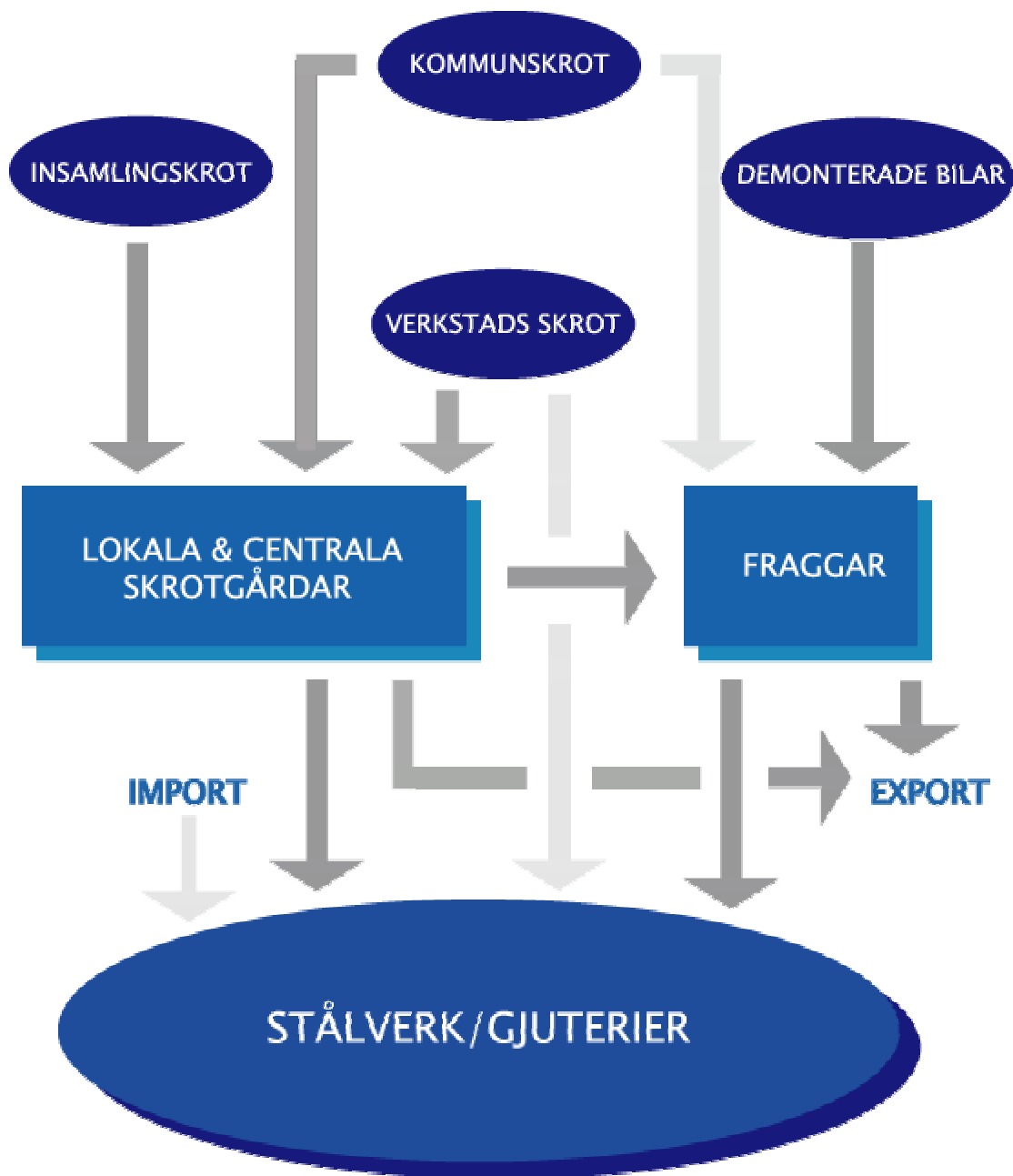


# Stålets kretslopp



# Rapport i Jernkontorets Forskning nr D 792

## Stålets kretslopp

Denna skrift har tagits fram av en kommitté nr 23019 inom Jernkontoret där representanter för stålindustrin och återvinningsindustrin deltar. Huvudansvarig för materialets framtagning och redigering har varit Tekn dr Sven Ekerot.

Denna utgåva är daterad 2003-04-11.

