	13 000 000	600 000 000
Aluminium	4 000 000	1 000 000-1 200 000	-
Koppar	2 000 000	600 000	4 000 000
Zink	1 300 000	400 000-500 000	2 800 000
Bly	800 000	300 000	1 300 000
Krom	300 000	100 000-600 000	-

Det finns dock betydligt större mängder metaller direkt tillgängliga i avgränsade ytor under jordskorpan. Totalt[2] finns över 450 000 000 ton järn i *Kiirunavara* (LKAB, 2012), 4 000 000 ton koppar i *Aitik* (Boliden , 2014), samt 2 800 000 ton zink och 1 300 000 ton bly i *Zinkgruvan* (Lundin mining, 2012). Det finns således mer koppar, järn, zink och bly i några fåtal gruvor än vad som finns i totalt i användning och kommunala deponier. Bly såväl som bauxit (aluminium) bryts inte i Sverige, varför soptipparna i dylika fall skulle kunna öka graden av självständighet. För vissa metaller såsom koppar kan samtidigt koncentrationen vara många gånger högre i deponier än i gruvor (Alm et al., 2006). Mängden metaller som kan återvinnas i Sverige är samtidigt underprospekterad. Exempelvis har inte mängden metaller i elavfall räknats med samtidigt som mängden basmetaller i industriella soptippar överhuvudtaget inte inkluderats på grund av avsaknad av tillförlitlig information. Dessutom finns det metaller i fler förråd i den bebyggda miljön än i soptippar (Johansson et al., 2013). Jämförelsen är således haltande. Trots detta är dock inte mängden metaller i deponier försumbar. Exempelvis skulle förekomsten av järn i kommunala deponier kunna täcka fem års konsumtion (Frändegård et al., 2013).

Men även om kommunala deponier innehåller stora mängder metaller så kan inte allt sorteras ut och tillgängliggöras för marknaden. Även om aluminium och delvis koppar förekommer i ren form, så ingår till exempel krom, zink och ibland koppar i olika former av legeringar. Ett annat exempel är järn som tillsammans med kol förekommer i form av stål. Vid metallåtervinning separeras sällan de metalliska grundämnena från legeringen, utan hela legeringen som sådan återvinns i form av mässing eller rostfritt stål. Dessutom är återvinningseffektiviteten högre för aluminium än koppar. Vid metallåtervinning från bottenaskor i Linköping, vilket är en blandning av industriellt och hushållsavfall, så utgör järn/stål cirka 85 % och icke järnhaltiga metaller cirka 15 %. Av de icke järnhaltiga metallerna utgör aluminium 88 %, rostfritt 7 %, mässing 2 %, en blandning mellan koppar och järn 2 %, och koppar 1 % (Tanha, 2013). I och med legeringarna finns det således rent tekniska hinder för att få ut metallerna från en deponi. Samtidigt är det mer energieffektivt att återvinna legeringen direkt, i stället för att först frigöra grundämnen och därefter sammanföra dem igen till en ny legering.

Ett annat tekniskt hinder är deponiernas heterogenitet, i stort sett allt som en gång varit i användning återfinns i kommunala soptippar; allt från slam, mediciner till elavfall. Avfallet har

[2] För gruvor redovisas mängden metaller från samtliga kategorier; bevisade reserver till antagna resurser, dvs. metaller som är både ekonomiskt brytbara idag och möjliga i framtiden. Som exempel kan nämnas att i Aitik utgör den bevisligen utvinningsbara mängden koppar 1.5 miljoner ton (Boliden, 2014).

dessutom ofta deponerats okontrollerat (i en salig röra). Tillförlitlig teknik saknas idag för att kartlägga innehållet inne i deponin och till exempel identifiera värdefulla metallförekomster eller farligt avfall. Även om viss information kan erhållas genom borrning eller intervjuer av äldre anställda, är det svårt att få mer än enstaka insikter (Johansson et al., 2012). Detta innebär att ett spadtag kan innehålla slam medan ett annat metallbalkar. Denna oförutsägbarhet gör det svårt och dyrt att bygga upp en konstant och optimerad utvinningsprocess.

På kommunala deponier finns det emellertid ofta askor från förbränningsverk deponerade på avskilda områden. Detta avfall är relativt homogent i och med att det organiska har brunnit upp samtidigt som metallkoncentrationen ökar i och med att den övriga volymen reduceras. I dessa askhögar i Sverige finns sammantaget ungefär 900 000 ton järnskrot och 240 000 ton skrot av icke järnhaltiga metaller (Krook et al., inskickad), tillika ungefär 7 % av järnskrotet respektive 13 % av det icke järnhaltiga metallskrotet som finns totalt i kommunala deponier. I synnerhet är gamla askor intressanta innan metallskrot började sorteras ut. Nackdelen är dock att förbränningsprocessen inverkaer negativt på vissa metallers kvalitet samtidigt som mer än 2/3 av dessa metaller har tillsammans med askan använts i form av konstruktionsmaterial på deponiområdet för att undvika deponiskatten (Krook et al., inskickad), vilket i de fall då konstruktionen är oumbärlig minskar tillgängligheten för återvinning. Överhuvudtaget är ofta industriella deponier mer homogena och således förutsägbara än kommunala deponier, eftersom avfallet ofta kommer från en och samma aktör. Utöver askor är även till exempel soptippar tillhörande skrotanläggningar intressanta, eftersom där ligger ofta metaller som då inte var lönsamma att utvinna men som idag troligen skulle kunna vara det.

Tidigare ekonomiska utvärderingar av att utvinna metaller från deponier har generellt resulterat i en ekonomisk kostnad (t.ex. Dicksson, 1995). Frändegård et al. (inskickad) har dock uppskattat att deponier med ett metallinnehåll över 6% potentiellt kan vara lönsamt att utvinna. Med tanke på att det finns vissa industriella och således homogena deponier med ett innehåll över 10 % metall (Alm et al., 2006), skulle gruvdrift av enstaka deponier kunna vara lönsam. Troligen är det precis som med jordskorpan: några få objekt kan vara lönsamma att utvinna medan de flesta kommer vara olönsamma. Ekonomisk lönsamhet uppstår dock inte på en fri neutral marknad, eftersom marknadsvillkoren varierar beroende på om metaller utvinns från soptippen eller jordskorpan (Johansson et al., 2014).

En väg för att öka metallåtervinningen är om denna form av metallutvinning skulle få samma fördelar som traditionell gruvbrytning. Exempelvis kan kostnaden för att återdeponera massorna efter metallutvinning från en deponi utgöra upp till 40 % av projektets totala kostnader (Frändegård et al., 2014). Samtidigt är resterna efter traditionell gruvbrytning från jordskorpan undantagen deponiskatt. Dessutom är energi-och koldioxidskatterna lägre för traditionell gruvbrytning än andra former av metallutvinning. I Sverige finns även ett mineral-informationscenter som hjälper prospekteringsbranschen att hitta metaller under jordskorpan (Johansson et al., 2014). Dessa subventioner är inte tillgängliga för återvinning och till exempel för metallutvinning från deponier.

Metallerna i en kommunal såväl som en industriell soptipp fyller visserligen ingen funktion, men samtidigt är metallerna inte tillgängliga för externa aktörer utan i ägandeskap av den som äger deponin. Att ta metaller från en soptipp är ett brott utan ägarens tillstånd. Denna typ av ägande är

visserligen försvarbart ur ett föroreningsperspektiv eftersom ansvaret kan tilldelas externa effekter såsom föroreningar. Men från ett resursperspektiv kan det innebära ett hinder, eftersom metaller inte är tillgängliga på begäran (Johansson, 2013). Som jämförelse behöver inte gruvsektorn köpa mark eller be om tillstånd från markägaren för att bryta metaller, då frågan avgörs i domstol, vilken dock vanligen ger tillstånd eftersom gruvverksamhet är ett nationellt intresse (SFS, 1998:808).

Samtidigt behöver det inte nödvändigtvis vara metallinnehållet i första hand som gör utvinningen av deponier lönsam utan till exempel värdet av marken efter återställdande av platsen eller undvikna kostnader för att hantera utsläpp från soptippen (Johansson et al., 2012). En sådan utveckling skulle kunna drivas på genom exempelvis ökade saneringsanslag eller hårdare utsläppskrav. Dessutom skulle riskbedömningar av soptippar, i de fall då resurspotential kan antas, kunna utökas med prospektering. Om resursförekomst kan påvisas, finns en möjlighet att minska kostnader för en eventuell sanering.

5. SLUTSATSER

Mängden metaller i deponier är osäker. Det finns någorlunda tillförlitliga siffror på mängden basmetaller i kommunala soptippar, medan uppgifter saknas för industriella soptippar i och med svårigheter att skala upp siffror till nationell nivå. Överhuvudtaget saknas uppgifter om förekomsten av ädelmetaller (t.ex. silver, platina och guld) såväl som sällsynta jordartsmetaller (t.ex. lantan eller cerium). En mer omfattande prospektering är således nödvändig innan soptipparnas totala återvinningspotential kan fastställas.

Även om det finns mer metaller i användning såväl som i traditionella gruvor finns det troligen enskilda, ofta homogena, soptippar med höga halter av metaller som torde vara lönsamma att utvinna. Idag saknas emellertid incitament för kommersiella aktörer att påbörja något så krångligt och okonventionellt som att utvinna metaller från deponier. Samtidigt är förutsättningarna för utvinning av metaller från andra förråd mer gynnsamma och därmed attraktivare för kommersiella aktörer. Dessa gynnsamma förhållanden har dock delvis skapats politiskt genom att förneka markägaren rättigheter till metallerna, driva den tekniska utvecklingen genom forskningsanslag, och minska kostnaderna för primärproduktionen genom olika subventioner.

Om efterfrågan på metaller kommer att fortsätta öka, vilket mycket tyder på, samtidigt som förråden i jordskorpan fortsätter att minska, måste ytterligare metallkällor bli tillgängliga. Jämfört med de politiska, ekologiska och ekonomiska riskerna med att utvinna metaller från rymden eller djupa hav, känns metallerna i soptippen mindre avlägsna. Utvinningen av metaller från deponier behöver dock inte nödvändigtvis drivas av resursefterfrågan, utan skulle kunna bli ett sekundärt syfte vid till exempel sanering av soptippar.

REFERENSER

Alm, J., Christéen, J. Collin, G., 2006. Landfill mining at Stena Gotthard's landfill in Halmstad. An environmental and economic evaluation. Master's Thesis. Linköping University.

Avfall Sverige, 1997. Deponering i Sverige – statistik för 1996. Malmö, Sverige.

Avfall Sverige, 2003. Avfallsanläggningar med deponering – statistik för 2002. Malmö, Sverige.

Avfall Sverige, 2007. Svensk avfallshantering 2007. Malmö, Sverige.

Boliden, 2014. Updated Mineral Reserves and Resources estimate for the Aitik Copper-Gold Operation, Northern Sweden.

Dickinson, W., 1995. Landfill mining comes of age. Solid Waste Technologies 9: 42–47.

Eckelman, M. J., Daigo, I., 2008. Markov chain modeling of the global technological lifetime of copper. Ecological Economics, 67(2), 265-273.

Eckelman, M. J., Reck, B. K., Graedel, T. E., 2012. Exploring the global journey of nickel with Markov chain models. Journal of Industrial Ecology, 16(3), 334-342.

Elshkaki, A., van der Voet, E., van Holderbeke, M., Timmermans V., 2004. The environmental and economic consequences of the developments of lead stocks in the Dutch economic system. Resources, Conservation and Recycling 42: 133–154.

Frändegård, P., Krook, J., Svensson, N., & Eklund, M. (2013). Resource and Climate Implications of Landfill Mining. Journal of Industrial Ecology, 17(5), 742-755.

Frändegård, P., 2014. Environmental and economic conditions of landfill mining: The development and application of a systems analysis approach. Licentiate thesis, Linköping University. Linköping, Sweden; LIU-tryck.

Frändegård, P., Krook, J., Svensson, N., inskickad. Integrating remediation and resource recovery: On the economic conditions fo landfill mining. Waste Management.

Gordon, R.B., 2002. Production Residues in Copper Technological Cycles. Resources, Conservation and Recycling 36: 87–106.

Gordon, R.B., Bertram, M., Graedel, T.E., 2006. Metal stocks and sustainability. PNAS 103 (5): 1209–1214.

Halada, K., Ijima, K., Shimada M., Katagiri, N., 2009. A possibility of urban mining in Japan. J. of Japan Institute of Metals 73: 151–160.

Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S., 2004. Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas. Journal of material Cycles and Waste management, 6(2), 119-124.

Johansson, N., Krook, J., Eklund, M., 2012. Transforming Dumps into Gold Mines. Experiences from Swedish case studies. Environmental Innovation and Societal Transitions 5: 33-48.

Johansson, N., Krook, J., Eklund, M., Berglund, B., 2013. An Integrated Review of Concepts for Mining the Technosphere: Towards a New Taxonomy. Journal of Cleaner Production, 55, 35-44.

Johansson, N., 2013. Why don't we mine the landfills? Licentiate thesis, Linköping University. Linköping, Sweden; LIU-tryck.

Johansson, N., Krook, J., Eklund, M., 2014. Institutional conditions for Swedish metal production: a comparison of subsidies to metal mining and metal recycling. Resource policy 41: 72-82.

Kapur, A., 2006. The future of the red metal: discards, energy, water, residues, and depletion. Progress in Industrial Ecology – An International Journal 3 (3): 209–236.

Kapur, A., Graedel, T.E., 2006. Copper mines above and below the ground. Environmental Science and Technology 40: 3135-3141.

Karlsson, P., Åslund, P., 2014. Ekonomiska och miljömässiga förutsättningar för landfill mining: En förstudie av tre olika deponityper vid Filbornaanläggningen i Helsingborg. Examensarbete, Linköpings Universitet.

Krook, J., Svensson, N., Steenari, B.M., inskickad. Potential metal resources in waste incineration ash deposits. Waste Management, Special Issue Urban Mining.

Lewis, R.S., Clark, G.B., 1964. Elements of Mining, third ed. John Wiley and Sons, New York.

Lichtensteiger, T., 2002. The Petrologic Evaluation. Berlin; Springer-Verlag.

Linköpings kommun, 2008. Inventering och riskbedömning av nedlagda deponier i Linköpings kommun enligt MIFO. Linköping, Sverige: Johan Helldén AB.

LKAB, 2012. Års och hållbarhetsredovisning 2012. Kiruna, Sverige.

Lorentsson, H. 2014. Personlig Kontakt med Hitomi Lorentsson på Stena metall.

Lundin Mining, 2012. Zinkgruvan Mine: Summary report. September 2012.

Matsuno, Y., Daigo, I., Adachi, Y., 2007. Application of Markov chain model to calculate the average number of times of use of a material in society-An allocation methodology for open-loop recycling-Part 2: Case study for steel. International Journal of Life Cycle Assessment, 12(1), 34-39.

Müller, D., Wang, T., Duval, B., Graedel, T.E., 2006. Exploring the engine of anthropogenic iron cycles. PNAS 103: 16111–16116.

Naturvårdsverket, 1990. Inventering och riskklassning av äldre avfallsupplag: Växjöprojektet. Stockholm, Sverige.