### Innehållsförteckning

<b>Stålets kretslopp.....</b>	<b>4</b>
Förord.....	4
Stålets cirkulation.....	5
Inledning.....	5
Cirkulationens förutsättningar och möjligheter.....	5
Beskrivning av stålets cirkulation.....	6
Internt skrot hos stålverken.....	7
Verkstadsskrot.....	8
Insamlingsskrot.....	8
Tidsaspekten på cirkulationen.....	8
Teoretiska tillgången på skrot.....	9
Återvinningsgrad.....	10
Återvinningsgradens utveckling.....	11
Den svenska återvinningsindustrin.....	12
Från skrot- och avfalls- till återvinningsindustri.....	12
Återvinningsindustrins huvuduppgifter vad gäller stålskrot.....	12
Utvecklingstrender.....	12
Det fysiska flödet.....	13
Klassning, leveranser och handel.....	15
Leverans- och klassningsbestämmelser - ”Skrotboken”.....	15
Exempel på beskrivning av skrotklasser.....	18
Provtagning.....	19
Affärsuppgörelser i praktiken.....	20
Prisbildningsmekanismen för skrot, trender.....	20
Historiska handelsregler för skrot.....	22
Skrottillgången i Sverige.....	22
Export-import.....	22
Skrotbalansen sett i världsperspektiv, trender.....	23
Kvalitetsaspekter på skrot.....	24
Inledning.....	24

Hälso- och miljöfarliga produkter.....	25
Explosionsfarligt gods och slutna kärl.....	25
Radioaktivitet.....	25
Hanterbarhet .....	26
Kemiska elementens (föroreningarnas) inverkan tom. nedsmältning .....	26
Kemiska elements (föroreningars) inverka på stålets egenskaper .....	27
<b>Den praktiska skrothanteringen hos återvinningsindustrin.....</b>	<b>29</b>
Flödet inom skrotgården .....	29
Mottagning av skrotet .....	29
Kvalitetskontroll, provtagning och analys.....	30
Demontering av utrustning och maskiner.....	32
Skärning och klippning.....	32
Pressning till paket eller kutsar.....	34
Fragmentering.....	35
<b>Praktiska hanteringen av skrotet hos stålverken .....</b>	<b>37</b>
Råvarulager och smältning av skrot .....	37
Ingångskontroll .....	37
Smältning.....	38
Optimering vid tillverkning av skrotbaserat stål .....	38
Skrotets utvecklingspotential med avseende på optimal nedsmältning.....	39
<b>Miljön och återvinningen .....</b>	<b>40</b>
Samhällets miljömål och lagstiftning .....	40
Livscykelänkande .....	40
Konstruktion och återvinningsgrad .....	41
Trender inom området miljö-återvinning .....	41
<b>Appendix 1: Stålets grundbegrepp .....</b>	<b>43</b>
Inledning .....	43
Metaller som bruksmaterial .....	43
Stålets definitioner och indelningar .....	45
Stålets tillverkningsvägar .....	48
Rostfria stål.....	52
Referenser och källor.....	53

# Stålets kretslopp

## Förord

Denna skrift är tänkt att fungera som ett informationsmaterial om stålets cirkulation. Informationen skall täcka hela cykeln från att stålet övergår till skrot till det åter får en funktion som prima stålprodukt. Viktigast i denna rapport är dock den fas i cirkulationen när stålet i dagligt tal benämns skrot och utgör en värdefull råvara. Särskilt vill betonas att alla metallprodukter så småningom i cirkulationen blir en ny råvara. Därför måste man medvetet ta hänsyn till detta redan vid utveckling, design/ritbord och konstruktion.

Cirkulationen berör i huvudsak två industriella branscher nämligen återvinningsbranschen (tidigare kallad skrotbranschen) samt stål- och gjutgodsbranschen m.a.o. stålverk och gjuterier. Bakom denna skrift står en kommitté inom Jernkontoret (JK 2319) där både representanter från återvinningsbranschen och stålverken ingår.

Skriften riktar sig till personal inom båda de aktuella branscherna men även till personer som arbetar inom t ex samhällssektorn. Eftersom stålets kretslopp är viktig ur miljö- och energisynpunkt är också materialet tänkt som en informationskälla för de som är intresserade av denna sektor.

# Stålets cirkulation

## Inledning

Vi har valt rubriken stålets cirkulation för detta avsnitt men vi kunde också ha sagt skrotcirkulationen eller stålets återvinningscykel. Vi vill med rubriken betona att det är stålet som cirkulerar och under en viss fas i denna cirkulation kallas för skrot. Senare i detta avsnitt skall vi återkomma till semantiken och historien kring begreppet ”skrot”. Vi talar här om stål för det är den största metallen men resonemangen nedan är oftast gällande för alla andra bruksmetaller.

## Cirkulationens förutsättningar och möjligheter

Stål har liksom de flesta metaller den positiva egenheten att det kan återvinnas obegränsat antal gånger utan att förlora sina egenskaper. Förutsättningen är dock att cirkulationen sker utan att s.k. föroreningselement följer med i cirkulationen och på så sätt succesivt ökar sin halt i stålet.

Denna återvinning är viktig för såväl samhällsekonomin som ur miljösynpunkt. Cirkulationen minskar trycket på naturresurserna och minskar energibehoven vilket i sin tur betyder lägre utsläpp av växthusgaser. För att producera ett ton stålprodukter med start från malm åtgår energi med ca 23 GJ medan det åtgår endast ca 7 GJ energi om man utgår från skrot.

Av stålproduktionen i världen tillverkas 60-65 % från jungfrulig råvara i form av järnmalm medan 35-40 % produceras från skrot. Tillverkningskedjan från skrot till färdig produkt är enklare och kortare än från malm till färdig produkt vilket innebär en lägre tillverkningskostnad. Denna skillnad i tillverkningskostnad är själva drivkraften i cirkulationen och utgör basen för den ekonomiska värderingen av skrot som råvara.

Ur miljösynpunkt är cirkulationen ytterst viktig för att uttjänt material inte skall förorena naturen och att deponeringen av avfallet från samhället skall kunna begränsas.

Historiskt har stålcirkulationen tidigt spelat en stor roll. Långt innan dagens miljöuppvaknande inom många branscher har stålindustrin utnyttjat cirkulationens fördelar. Vid den industriella revolutionen, som startade vid 1800-talets mitt, uppfanns Siemens-Martin ugnen som hade som huvuduppgift att smälta om uttjänta stålprodukter. Denna ugn var en dominerande ugn i 100 år innan den ersattes av ljusbågsugnen som dominerande skrotomsmältningugn.

## Beskrivning av stålets cirkulation

Principiellt är det naturligt att beskriva stålets cirkulation eller återvinningscykel som en cirkelrörelse, se fig.1, där tillverkningen av stål blir den första fasen varefter stålet i nästa fas bearbetas till färdig produkt för slutanvändning. Efter slutanvändning når stålet den fas som kallas skrot. Man säger att det uppstår ett skrotfall. Cirkeln sluts när skrotet insamlas och bearbetas till en råvara för stålframställning.