Naturvårdsverket, 1996. Metaller – materialflöden i samhället. Stockholm, Sweden.

Naturvårdsverket, 2012a. Avfall I Sverige 2010/Waste in Sweden 2010. Naturvårdsverket. CM Gruppen AB; Bromma.

Naturvårdsverket, 2012b. Databas med information om MIFO-klassificering. Stockholm, Sverige.

Netpradita, S., 2003. Application of 'waste' metal hydroxide sludge for adsorption. Water Research, Volym 37 , p. 763–772.

Santos, S., 2008. Waste metal hydroxide sludge as adsorbent for a reactive dye. Journal of Hazardous Materials, Volym 153, pp. 999-1008

SFS, 1998:808. Miljöbalken. Svensk författningssamling.

Spatari, S., Bertram, M, Gordon, .R. B., Henderson, K., Graedel, T.E., 2005. Twentieth century copper stocks and flows in North America: A dynamic analysis. Ecological Economics 54: 37-51.

Tanha, A., Zarate, D., 2012. Landfill Mining: Prospecting metal in Gärstad landfill. Examensarbete, Linköpings Universitet.

Tanha, A., 2012. An LCA and cost-benefit analysis of recycling scrap metal from landfilled MSWI bottom ash. Rapport, Linköpings Universitet

UNEP, 2010. Metal stocks in society. International Panel for Sustainable Resource Management, Working Group on the Global Metal Flows.

Vermeulen, I., Van Caneghem, J., Block, C., Baeyens, J., Vandecasteele, C., 2011. Automotive shredder residue (ASR): reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. Journal of hazardous materials, 190(1), 8-27.

Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., Böni, H., 2005. Global perspectives on e-waste. Environmental impact assessment review, 25(5), 436-458.

Linköping 2014-06-19

Städer som gruvor

Förekomst och förutsättningar för att utvinna basmetaller från metallförråd i svenska städer

Björn Wallsten

Inst. för Ekonomisk och Industriell Utveckling
Avd. Industriell miljöteknik
Linköpings universitet
58183 Linköping

1. INTRODUKTION

I denna andra del av det uppdrag som ålagts avdelningen för Industriell miljöteknik vid Linköpings universitet behandlas urban mining, ett paraplybegrepp som innefattar en rad olika strategier som har det gemensamt att de betraktar samhället som resursbas. Utifrån detta synsätt utgör samtliga de material som över tid ackumulerats i våra urbana sediment, byggnader, tekniska system, fortifikationer etc., ett samhälleligt materialförråd som på sikt kan komma till användning genom återanvändning eller återvinning[1]. Merparten av de samhälleliga materialförråden är i användning, men det finns även stora mängder material som tagits ur bruk men inte nått avfallshanteringen. I forskningen betraktar man dessa metallmängder som som att de befinner sig i ”dvala”, och i denna rapport skiljs dessa åt från mängderna som är i användning. Poängen med detta är förråden i dvala är teoretiskt tillgängliga för återvinning redan idag, medan de i användningen kommer att bli det först på sikt.

[1] Begreppet urban mining är i denna rapport inriktat mot metaller, även om det finns forskare som menar att även återvinningsstrategier för exempelvis avloppsslam, hushållssopor och annat urbant avfall ska innefattas i begreppet.

2. INFRASTRUKTUR SOM METALLFÖRRÅD

Tillsammans med byggnader och tekniska maskiner/apparater, är infrastrukturen ett av de tre stora metallförråden i vårt samhälle. Infrastrukturen står som exempel för 28% av den årliga svenska koppar-användningen (Landner och Lindeström, 1999), vilket beror på dess förekomst i framför allt elnätets ledningar och kablar. I denna rapport ges den ledningsburna och markförlagda infrastrukturen särskild uppmärksamhet, det vill säga de underjordiska infrastruktursystem som försörjer våra samhällen med tekniska systemtjänster såsom el, värme, gas, etc.. De metaller som kartlagts är de tre vanligaste i dessa system: aluminium, koppar samt järn/stål (UNEP, 2010). Nyframställningen av dessa metaller är förknippade med en ansenlig miljöpåverkan. Som exempel är stål det konstruktionsmaterial som ger upphov till störst Co2-utsläpp av alla, medan aluminium kommer på femte plats (Alwood och Cullen, 2012)[2], och med andra ord skulle en ökad återvinning av dem innebära ansenliga miljövinster. Jämfört med traditionell gruvdrift är den stora förtjänsten med urban mining att metallerna är förädlade, och dessutom att infrastrukturens metaller uppkommer i en förhållandevis ren form. Själva återvinningsprocessen är mer energisnål och mindre miljöbelastande än traditionell nyproduktion och återvinningsteknikerna för infrastrukturkomponenter är väl utvecklade och finns redan idag i användning på ett flertal platser i Sverige.

3. FORSKNINGSLÄGE

Rapporten är en redogörelse för det nuvarande kunskapsläget på urban mining-området. Den baserar sig på den forskning som gjorts på avdelningen för Industriell miljöteknik vid Linköpings Universitet de senaste åren, och som har haft ett explicit fokus på infrastruktursystem. I ett större sammanhang kan denna forskning grupperas tillsammans med ett fåtal andra universitet och forskningssatsningar huvudsakligen lokaliserade i USA (Yale-universitetet) och Japan (Nagoya-universitetet). En översikt av kunskapsläget om städers metallförråd gör sig bäst utifrån de stadsspecifika fallstudier som genomförts. Förutom de av oss gjorda studierna av Göteborg, Linköping och Norrköping, (Wendell, 2005; Krook et al., 2011; Andersson och Petersson, 2011; Wallsten, 2013a), rör det sig om sammanlagt elva artiklar för metallerna aluminium, koppar och järn (Hendricks et al, 2000; Bergbäck et al, 2001; Sörme et al, 2001; Tanikawa et al, 2002; van Beers och Graedel, 2003; Tanikawa et al., 2004; Drakonakis, 2007; van Beers och Graedel, 2007; Tanikawa et al., 2009a; Tanikawa et al., 2009b). Dessa täcker in nio städer (Peking (CHI), Kapstaden (RSA), Kitakyushu (JPN), New Haven (USA), Stockholm (SWE), Sydney (AUS),

[2] På platserna två till fem återfinns cement, plast och papper. Konstruktionsmaterial används här i en direktöversatt betydelse från engelskans "engineering materials" och ska alltså förstås som särskilt från bränslen som exempelvis kol och olja (se vidare Alwood och Cullen 2012).

Wien (AUT), Wakayama (JPN) och Salford Quays, (ett district i Manchester (UK)) och fjorton förråd (Al: 3, Cu: 6, Fe: 5). Som synes är dessa städer vitt spridda över jordklotet och de har därmed vitt skilda geografiska förutsättningar, historia och infrastruktur-konfiguration. Denna rapport är därför uteslutande baserad på de svenska fallstudierna, som är varierande nog för resultaten ska ha förhållandevis stor varians.

4. DVALANS DYNAMIK

De studier som vi genomfört är de första i världen som kartlägger metaller i infrastruktur i dvala. Infrastruktur hamnar i dvala eftersom den är lokaliserad under mark där den inte syns. Ovan jord är det mer regel än undantag att infrastrukturen återvinns efter att den tagits ur drift. Årligen återvinns cirka en sjättedel av de kablar som byggs in i de svenska näten för el och telekom (Wendell, 2005), och likadant ser det med all sannolikhet ut för rörbaserade system som fjärrvärme och stadsgas. Detta betyder att metallförråden som tas upp i rapporten alltjämt ökar i storlek. Den huvudsakliga utmaningen består i att öka materialströmmarna som når återvinningssektorn, vilket pekar mot lösningar/förändringar i infrastrukturens förvaltning. Dessa bör vara i samklang med den befintliga stadsplaneringsprocessen.

Det finns tre övergripande dynamiker till varför dvala uppkommer i infrastruktur (Wallsten, 2013b). För det första kan system tas ur drift i sin helhet när de konkurreras ut av ett annat system som levererar samma sorts tjänst men till ett lägre pris eller med bättre tillförlitlighet. Exempel på detta i denna rapport är systemen för stadsgas och likström. De resterande två dynamikerna beror på infrastrukturens förvaltning och ger upphov till olika mönster av urkopplade system. Dels uppkommer dvala i samband med löpande underhåll och reparationer, vilket resulterar i enskilda systemdelar som finns utspridda i förhållandevis låga koncentrationer under staden. Dels uppkommer dvala i samband med större stadsbyggnadsprojekt, vilket resulterar i större zoner av urkopplad infrastruktur med högre koncentrationsgrad. Dessa mönster återfinns i ett flertal olika system och måste tas hänsyn till för att urban mining-strategier ska kunna implementeras i större skala.

5. RESULTAT

I det följande presenteras metallmängderna i de för studien utvalda systemen. För mer detaljerade beskrivningar av hur beräkningarna genomförts, se Appendix.

Växelström

Totala mängder (koppar): 1 400 000 ton
Totala mängder (aluminium): 850 000 ton
I dvala (koppar): 60 000 ton
I dvala (aluminium): 10 000 ton

För de totala mängderna har såväl luftburna som markförlagda kablar i lokala och regionala

beräknats, för dvalan ingår endast markförlagda lokala nät. Det 15 000 km långa stamnätet ingår inte eftersom det i huvudsak är luftburet. Mängderna aluminium är mindre eftersom metallen framför allt ingår i nyare ledningar som ännu inte nått sin förväntade livslängd och därmed inte tagits ur drift i samma utsträckning som nätets kopparkablar.

Telekom

Totala mängder (koppar): 1 250 000 ton

I dvala (koppar): 375 000 ton

Det är Skanovas (före detta Telia/Televerket) nationella system för telefoni som har beräknats. Mängderna är jämnt fördelade mellan det nationella transportnätet som de lokala accessnäten. Särskilt intressanta är dessa mängder i förhållande till den pågående bredbandsutbyggnaden som successivt ersätter kopparkabel med fiberoptik.

Trafiksignaler

Totala mängder (koppar): 315 000 ton

Totala mängder (aluminium): 60 000 ton

Gatubelysning

Totala mängder (koppar): 17 500 ton

Totala mängder (aluminium): 3 500 ton

För bägge dessa system är det de som återfinns i tätorter som är medräknade, systemen längs lands- och riksvägar finns inte med. Några beräkningar för dvala har inte kunnat genomföras.

Likström

Totala mängder (koppar): 6 000 ton

Här ingår samtliga de likströmssystem som fanns installerade i ett sextiotal svenska städer innan växelströmmen tog över i samband med stamnätsutbyggnaden. De sista likströmsnäten lades ned på sjuttiotalet och samtliga mängder befinner sig alltså i dvala.

Fjärrvärme

Totala mängder (järn/stål): 560 000 ton

I dvala (järn/stål): 50 000 ton

Här ingår samtliga Sveriges fjärrvärmenät. Precis som med aluminium i elnätet har mängderna koppar i fjärrvärmenätet exkluderats eftersom de återfinns i nyare komponenter som ännu inte kopplats ur i tillräckligt hög utsträckning.

Stadsgas

Totala mängder (järn/stål): 60 000 ton

I ett fyrtiotal svenska städer finns urkopplade stadsgasnät vars rör har beräknats här. Ett fåtal städer använder alltjämt sina gassystem, däribland Stockholm, Göteborg, Malmö, Helsingborg och Landskrona, vars urkopplade delar inte ingår i summan ovan.

6. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÅTERVINNING

En grundläggande anledning till varför infrastruktur lämnas kvar i marken är att kostnaderna för att ta tillvara på den är för höga. Återvinning lönar sig med andra ord inte. De mest betydande kostnadsposterna för markarbete är asfalteringen efter avslutat grävjobb då marken ska återställas. Förutsättningarna för markarbeten går att förändra, exempelvis i avgiftsstrukturen för arbete i kommunal mark. En annan möjlighet är att tänka sig att underhållet löpande integreras med återvinning, vilket kan regleras i kontrakten mellan markägare och infrastrukturföretag.

Vid sidan av förbättrade rutiner för infrastrukturens hantering och återvinning, finns det stor potential för teknikutveckling av så kallade ”non digging”-tekniker. För närvarande pågår pilotstudier på ett antal platser i landet med en sådan teknik: Kabel-X, som redan används i större skala på det europeiska fastlandet. Genom att undvika grävarbeten leder användningen av Kabel-X till mindre störningar i stadsmiljön och i trafikflödena men samtidigt lämnas kablarnas (ofta blyhaltiga) ytterhölje kvar i marken samtidigt som eventuella föroreningar inte undersöks/åtgärdas.

7. AVSLUTANDE KOMMENTARER

Under undersökningarnas gång har behovet av kartläggningar med ett ytterligare miljöperspektiv också framkommit, då detta skulle innebära ett kompletterande fokus på miljöskadliga ämnen såsom bly, olja, PCB och liknande som i hög utsträckning finns representerade inte bara i de tekniska system som är rapportens fokus, utan även i byggnader och tekniska apparater. Med detta i åtanke är en omfattande kvantitativ kartläggning av samtliga de svenska metallförråden önskvärd. En förlaga att inspireras av i detta hänseende finns i det amerikanska Stocks and flows-projektet (STAF) som är baserat vid avdelningen för Industriell Ekologi vid Yale-universitetet i New Haven, CT. (http://cie.research.yale.edu/research/stocks-and-flows-project-staf).

8. REFERENSER

Alwood, J.M., och Cullen, J.M. (2012) *Sustainable Materials – With Both Eyes Open* (UIT Cambridge).

Andersson, S., och Petersson, J. (2011) *Potential for Urban Mining in Norrköping – a Static Quantification of Metal in Subterranean Infrasystems* (Kandidatuppsats: Linköpings universitet).

Bergbäck, B., Johansson, K., Mohlander, U. (2001) ”Urban Metal Flows – A Case Study of Stockholm. Review and Conclusions”, *Water, air and soil pollution*: Focus 1(3-4) 3-24.

Drakonakis, K., Rostkowski, K., Rauch, J., Graedel, T.E., Gordon, R.B. (2007) ”Metal Capital Sustaining a North American City: Iron and Copper in New Haven, CT”, *Resources, Conservation and Recycling* 49 406-420.

Hendriks, C., Obernosterer, R., Müller, D., Kytzia, S., Baccini, P., Brunner, P. (2000) “Material flow analysis: a tool to support environmental policy decision making. Case studies on the city of Vienna and the Swiss lowlands”, *Local Environment* 5 311-328.

Hjulström, F. (1940) *Sverige elektrifiering : en ekonomisk-geografisk studie av den elektriska energiförsörjningens utveckling* (Uppsala: Lundequistska bokhandeln).

Krook, J., Carlsson, A., Eklund, M., Frändegård, P., Svensson, N. (2011) ”Urban mining: hibernating copper stocks in local power grids”, *Journal of Cleaner Production* 19 1052-1056.

Landner, L., och Lindeström, L. (1999) *Copper in Society and in the Environment* (Västerås: Swedish Environmental Research Group).

Sörme, L., Bergbäck, B. och Lohm, U. (2001) Century Perspective on Heavy Metal Use in Urban Areas: A Case Study in Stockholm. *Water, air and soil pollution* 1(3-4): 197-211.