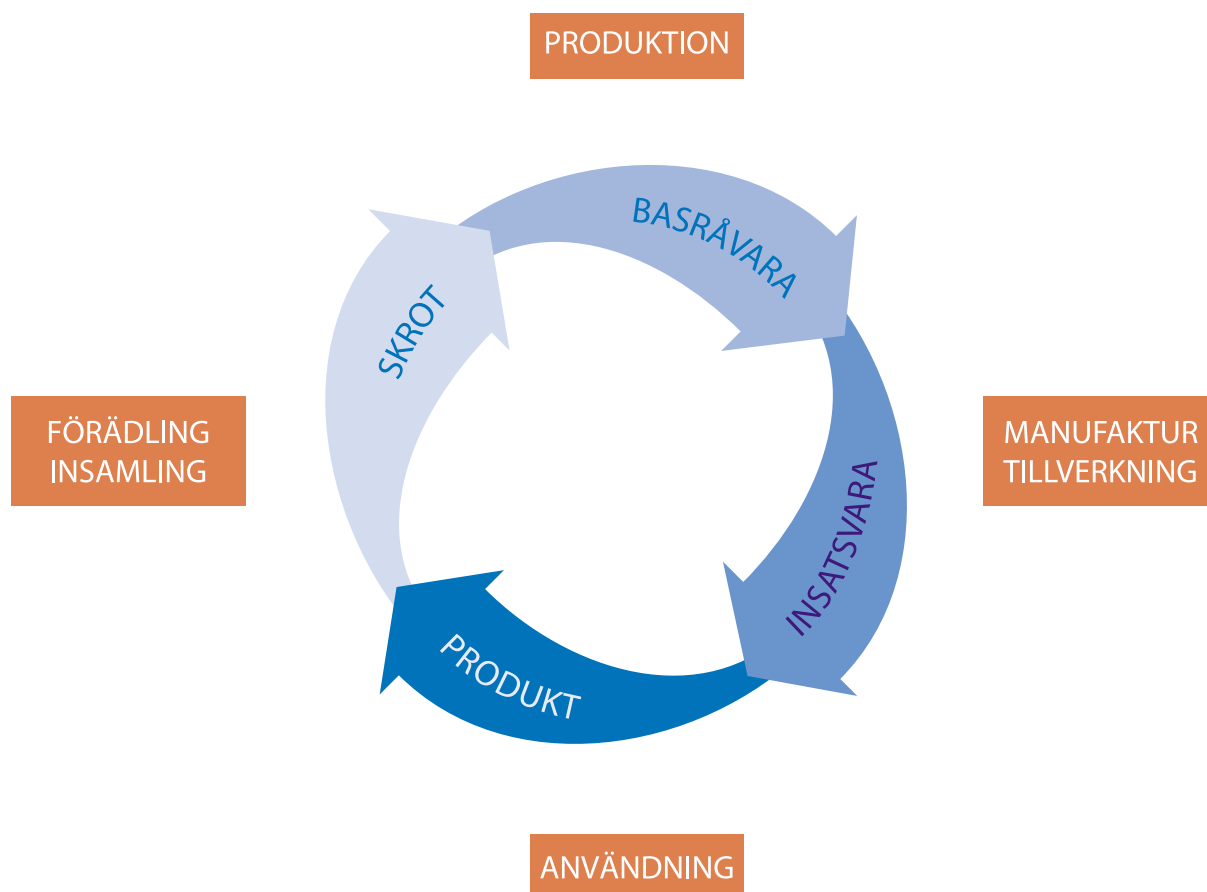


Fig. 1 Principiellt schema för stålcirkulationen.

Om man gör en djupare analys av cirkulationen finner man att det är olika flöden som cirkulerar tillbaka som råvara, se fig. 2. Uppdelningen i olika cirklar kan naturligtvis göras olika beroende på vad man vill beskriva. Viktigt att notera att varje cirkel har en avvikande pil som markerar en förlust. Denna s.k. skrotförlust är det viktigt att minimera. I skrotförlusten ingår dels stål som förstörts på något sätt t ex stål som rostar och dels uttjänt stål som av olika skäl blir kvar i samhället.