Tanikawa, H., Hashimoto, S., och Moriguchi, Y. (2002) Estimation of Material Stock in Urban Civil Infrastructures and Buildings for the Predictions of Waste Generation. Proceedings from *The Fifth International Conference on Ecobalance*. pp.803-806.

Tanikawa, H., Sakamoto, T., Hashimoto, S., och Moriguchi, Y. (2004) Visualization of Regional Material Flow using Over-flow Potential Maps. Proceedings from *The Sixth International Conference on Ecobalance*. pp.567-570.

Tanikawa, H., och Hashimoto, S. (2009a) ”Urban Stock over time: spatial material stock analysis using 4D-GIS”, *Building Research & Information* 37 (5-6) 483-502.

Tanikawa, H., Inazu, R., Hashimoto, S., och Kanako, S. (2009b) Estimation of historical/spatial changes in subsurface Material Stock related to the construction sector of urban areas in Japan. Proceedings from *International conference on hydrological changes and management from headwaters to the ocean*. pp.591-598.

UNEP (2010) *Metal stocks in society* (International Panel for Sustainable Resource Management, Working Group on the Global Metal Flows: United Nations Environment Programme).

Wallsten, B., Carlsson, A., Frändegård, P., Krook, J., Svanström, S. (2013a) ”To Prospect an Urban Mine: Assessing the Metal Recovery Potential of Infrastructure ‘Cold Spots’ in Norrköping, Sweden”, *Journal of Cleaner Production* 55 103-111.

Wallsten, B., Johansson, N., Krook, J. (2013b) ”A Cable Laid Is a Cable Played: On the Hibernation Logic Behind Urban Infrastructure Mines”, *Journal of Urban Technology* 21(3).

van Beers, D., och Graedel, T.E. (2003) ”The magnitude and spatial distribution of in-use copper in Cape Town. *South African Journal of Science* 99 61-69.

van Beers, D., och Graedel, T.E. (2007) ”Spatial characterisation of multilevel in-use copper and zinc stocks in Australia”, *Journal of Cleaner Production* 15(8-9) 849-861.

Wendell, J. (2005) *Samhällets kabelförråd och potential för ökad återvinning* (Examensarbete: Linköpings universitet).

Appendix: Beräkningar

Växelström (koppar och aluminium)

Uppgifterna angående de totala summorna inkopplad koppar och aluminium är hämtade från Wendell (2005). I dessa ingår såväl lokal- som regionalnät, både de luftburna och markförlagda ledningarna. Beräkningarna för urkopplade mängder (170 kg/km koppar respektive 26 kg/km aluminium) gäller endast markförlagd kabel i lokalnäten. Ratiot för de två metallerna är en sammanvägning av resultaten från Wallsten (2013a), Wendell (2005) och Krook et al. (2011). Tekniska data för de svenska näten har hämtats från Energimarknadsinspektionen (http://www.energimarknadsinspektionen.se/sv/Publikationer/Arsrapporter/elnatsforetag-arsrapporter/).

Telekom (koppar)

Beräkningarna är baserade på Wendell (2005, Bilaga 6) och Andersson & Petersson (2011, Table 1 & Appendix 3). Wendell är en ”top down”-uppskattning medan Andersson & Petersson har skalats upp från det specifika Norrköpingsfallet till att gälla för Sveriges tätortsbefolkning (8016000 människor år 2010 http://www.scb.se/statistik/MI/MI0810/2010A01C/MI0810_2010A01C_SM_MI38SM1203.pdf).

Trafiksignaler och gatubelysning

Uppgifterna är hämtade från Wendell (2005).

Likström (koppar)

Det ratio (3,25 kg/invånare) som framtagits ur den genomförda fallstudien av Norrköping (Wallsten et al., 2013a) har antagits gälla även för samtliga andra svenska städer som haft likströmsnät (Hjulström, 1940). Befolkningsmängden i dessa städer är hämtad från år 1940 eftersom Norrköpings nät var som längst då, vilket tas att gälla även för de andra i beräkningarna ingående systemen. (http://www.scb.se/Grupp/Hitta_statistik/Historisk_statistik/_Dokument/SOS/Folkrakningen_1940_1.pdf).

Fjärrvärme (stål)

Det ratio som tagits fram (2,23 kg urkopplat stål/meter installerad fjärrvärme) ur den genomförda fallstudien av Norrköping (Wallsten et al., 2013) har antagits gälla även för samtliga andra svenska fjärrvärmenät. Statistiken för nätlängder är från 2009 och baseras på de nät vars ägare finns anslutna till branschorganisationen Svensk Fjärrvärme.

Stadsgas (stål/tackjärn)

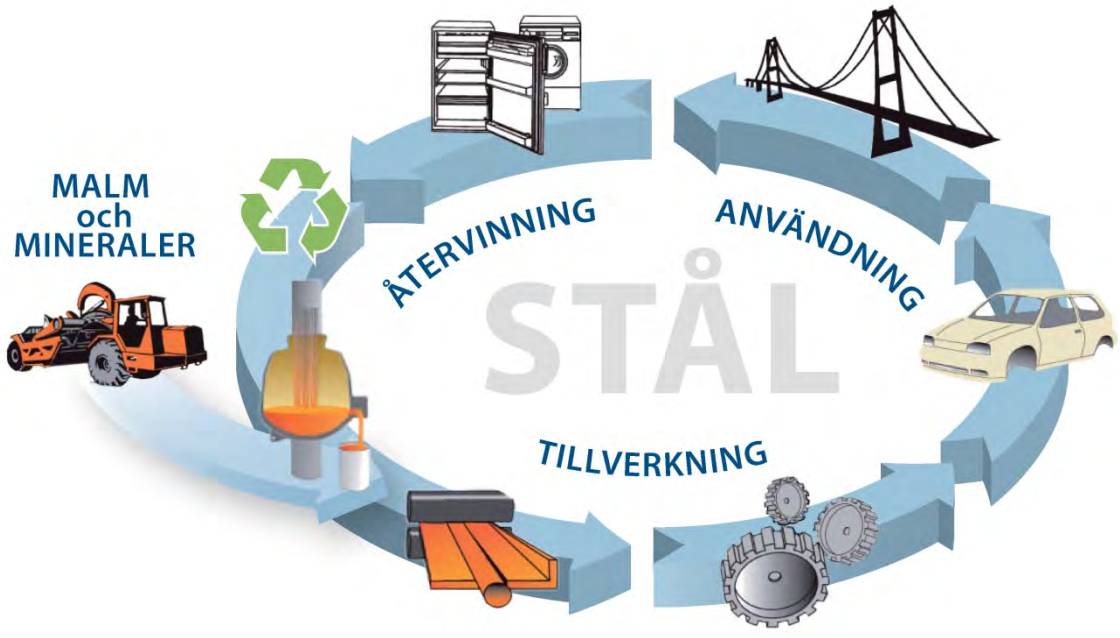
Det ratio (52,6 kg/invånare) som framtagits ur den genomförda fallstudien av Norrköping (Wallsten et al., 2013a) har antagits gälla även för samtliga andra svenska städer som haft stadsgasnät (http://sv.wikipedia.org/wiki/Gasverk). Befolkningsmängden i dessa städer är hämtad från år 1960 eftersom det är rimligt att stadsnäten var som längst omkring då (http://www.scb.se/statistik/MI/MI0810/2005A01x/MI0810_2005A01x_SM_MI38SM0703.pdf p.9). De tre storstäderna samt Helsingborg och Landskrona har exkluderats från kvantifieringen eftersom dessa system på ett eller annat sätt fortfarande är driftsatta.

JERNKONTORETS FORSKNING

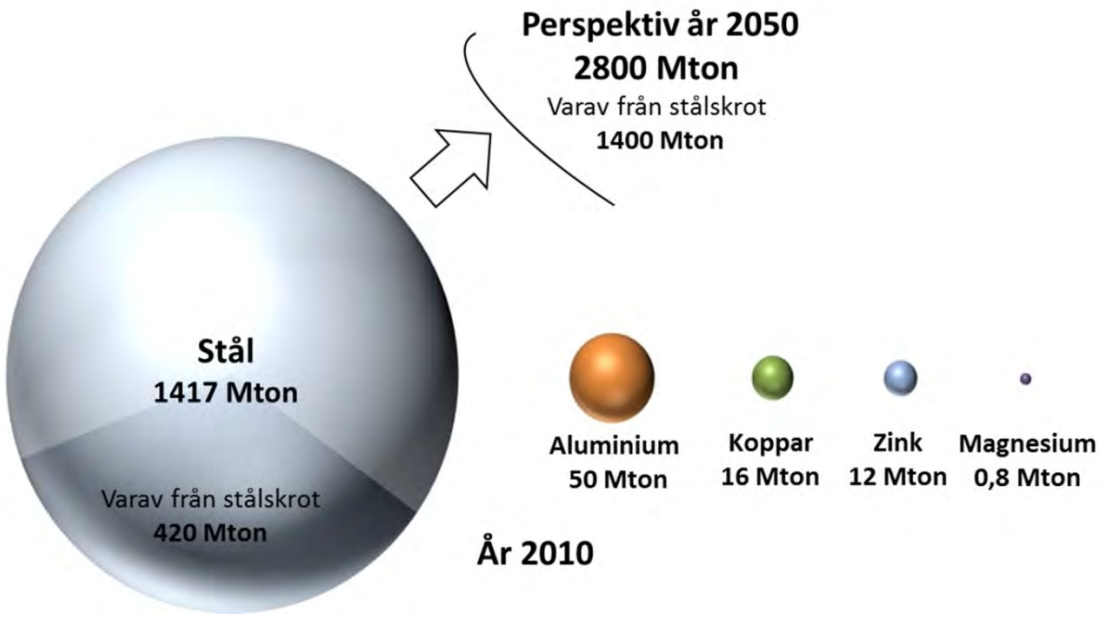
D 860

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 livscykelfaser 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 järnmalmsproduktionen. 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 produktnischer 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 livscykelfaser 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 företagens 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 leverara 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 ”skräddarsydda” 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 genomsnittsliga 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 slagger. 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 laboratoriemiljö och i industriell skala visar på ett kraftig utökat 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 slagger eller andra restmaterial som stoft från raffinaderier. Den potentiella mängden vanadin som kan utvinnas ur svenska slagger 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 harmfulla 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

Bilaga A

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.

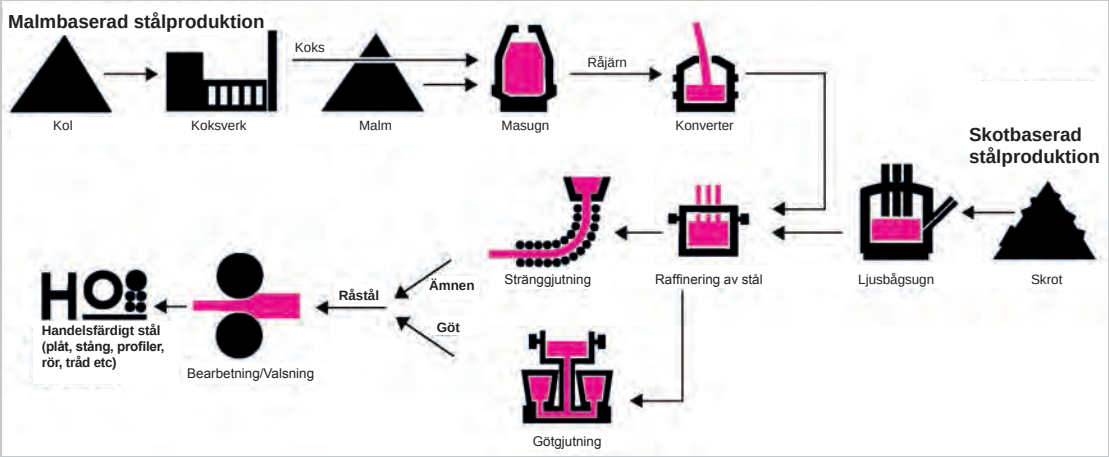
Även i den senare processen används betydande mängder stål- och järnskrot. Förädlingen av järnmalm sker i huvudsak via masugnsprocessen, där kol tillsätts för att reducera järnmalmen från järnoxid till rent järn. Syret lämnar då järnet i form av kolmonoxid och koldioxid. Det förekommer också s.k. direktreduktionsprocesser. 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 svår 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 råstålstillverkare 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 ståltillverkningen, väg-byggnationer och spackel. Exempel på andra restprodukter är tjära, bensen, svavel, glödskal, ren järnoxid från syra-återvinning 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 processkrot, 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, stålskrot, 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 ståltillverkning

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, högrena stål 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.

”...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 stålens 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.

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

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

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.

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 gjutgodsmarknad. Detta kräver stora satsningar på kompetensutveckling av såväl befintlig som ny personal.

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

Svensk gjuteriindustri har cirka 7 000 anställda fördelat på cirka 170 gjuterier och mångfalt 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 eldfasta 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.

Läget i världen

”Tillsammans utgör stål och aluminium mer än 98 % av världens metalliska konstruktions-material.”

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).

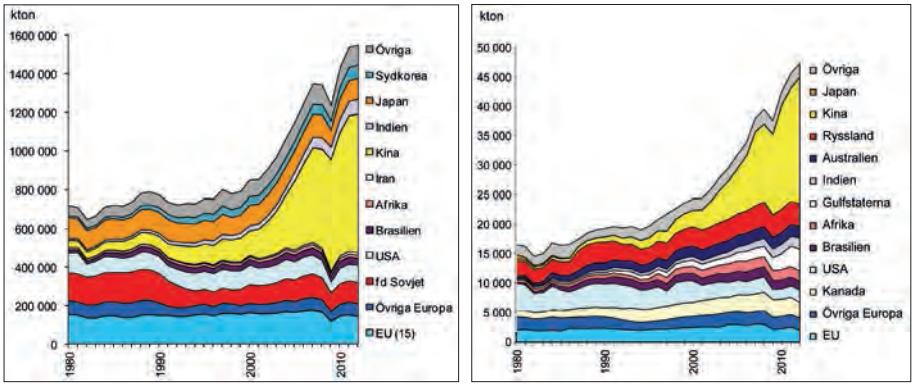


Fig. 1 (t v) Råstålsproduktion olika länder och regioner, 1980-2012. Källa: World Steel Association
Fig. 2 (t h) Aluminiumproduktion (primär) i olika länder och regioner, 1980-2012. Källa: EAA, AA, JAA, ABAL, RTA, Metallstatistik

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.

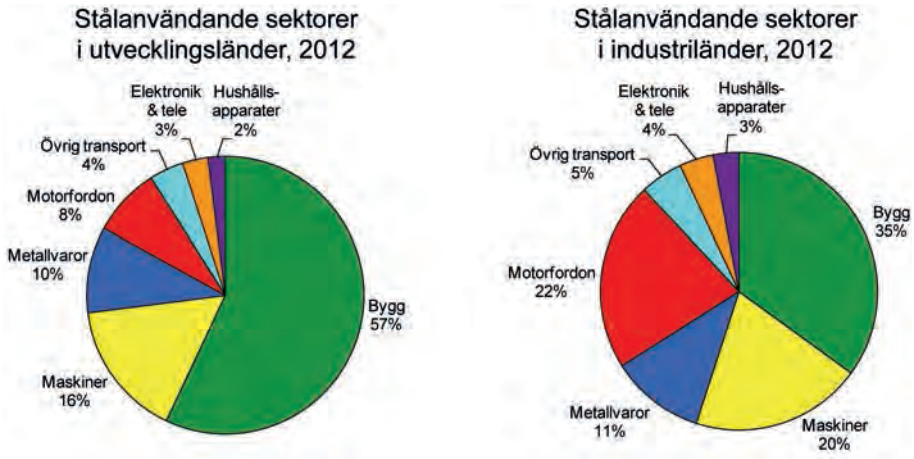
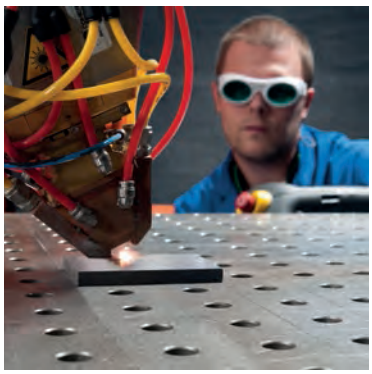
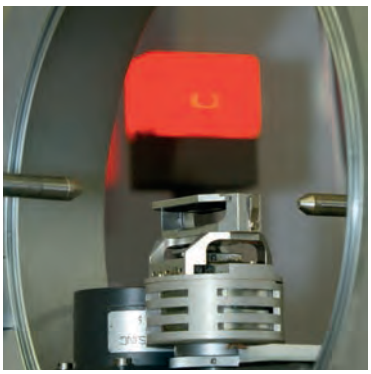


Fig. 3: Fördelningen av stålanvändningen mellan olika sektorer. Källa: Worldsteel Association

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[1], 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.

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."

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, nyupptäckta fyndigheter sjunkit i pris de senaste åren medan priset på koksande kol, som behövs i masugnsprocessen, väntas stiga.

Nya marknader

Någon gång mellan 2025 och 2030 spås alltså världens stålproduktionen 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.

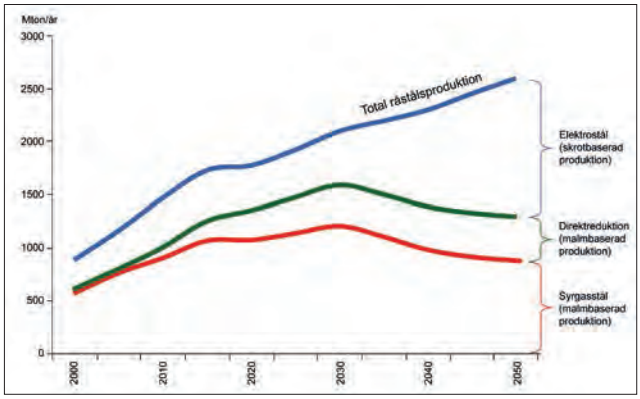


Fig. 4 Prognos för global råstålsproduktion per teknologi. Källa: Global Technology Roadmap for CCS in Industry, Steel Sectoral Report", J.-P. Birat et al

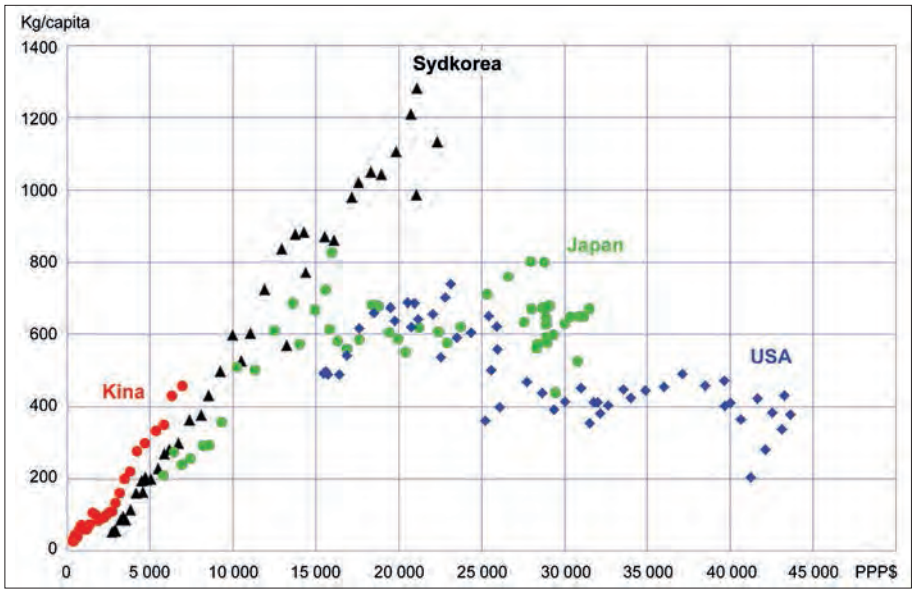


Fig. 5 Stålanvändning per capita i förhållande till BNP per capita i olika länder. Källa: World Steel Association

Det som möjligen skulle kunna förändra bilden är substitution av vissa konstruktionsmaterial. Inom bygg- och anläggningsindustrin, den dominerande avsättningmarknaden 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 produktegenskaper, 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 utvecklingssamarbete, 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.

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

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[2], 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.

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, aluminum- 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.

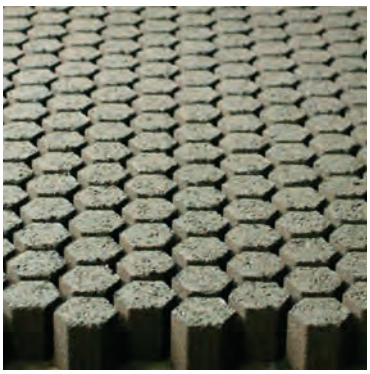
Svensk metallindustri utvecklar hållbara samhällen

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 tillväxtmöjligheter 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.

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

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.

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 slaggmängder 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 företag som har alternativa lokaliseringsmöjligheter.

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 förstås 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.

Bilaga B

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 resistenta 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 genomsnittpriset 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 bränsleför-brukningen 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 legeringssammansättningar 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.

Högrena 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 duplext rostfritt stål från Outokumpu i de mest krävande delarna. Chedin som är en klockformad byggnad där man förvarar reliker är nämligen tänkt att stå i över tusen år. Duplext 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.

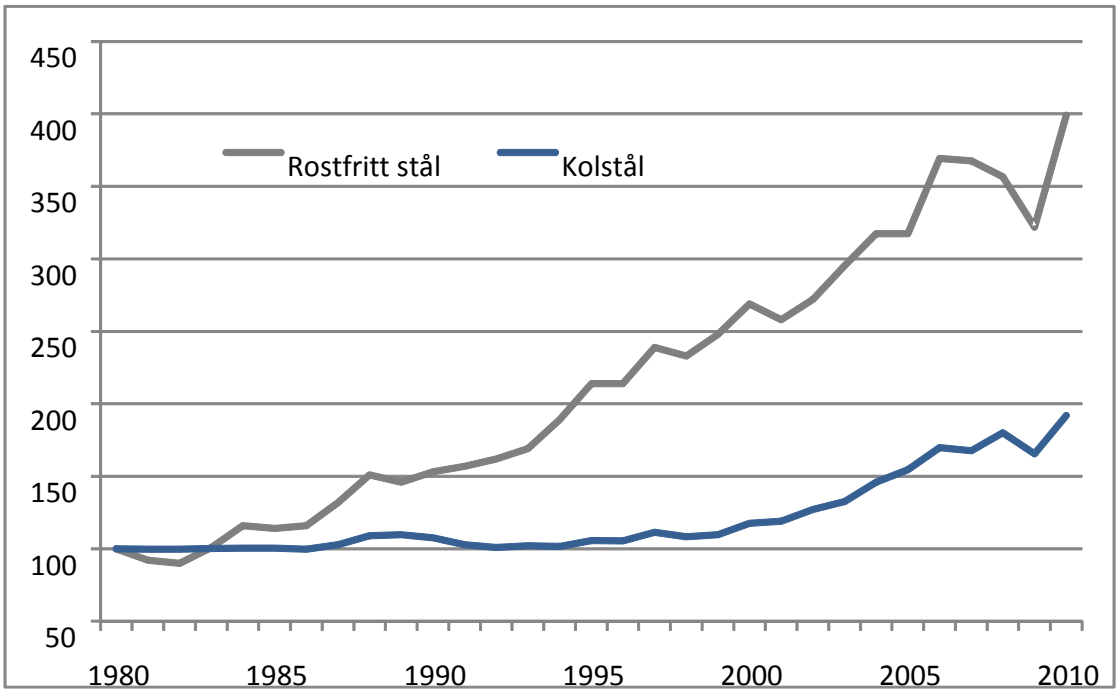
Gemensamt för ovan givna exempel på användning av stål är att nyttan kan åstadkommas genom den svenska stålindustrins unika förmåga att tillverka högpresterande kolstål, rostfria stål och specialstål.

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 till gången kan befaras bli knapp, särskilt för Europa som importerar merparten av metaller för ståltillverkning.

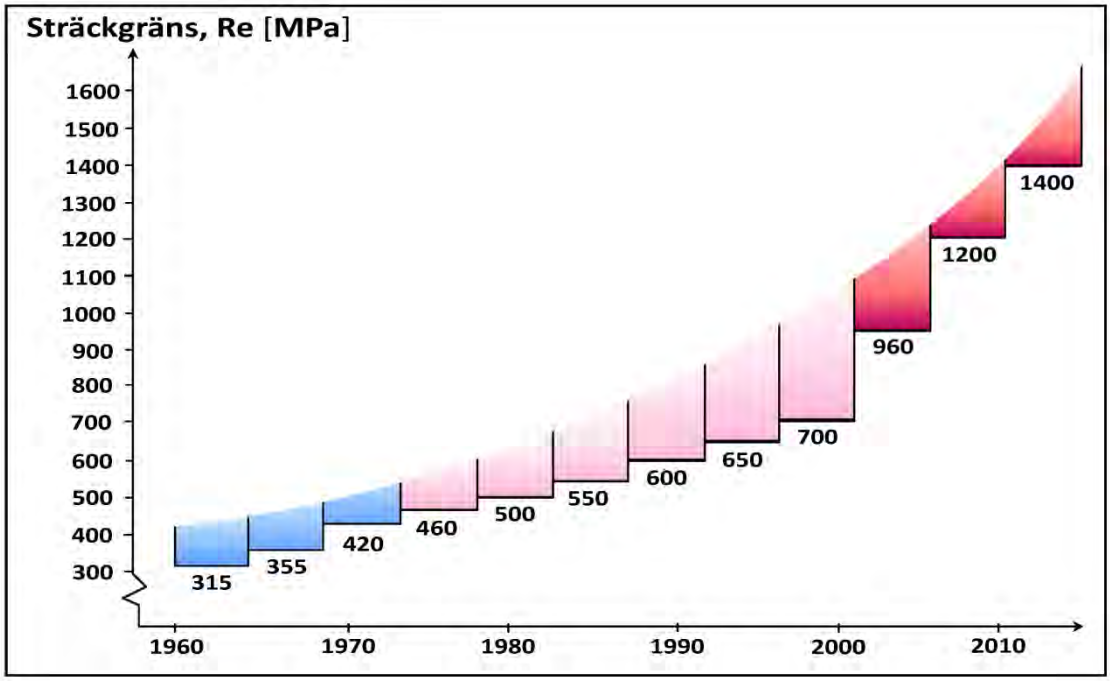
Ett sätt för att undertrycka en metallbrist är att stålet får egenskaper som hela tiden ökar resurseffektiviteten. Sverige har här en särställning genom att vara världsledande på stål med mycket hög hållfasthet och beständighet mot till exempel förslitning. Starkare stål innebär i praktiken möjlighet 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.



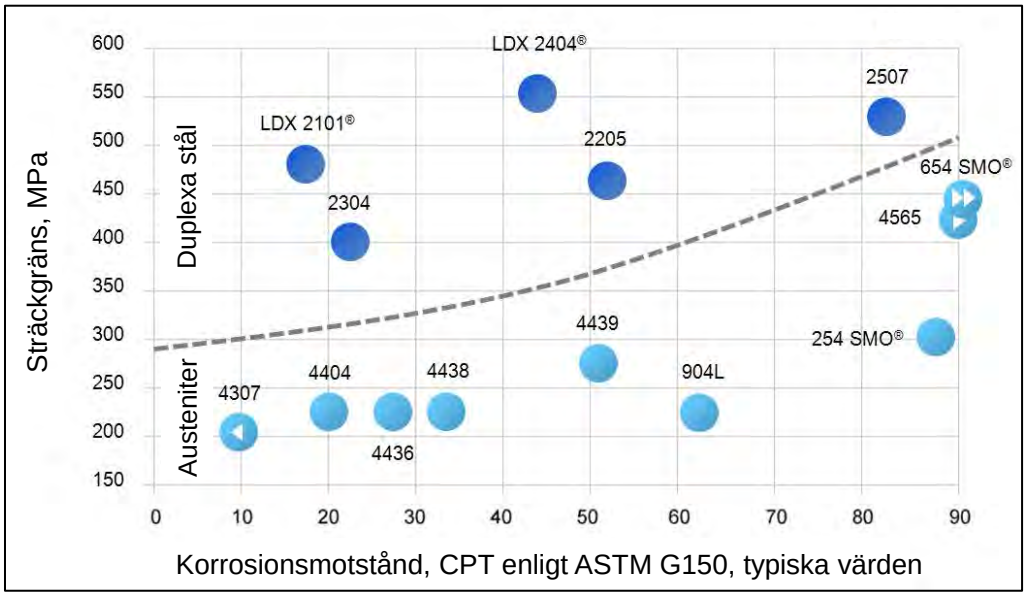
Figur 1. Tillväxt av svensk stålproduktion för rostfria stål jämfört kolstål.

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 halvseklet. De starkaste stålen är i världsledande position.



Figur 2. Utveckling av varmvalsade kolståls hållfasthet under det senaste halvseklet.

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



Figur 3. Duplexa höghållfasta rostfria stål kompletterar de austenitiska stålen

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 stål industrin. 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.

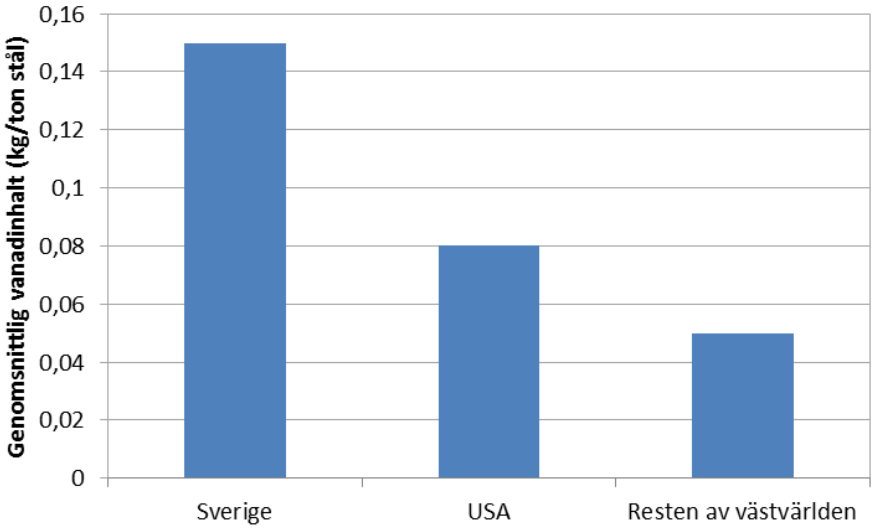
- Ovako
- SSAB Europe
- Outokumpu Stainless
- Höganäs
- Uddeholm
- Sandvik Materials Technology

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 nischtillämpningar.

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 markander. Ett exempel på denna skillnad visas i en samanställning som gjort 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 vanadininnehåll 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 (slaggbiladare)	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 stålindustrin 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 sammanställ i Tabell 2.

Tabell 2. Sammanställning av produktform för respektive material.

Material	Produktform
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-metal, MnN-tråd
Molybden	Mo, FeMo 60%, FeMo 70%, Molybdenoxid
Nickel	Ni (pulver, metall)
Niob	FeNb
Olivin (slaggbiladare)	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 legerings-metaller 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 materail behöver man göra en djupare analys. Det kan dock konstateras att det

finns ett antal olika sammanställningar som gjorts av bland annat Jernkontoret[1] och EU[2] 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 (slaggbiladare)	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 legerings-metaller 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 kommenterer.

Material	Prisbild	Kommentar
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 (slaggbiladare)	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 legeringsmetaler 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

Bilaga C

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 genomsnittsliga 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 Sverigre.

Den svenska stålindustrin har av marknads- och konkurrensskäl inriktats på att tillverka alltmer avancerade stålkvaliteter 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 styckefraktion. Skrotet måste därför vara ”skräddarsytt” för respektive stålkvalitet.

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 stålsmältans analys. Riktade forsknings- och demoinsatser på sådana områden leder till ökat utbyte av insatta råvaror och ger förutsättningar för att tillverka ännu starkare och beständigare stålkvaliteter.

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.

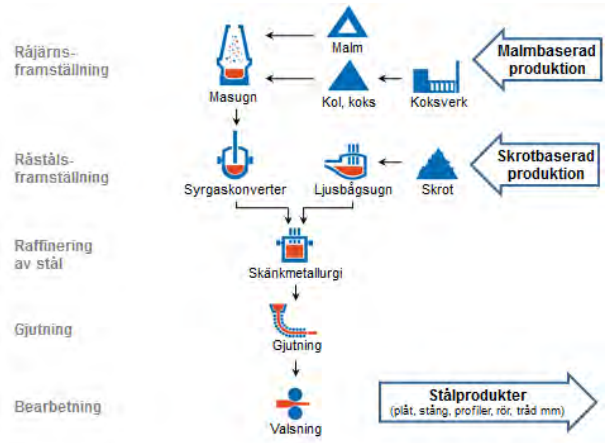
	Anläggningar i Sverige	Prod kap	Skrot %
SSAB	Luleå Masugn,LD	2,5 mton/år	18
	Oxelösund Masugn,LD	1,6 mton/år	19
UDDEHOLM	Hagfors EAF	90 kton/år	100
OVAKO	Hofors EAF	550 kton/år	100
	Smedjebacken EAF	650 kton/år	100
OUTOKUMPU	Avesta EAF	450 kton/år	100
SANDVIK	Sandviken EAF	350 kton/år	100
Scana	Björneborg	100 kton/år	100
Höganäs	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 siffor 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 smält-energin, därav namnet ljusbågsugn, som illusteras i figur 3.

Figur 3. Elektrisk smältugn- ljusbågsugn-för stålskrot och chargering 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 legeringselement. 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.

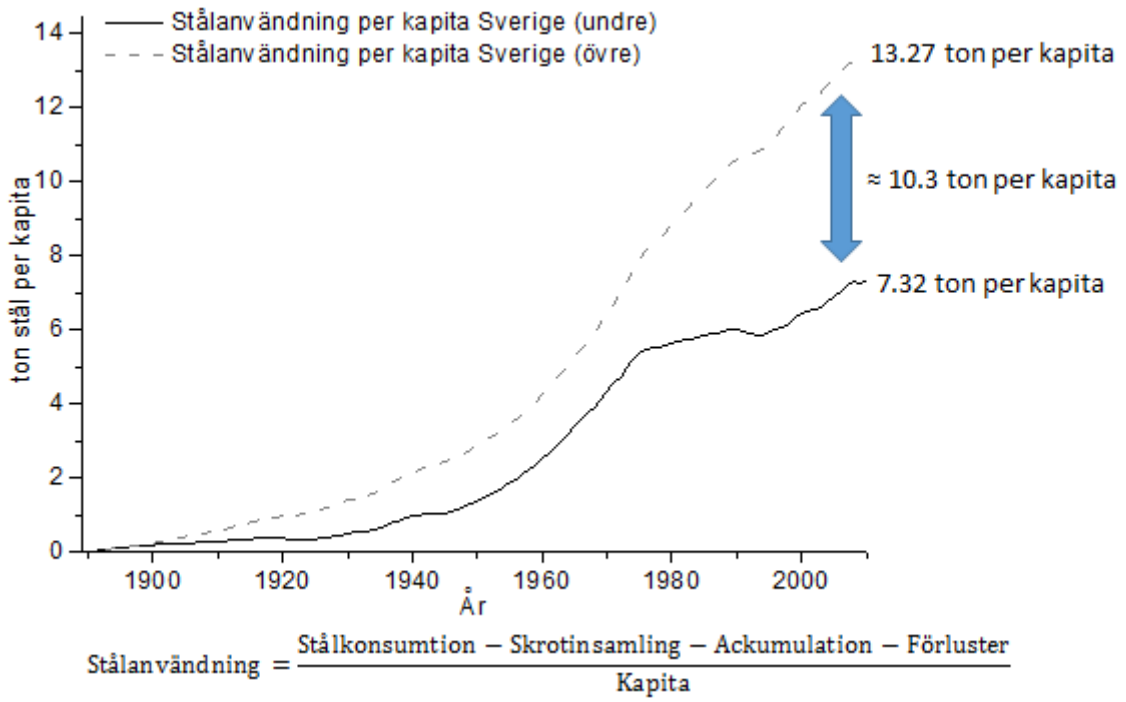
Generellt gäller att andelen skrotbaserad ståltillverkning i ett land beror på bland annat var i utvecklingskedjan som landet befinner sig, inhemsk tillgång på stålskrot, malmtillgång samt behov av stål för uppbyggnad av samhället och inte minst på kunskapen att tillverka stål.

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

3. Stålkonsumtionen i samhället

Användningen av stål per kapita 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 kapita. 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 genomsnittsliga 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%
Kokkärl	20	4%
Andra industrier	15	20%
Medellivslängd:	**35**	

Tabell 1. Genomsnittliga livscykeltider för olika produktslag i Sverige

I länder som är i en utvecklingsfas beträffande infrastuktur, 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

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

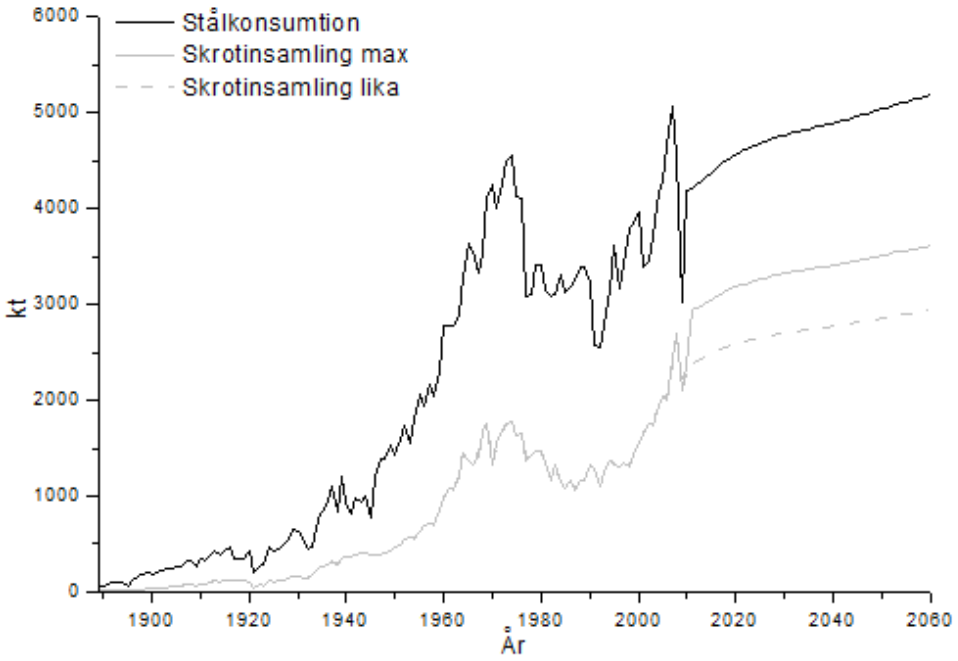
De svenska stålverken är idag helt inriktade på att tillverka specialstålprodukter och för en global marknad. Det innebär att vår stålindustri inte har någon omedelbar koppling till de produkter som innehåller stål som vi konsumerar och förbrukar i Sverige.

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

Generingen 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 följder 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 stål-verken 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 verkstadsskrot från tillverkningsindustrin, insamlingsskrot 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 stålkvalitet 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 återvinningssidan 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 återvinningssidan 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

Bilaga D

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”.

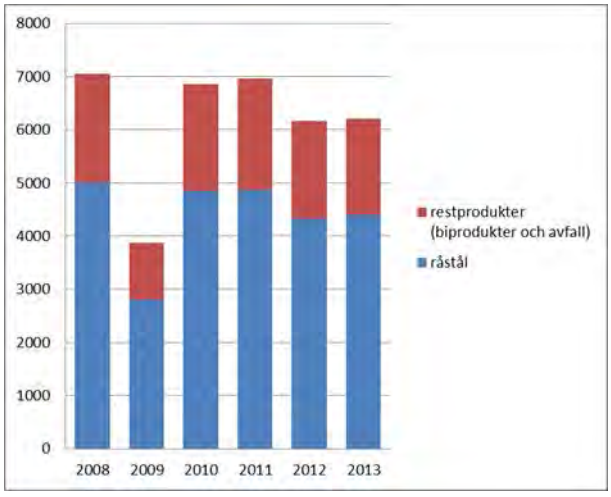
Intresset i rapporten har inriktats på metallmängder, då främst legeringsmetaller, som kan finnas i deponier inom svensk metallindustri. Avgränsningen i rapporten har varit en inriktning på legeringsmetaller och svensk metallproducerande industri det vill säga ståltillverkning samt produktion av icke-järnmetaller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

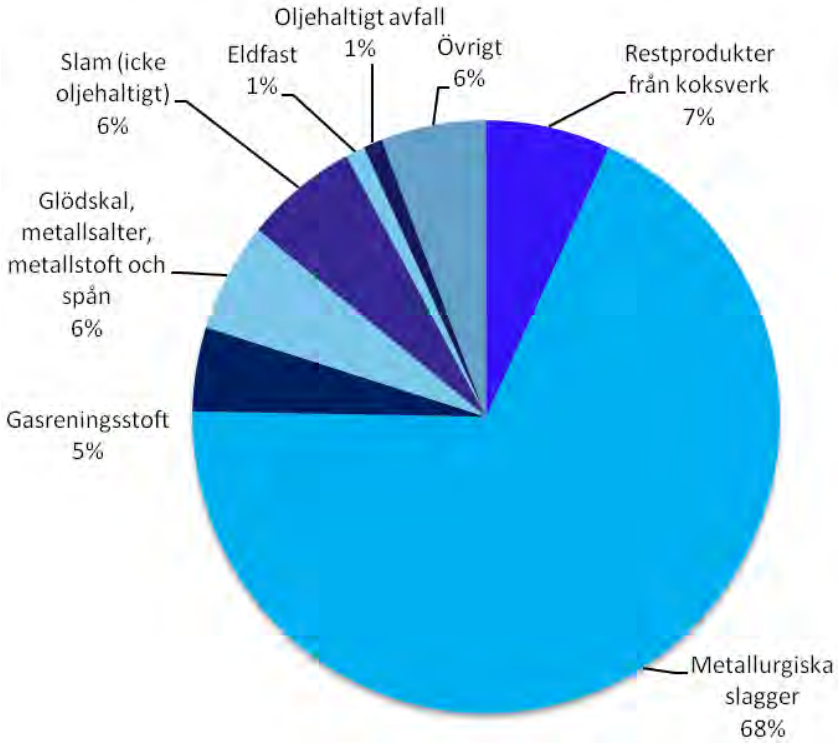
Inom svensk stålindustri produceras årligen relativt stora restproduktmängder, exempelvis ger en produktion av 5 Mton stål per år i Sverige en restproduktmängd på ca 2 Mton per år. Restproduktmängden är direkt kopplad till produktionsvolymen. Merparten av mängden restprodukter är biprodukter men en mindre 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 hälls 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 gasreningsslam. 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 förkommer 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 inteleda 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 (slagg 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 slagg 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 svårgenomförbart 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 förekomsform	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	Utreder fn. Återvinning av Pb (och Zn)
Företag 2/ stoft (K1)	4000	90000	Zn14%	Zn 13 000	Sulfatiskt	2	Miljömässigt osäkert/risk/utsläpp	Utreder fn. Återvinning av Pb (och Zn)
Företag 2/gasreningsslam	300	4000	Zn 2%	Zn 80	Huvudsakligen PbSO4	3	Miljömässigt osäkert/risk/utsläpp	Indikerande försök för Pb-återvinning
Företag 3/gasreningsslamslam	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/slagg	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/slagg	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*	*Är 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*

Indikativ summa mängd metall + oxid i deponier	
Metall	**Mängd (ton)**
Cr	180 000
Zn	33 000
Mn	70 000
Mg	18 000
Ni	17 500
Mo	8 000
Summa	326 500

Bilaga E

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 rökgasstoftet. 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 slagger 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 slagger 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 slagger och restmaterial på ett nytt sätt. Denna rapport redovisar metoder för utvinning av t ex vanadin och mangan ur slagger från ståltillverkning och vanadin i flygaska från raffinaderier och förbränningsanläggningar.

Det har därtill visat sig möjligt att med med elektrolys utvinna många metaller, t ex bly, aluminium, vanadin, molybden och sällsynta jordartmetaller ur restmaterial såsom elektronik-skrot, 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”.

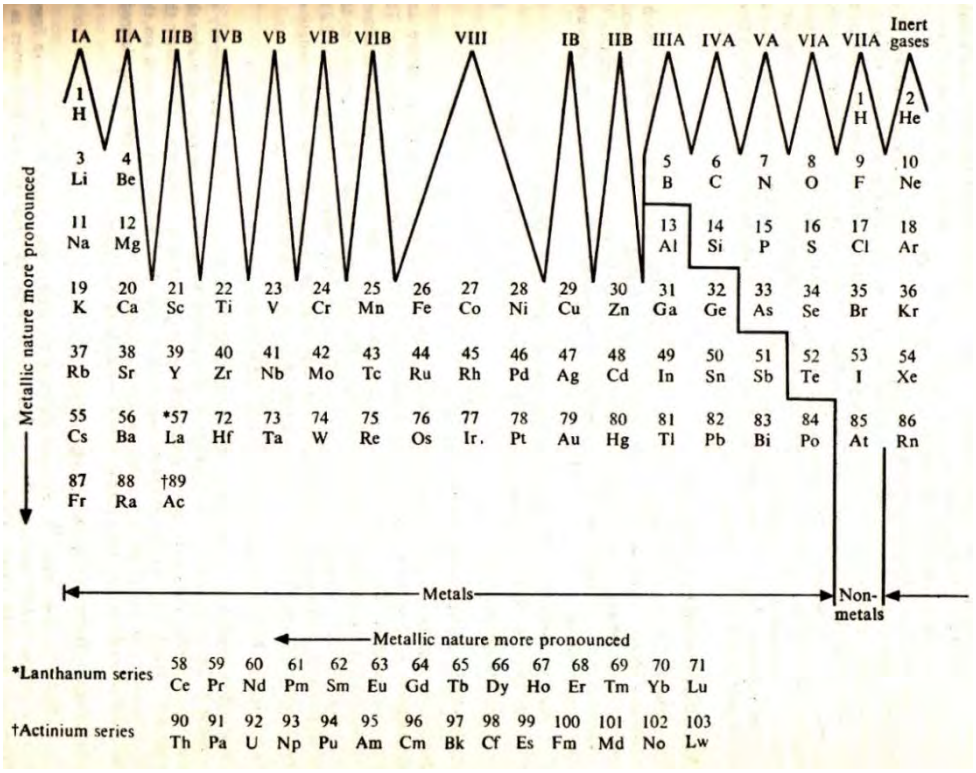
När det gäller återvinning av metaller från skrot, restprodukter eller stoft, gäller samma principer. Man frigör metallen från föreningsbildande ämnen, t.ex. silikat eller oxid så att metallen kan återanvändas. Framställning av metaller samt återvinning av värdefulla metaller från restprodukter kan beskrivas 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 process-föring vid tillverkning och för återvinning av metaller.

Grundämnen uppdelas ofta i metaller och icke-metaller som visas i Figur 1[1].



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 ovannämnda 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 jordskopan.

Tabell I: De mest förekommande grundämnen på jordskorpan[2].

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

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

Teoretiska samband[3]

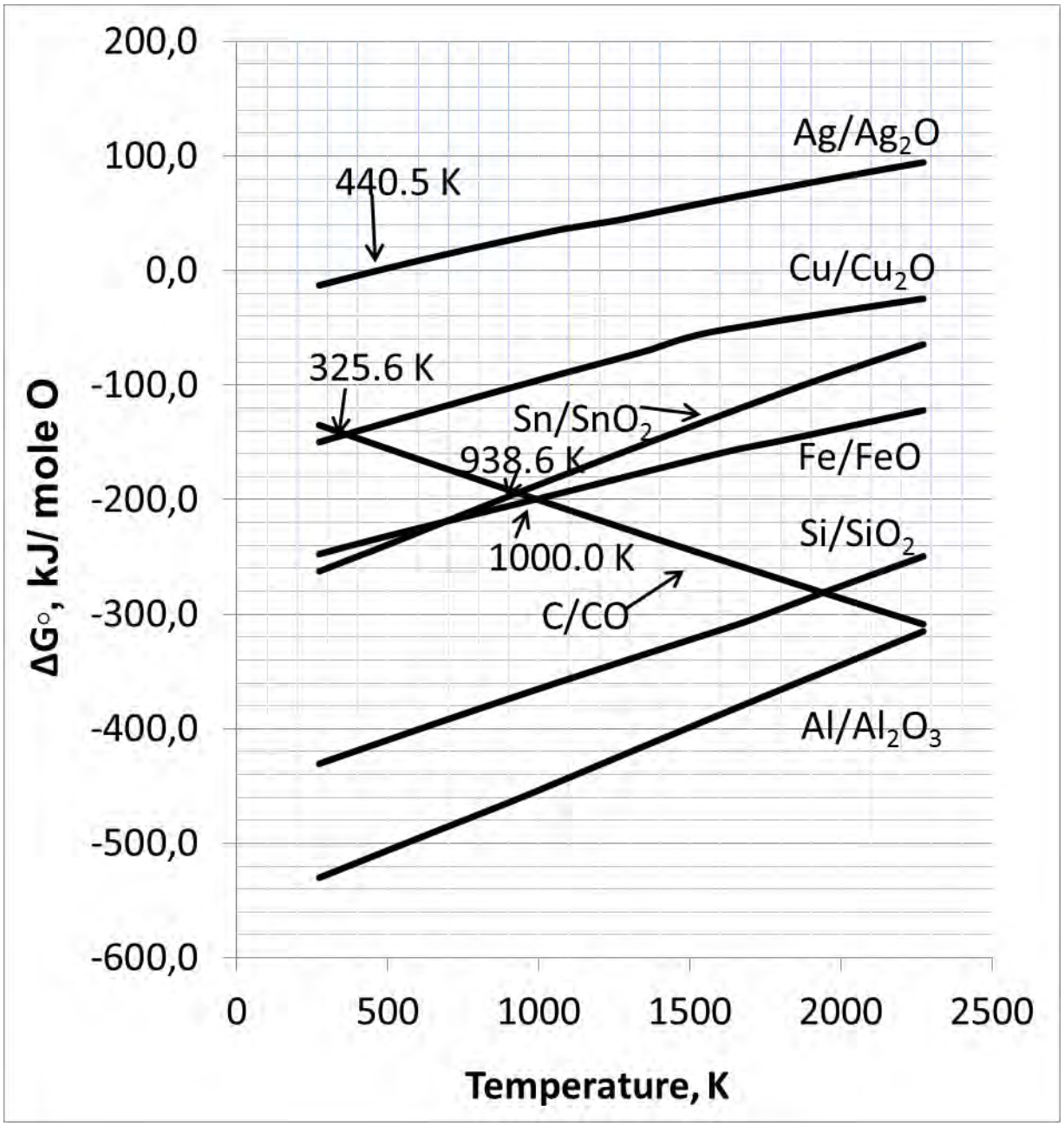
Reaktiviteten av en metall bestäms av dess atomstruktur, eller snarare den elektroniska strukturen hos atomen. För att kunna förstå reaktiviteten på ett enklare sätt kan man referera till Gibbs energidiagram, ofta kallad ”Ellingham diagram” (benämnd efter den engelska forskaren Ellingham).

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:

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

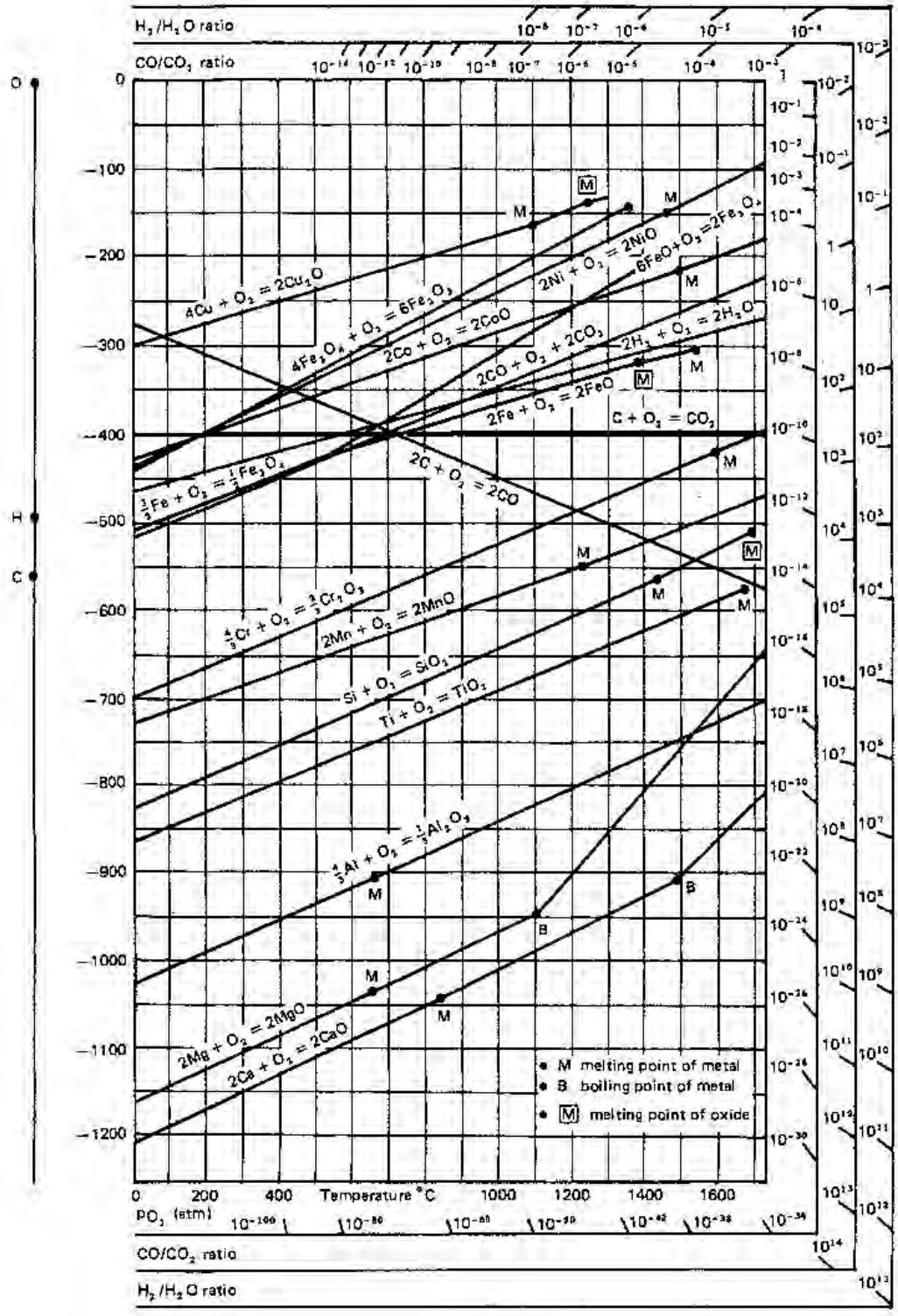
där symbolen ”Δ” står för ändringen, G, H, S och T för resp. Gibbs energi, entalpi, entropi och temperatur. Superskripten ^{o} betyder rena ämnen. Ellingham-diagram för några oxider framgår av Figur 2.

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^{o}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 utvidgad 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 oordningen 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 elektrolysförhållanderna.

Teorin ovan visar att det blir svårare att utvinna metaller som har en hög oxidations-benägenhet. 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.

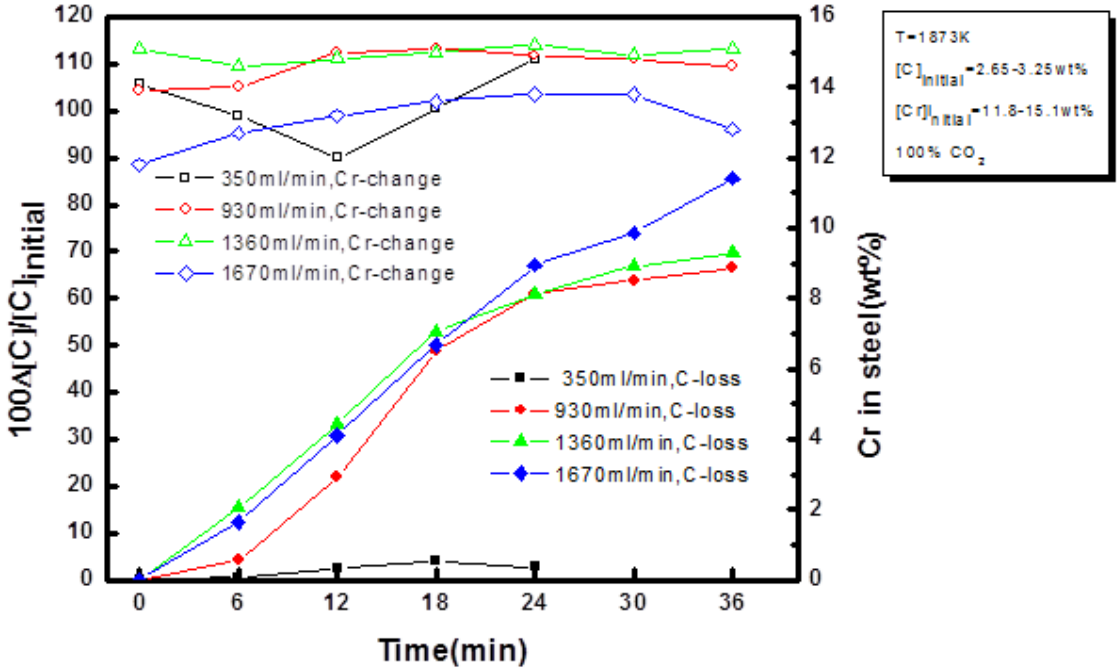
3. Exempel på effektiviseringsmetoder vid ståltillverkning för ökat utbyte

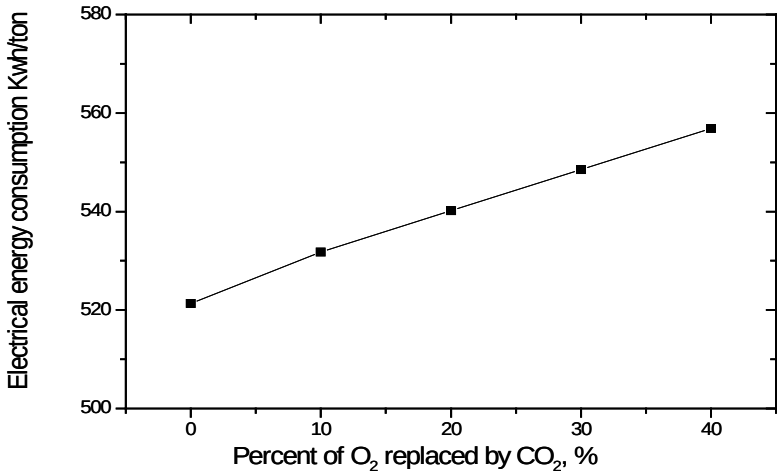
För en bra hushållning av värdefulla metaller vid legeringsframställning, som till exempel av höglegerat stål, bör man optimera processen så att maximal mängd legeringsämne kvarhålls i metallbadet (”Retention”).

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[4] 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.





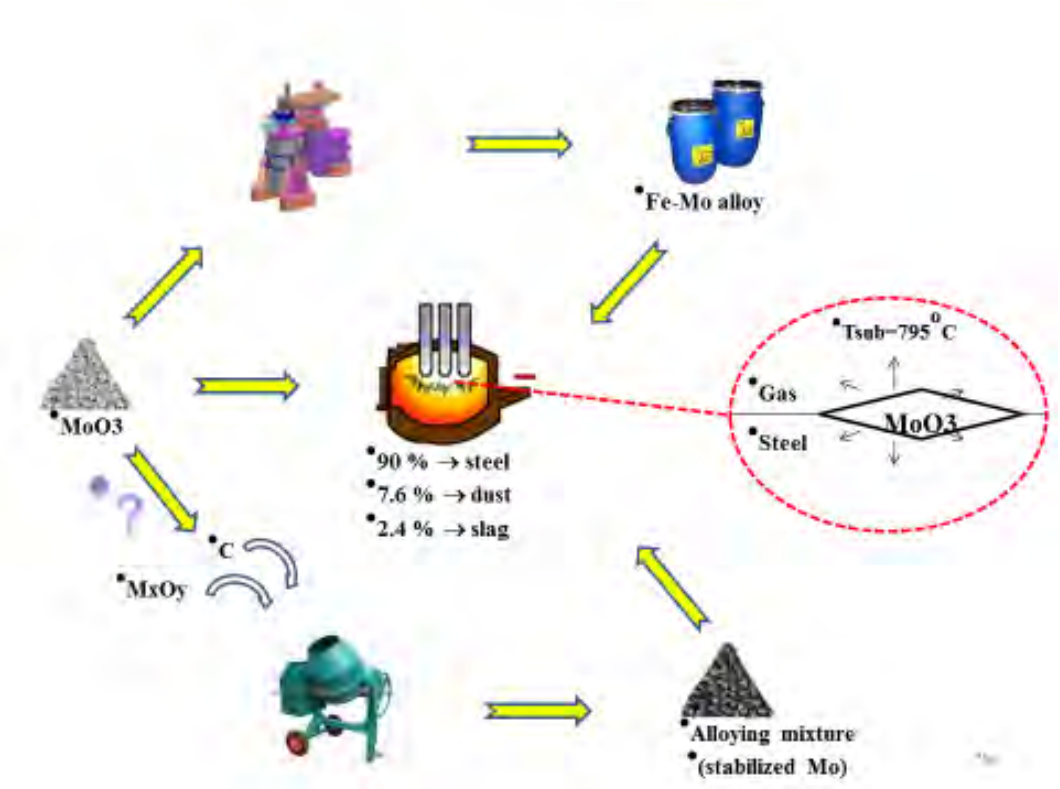
Figur 5: Ökande energiförbrukning när man gradvis ersätter syrgas med CO_2 under färskning av stål.

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 (CO_2), blir den ökande energikostnaden totalt ca 1000 SEK. Genom att ha 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 for 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.

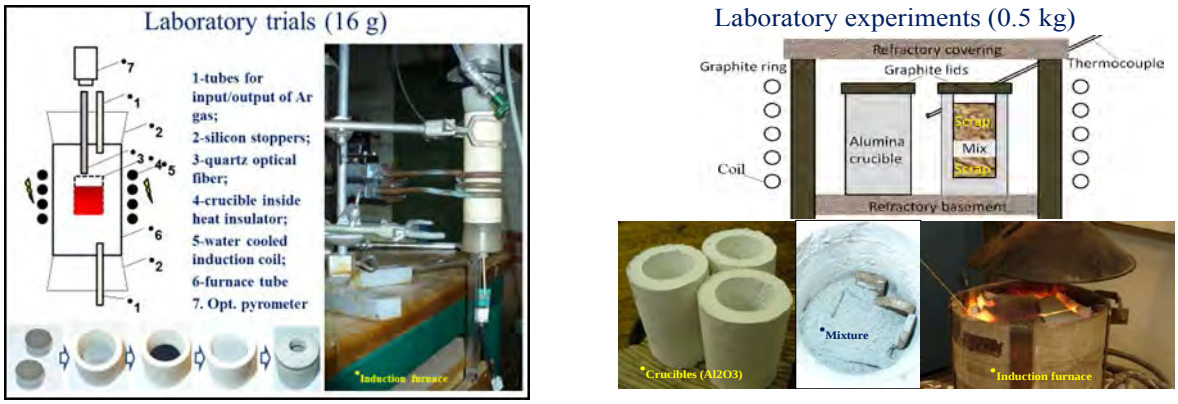
3.2 Ny metod för tillsats av molybden till stålbadet

Ett annat exempel är att tillsätta molybden till stålbadet i ljusbågsugn[5] som molybdentrioxid som är en billig råvara istället för den relativt dyra ferromolydenlegeringen. Molybdentrioxid har högt ångtryck över 800°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 glödskal blandad med kol. Järnmolybdat som är lättlöslig i stålbadet bildas *in situ* och ger en minskning av MoO_3 ångtryck. Försök gjordes först i laboratoriet i 16g samt i halvkilosskala, se Figur 7.

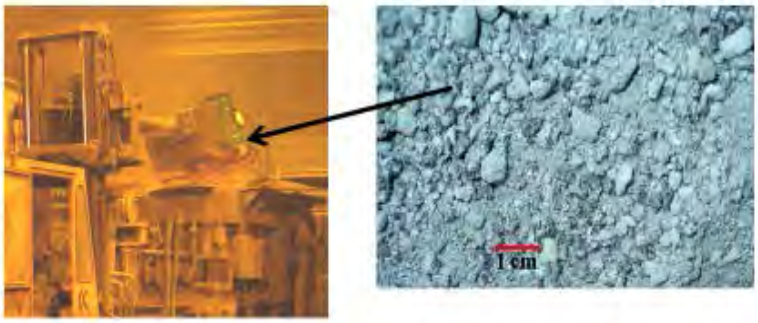


Figur 7: Molybden tillsats med oxidråvara i laboratorieskala.

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 laboratorieförsöken. 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_3 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 ($CaCO_3$) vid ca 850^oC enligt reaktionen nedan:

$$CaCO_3(\text{fast fas}) = CaO\ (\text{fast fas}) + CO_2\ (\text{gasfas}) \qquad \text{(ekv. 3)}$$

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^oC. När kalkstenen kommer i kontakt med smält stål vid ca 1600^oC, 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 slagg 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[6]. 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 slagg som är källa till utvinning av ferrovanadin.

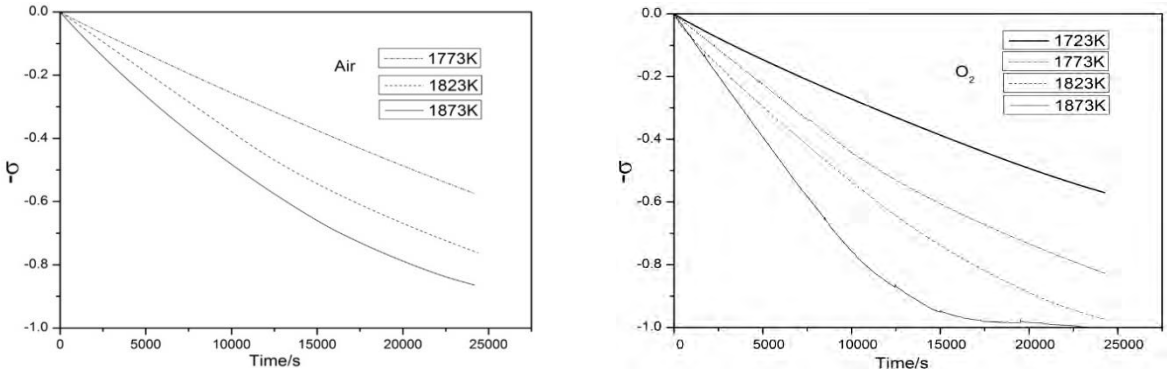
Figur 10: Varm slagg är källa till utvinning av ferrovanadin .

4.2 Vanadinåtervinning genom förfärskning 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.

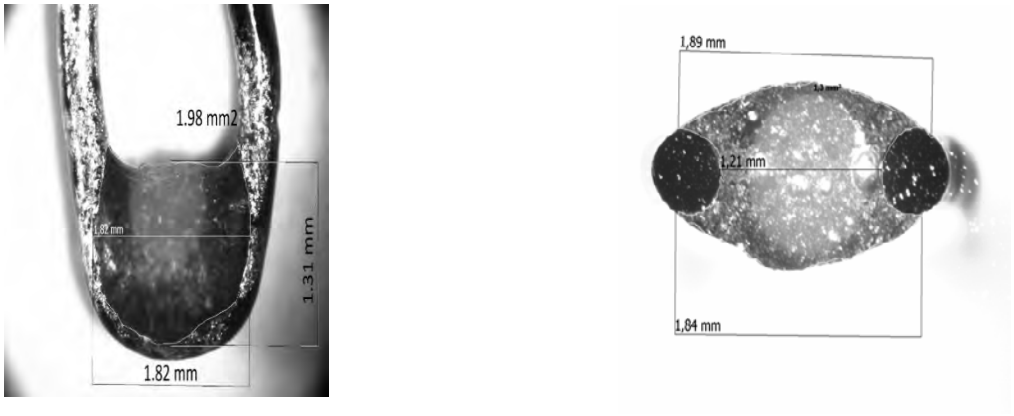
4.3 Vanadinåtervinning med KTH-metoden

Denna metod bygger på upptäckten att vanadin i form av pentoxid kan förångas[7]. 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 slaggfilm. (a) slaggfilm 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 låggradiga malmer[8] 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 lyckat 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_2)	Experimental temperature, K	Average size, nm (L)*
1	1	1673	124,7
2	1,5	1673	84,4
3	2	1673	25,5

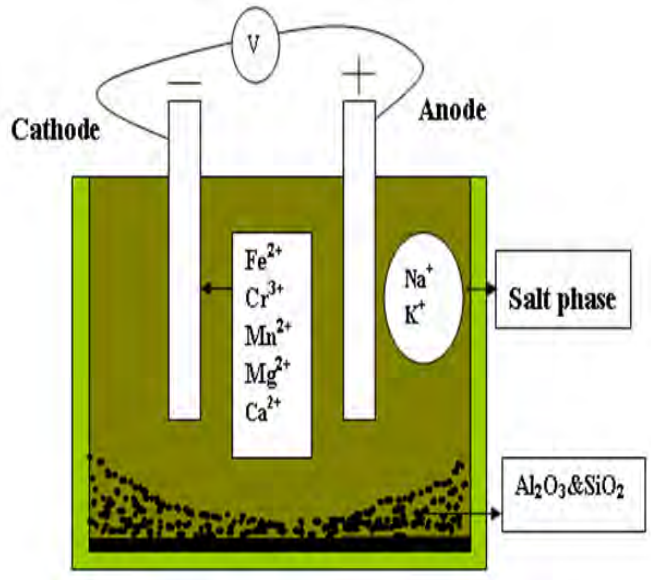
Av tabellen ovan framgår att vid basicitet 2 mangan ferrit från restslagger har en partkelstorlek på 25 nm, en produkt som är mycket värdefull för elektronikindustri. Man kan separera det värdefulla magnetiska materialet i nanoform genom elektromagnetisk separation[8].

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

4.5 Saltextraktion av metaller[9,10]

En annan metod som utvecklades på KTH är den s.k. ”Saltextraktionsprocessen”[9], 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[11]. 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 elektrolys 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[12]

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^{o}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 chalcopyrit 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 slaggfasen 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 elektrolys i vattenlösning. Den koppar som utfälls på katoden har hög renhet.

I saltextraktionsprocess för kopparframställning[12] 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[13,14]

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).

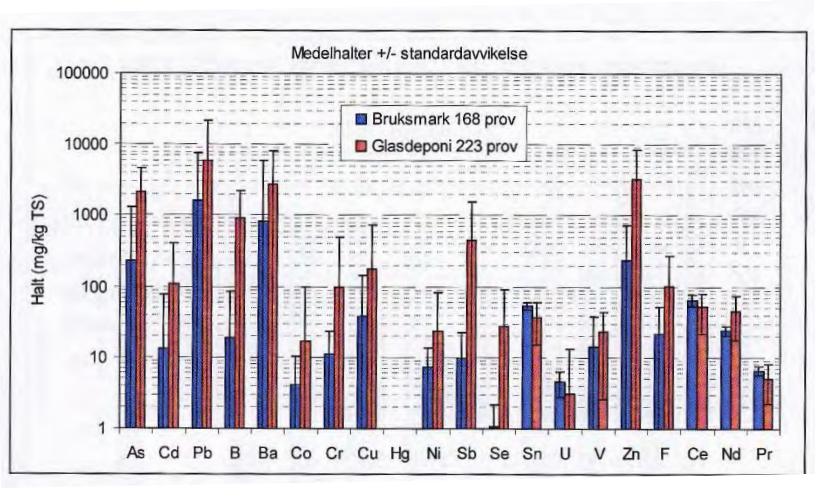
Figur 14: Ett lager av gamla TV-apparater.

Preliminära resultat[12] 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 glasen[15].

Figur 15: Glasdeponi i Småland[15].

Utredarna som undersökte miljöförstöreslsen[15] 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.



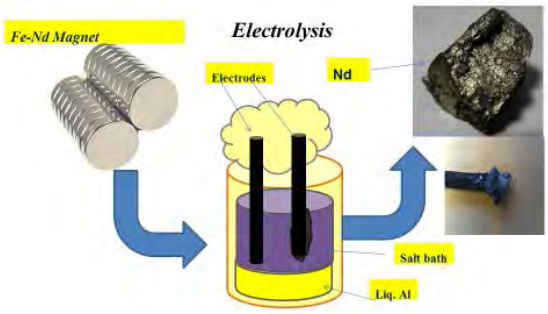
Figur 16: Beräknade medelhalter i prover från bruksmark och glasdeponier vid undersökta glasbruk[15].

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 eletronikskrot[16]

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



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

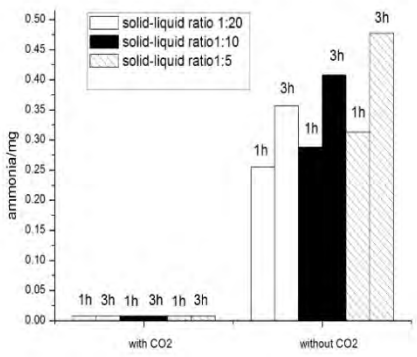
Processen har modifierats och smält aluminium användes som anod, som är en världsunik uppfinning. Upptill ca 70 % av neodymmetall kunde man få ut genom saltelektrolys. Man kunde även deponera dysprosium ur gamla magneter. Metoden har fått mycket uppmärksamhet i Kanada och Japan. I Sverige, har en av 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[17]

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 drosset 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[17]. Saltet i drossen lakas ut med vatten och den ammoniakgas som utvecklas under lakningsprocessen 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 pressenteras 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.

Bilaga F

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 effektiviserings-potentialen 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 fordons-segmentet 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 hållfastfasthet 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 glödgning 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.

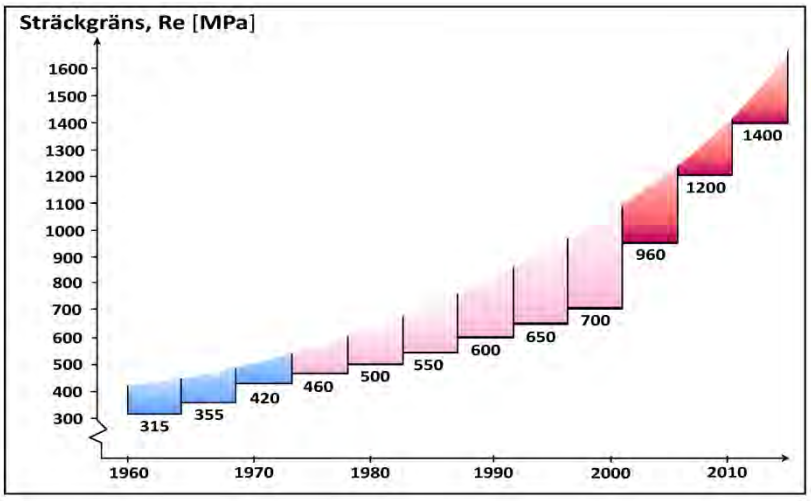
Kan man öka utnyttjandet av avancerade stål i konstruktioner och produkter, är effektiviserings-potentialen stor ur ett samhällsperspektiv. Tillsammans bidrar detta till ett samhälle med låg energianvändning och optimalt resursutnyttjande och därmed ökad hushållning av metaller.

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 glödgningsteknik 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.

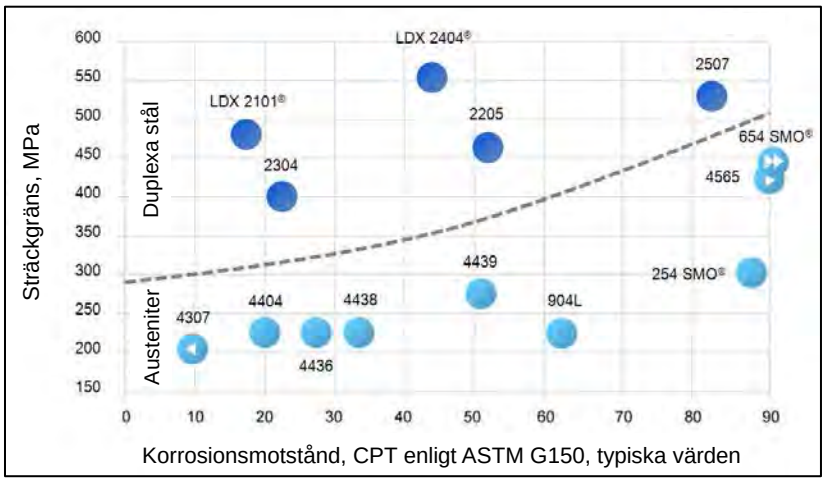
Genom att använda kontinuerlig glödgning och härdning av tunnplåt produceras idag s.k. tvåfasstål med olika andelar ferrit och martensit och helt martensitiska stål. Dessa stål karakteriseras förutom av lågt legeringsinnehåll av hög hållfasthet och mycket god formbarhet och svetsbarhet. Stålen som produceras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



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

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 försätta. 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 material-utnyttjande på många olika sätt. Det som kommer att utvecklas parallellt är att flera funktioner byggts 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

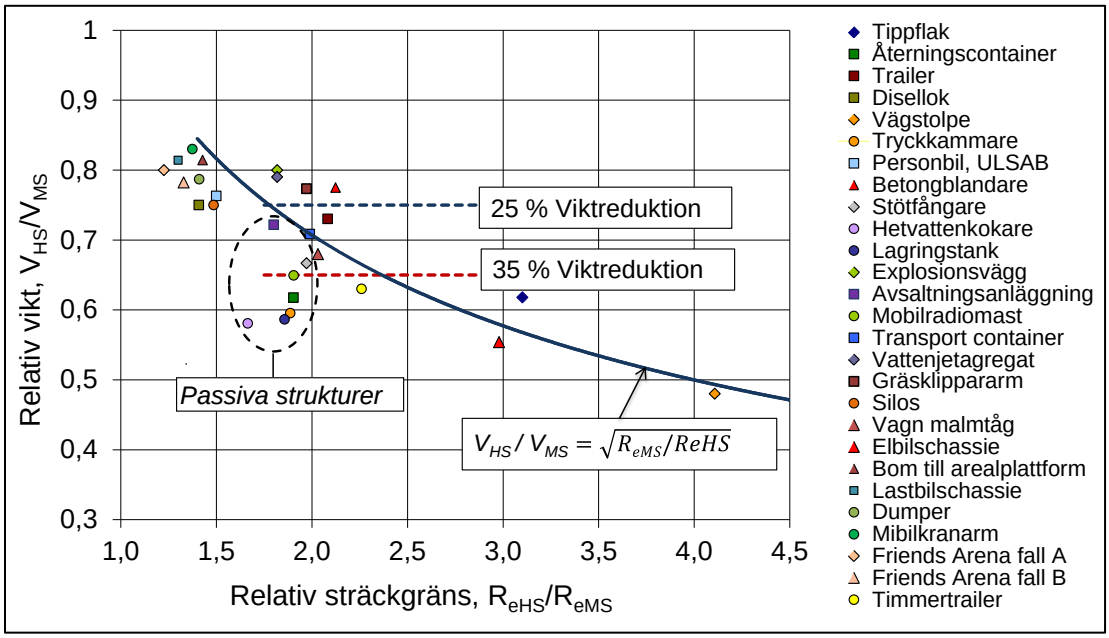
En indikativ bild av hur mycket vikt som kan sparas på grund av att göra konstruktioner lättare framgår av Figur 3.1. Uppgifterna bygger på generella resultat från Forskningsprogrammet Stålkretsloppet [1]. Siffrorna är baserade på en ungefärlig fördubbling av hållfastheten hos stålet.

	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 högpresterande stål inom transportsektorn pågår i ökande omfattning, men volymmässigt finns också stor potential för lättviktskonstruktioner inom bygg- och anläggnings-sektorn 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):

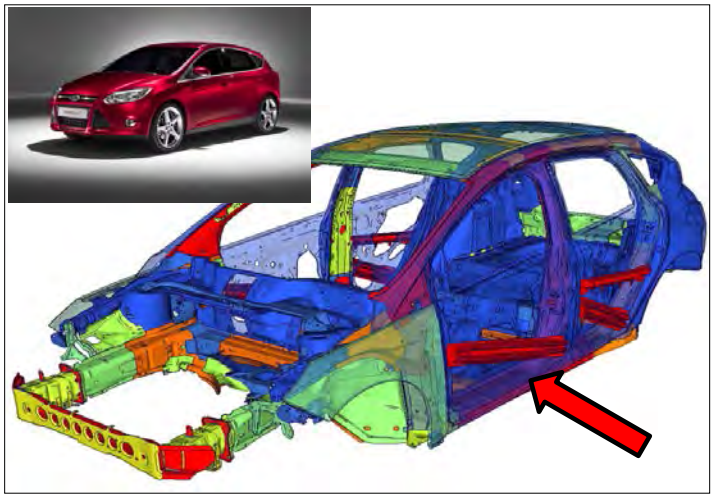
- De ekonomiska och miljömässiga konkurrensfördelarna är inte kända
- Erfarenhet och kunskap saknas
- Högskoleutbildningen ligger efter utvecklingen i industrin
- Konstruktörer och produktionstekniker är för konservativa
- "Det fungerar ju utmärkt idag med dagens material!"
- Eftersläpning i utvecklingen 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 högpresterande 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

Kylda höghållfasta konstruktionsstål i grövre dimensioner som tillverkats genom accelererad kylning eller seghärdning finns i hållfastheter från 500 till 1300 MPa. De högsta hållfasthets-nivåerna 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 kylda 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 svetsegenskaper 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 förstyvande 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)*

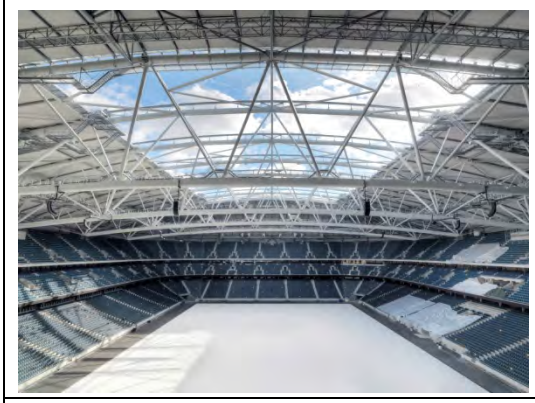
4.3 Exempel: Tank i Rostfritt Duplext stål

Inom Forskningsprogrammet Stålkretsloppet (1) har en fallstudie utförts på en tank för marmorslurry, Figur 4.4. Ett duplext stål LDX 2101med 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 konstruktions-delar 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 användnings-tiden 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, livscycelvärderad.*

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
Summa legeringar	**1 174**	**-176**	**-152**
Fe	**-329 777**	**-6 064**	**-1 742**

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 grovplåtplåtprodukter, som produceras i Sverige idag. Den största ståltillverkaren 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 importeras och exporteras. 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 /Ekomomisk effekt	Metaller		Miljö		Ekonomi		
	Stål [kton]	Legeringar [kton]	CO_{2e} [kton]	Energi [GWh]	CO_{2e} [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 förbisett 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.

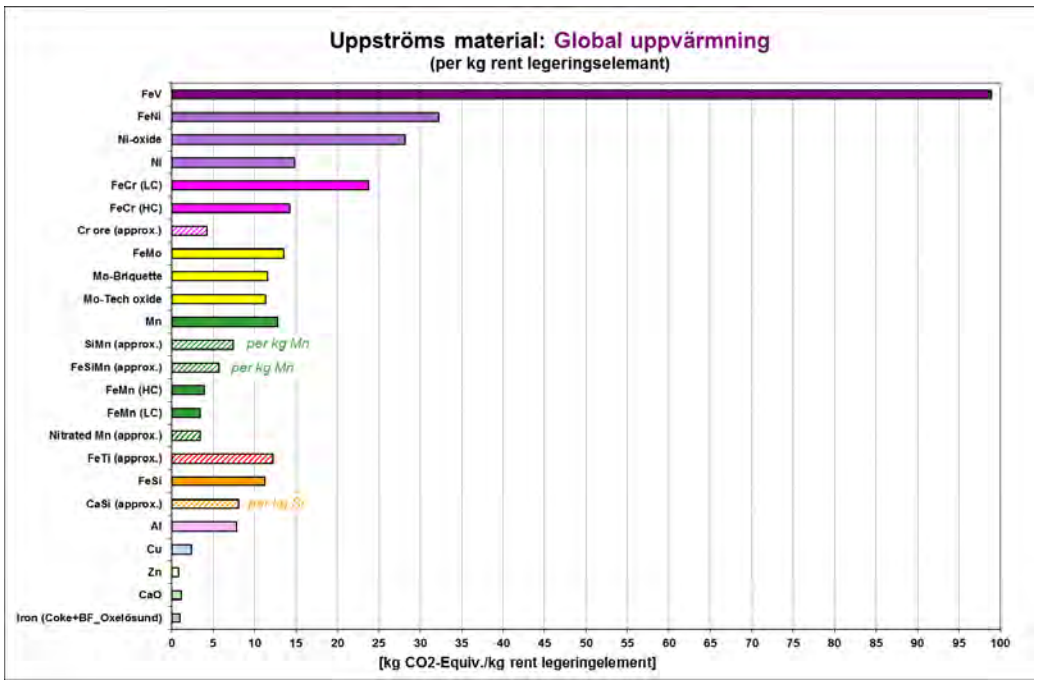
The Steel Eco-Cycle, Environmental Research Program, Evaluation report 2004-2012
Jernkontoret Research, report D 851

[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_{2e}[1] 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_{2e}- per kg legeringsmetall) [4]*

Genom att studera CO2 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_{2e}-emissioner från olika legeringar visas i Figur 9.2.

Legering	kg CO_{2e}/kg ren metallegering	Varmvalsad tunnplåt			
		Domex 355 MC Re=355 Mpa		Domex 700 MC Re=700 Mpa	
		kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} 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
CO2 legeringar kg/ton		37		127	
CO2 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*

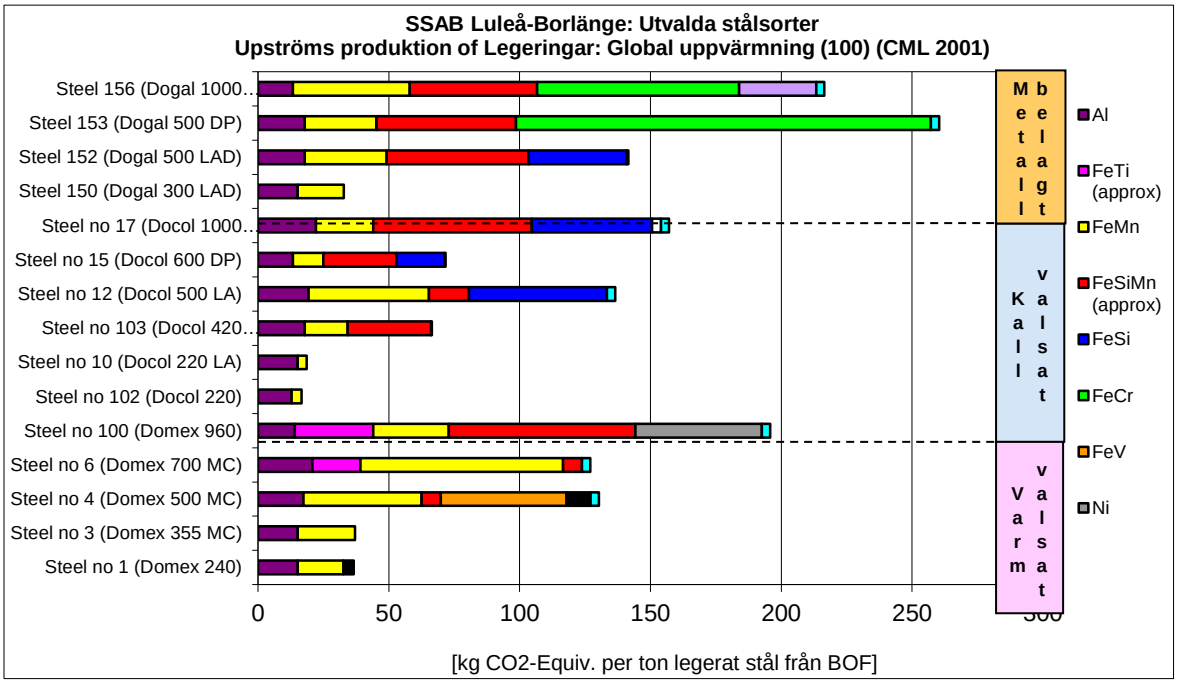
[1] $CO_{2ekvivalenter}$ där inverkan av andra gaser även vägs in

Legering	kg CO_{2e}/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_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} 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_{2e}/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_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} 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_{2e}/kg ren metallegering	Varmvalsad grovplåt				Slitplåt Hardox	
		S 355 Re=355 Mpa		Weldox 700 Re=700 Mpa		Hardox 450 HB=450	
		kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} 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 CO2 legeringar/ton		129		147		103	
kg CO2 totalt/ton		2182		2354		2292	
Legrengar 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_{2e}/kg ren metallegering	Austenitiskt rostfritt stål 4301		Duplext rostfritt stål 2101			
		kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO_{2e} per ton stål	kg legering per ton stål	kg CO2/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
CO2 legeringar kg/ton		2199		2932		2206	
CO2 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 • www.jernkontoret.se