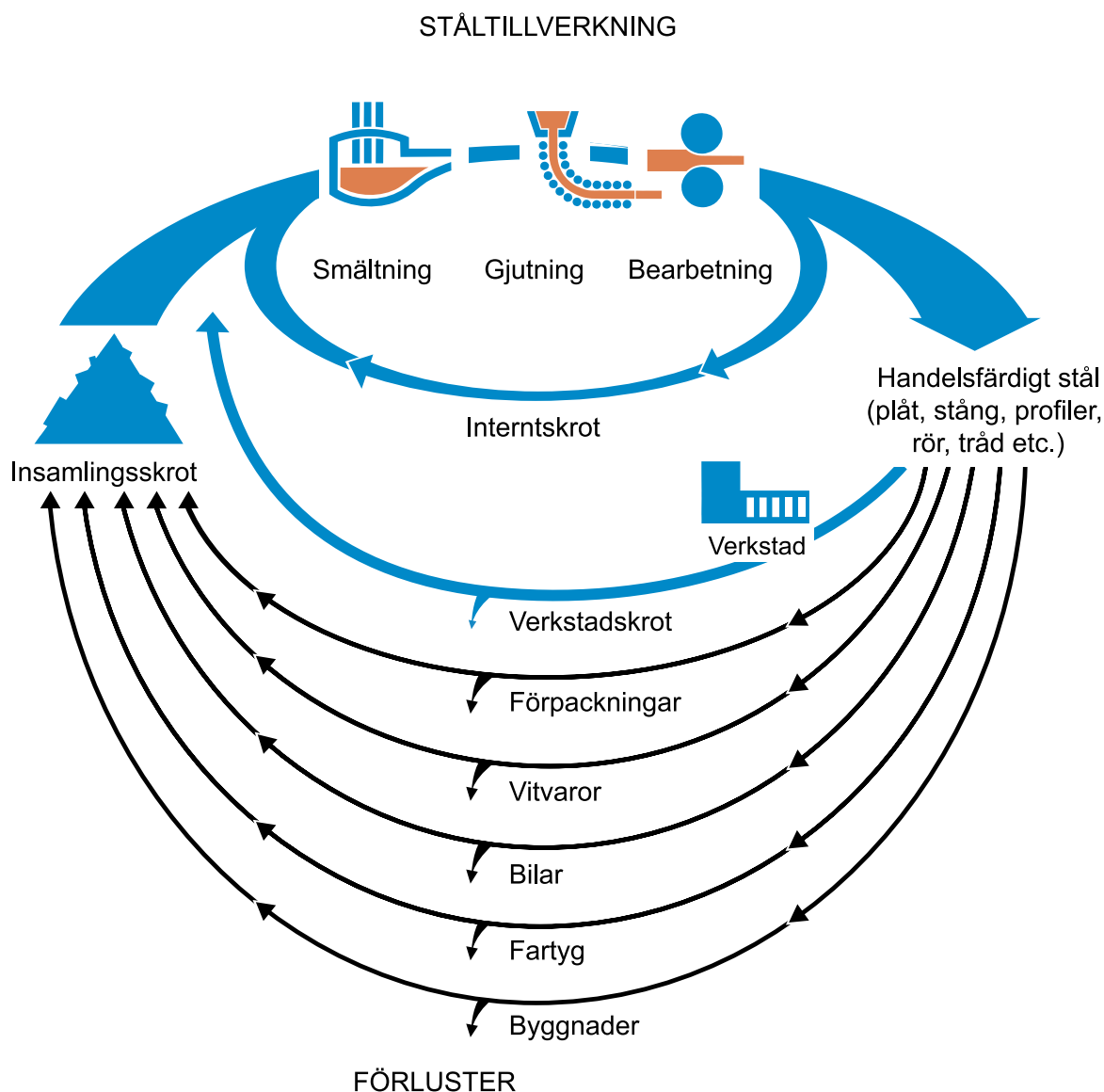


Fig 2 Stålets cirkulationsvägar med exempel på olika skrotprodukter

## Internt skrot hos stålverken

Ett första relativt stort flöde är det skrot som faller redan i stålverket. Det brukar kallas för internt skrot, eget skrot eller returstål. Det är t ex stål som blivit kvar som slattar i skänkar och ugnar eller klippts av från början och slutet av ämnen vid gjutning och valsning. Dessa mängder varierar naturligtvis mellan olika stålverk beroende på tekniska lösningar och produktslag. Internt skrot ligger normalt kring 10 % av stålverkets produktion men kan för vissa verk vara högre. En hög andel internt skrot kan bero på att man av tekniska skäl har en gjutmetod med lågt utbyte eller att man har en långt driven förädling. I Sverige har flera stålverk dessa förhållanden varför interna skrotandelar statistiskt ligger högre i Sverige än genomsnittet i världen. Normalt används allt internt skrot i den egna produktionen. En fördel med detta skrot är att analysen är känd. Observera att även malmbaserade verk i regel använder allt sitt eget fallande skrot eftersom man har ett behov av (eller en möjlighet) att tillsätta skrot till sin konverter för

att kyla ned övertemperatur i smältan. Detta kallas för kylskrot och mängden ligger normalt mellan 15-20 % av produktionsvolymen. Under vissa kommersiella förutsättningar förekommer att man går upp mot 30 % andel insmältning av skrot. I de fall där kylskrotsbehovet överstiger eget skrotfall blir således även malmbaserade stålverk köpare av skrot.

## Verkstadsskrot

Nästa separata flöde i kedjan efter internskrotet är det skrot som faller vid bearbetningen av stålet till en färdig produkt. Man kallar detta skrot för verkstadsskrot eller processskrot. Det kan utgöras av svarvspån, rester efter klipp och stansningar eller kassationer av olika slag. Volymerna är svåra att uppskatta men vissa japanska analyser indikerar att man under en lång tid har legat kring 13-16 % av verkstadsindustrins stålflöde. Bilindustrin anses ligga lite högre och genererar i storleksordningen 20 %. Dessa skrotreturer försöker man naturligtvis att minska och i framtiden kan man vänta sig successivt minskande andelar. Värdet av detta skrot för stålverken är oftast högt men undantag finns och vi återkommer till denna fråga när vi diskuterar skrotkvalité.

## Insamlingskrot

De flöden som uppstår efter användning av stålprodukterna kallas med ett gemensamt namn insamlingskrot. Tillsammans med verkstadsskrot används beteckningen köpskrot för att skilja det från eget skrot (=internt skrot). Insamlingskrotet indelades i grupper som vanligtvis hänförs varifrån skrotet kommer, se fig.2. Man talar om utrangerings- och rivningsskrot, järnvägsskrot, hushållsskrot (kommunskrot), bilskrot och fartygsskrot (upphuggningsskrot). Idag passerar en viss del av skrotflödet genom fragmenteringsanläggningar, s.k. fraggar. Produkter som går till fragmenteringsanläggningar är oftast sammansatta produkter och kallas därför komplext skrot. Det är bilar eller vitvaror men kan även vara små produkter som klockor eller stora produkter som flygplan. I princip är det tunnväggigt, sammansatt material som går till fragmentering. Skrot från fragmenteringsanläggningar kallas för fraggskrot.

## Tidsaspekten på cirkulationen

I fig. 2 har vi schematiskt beskrivit cirkulationen och de olika stegen i kronologisk ordning. Om vi skulle sätta in absoluta tider för de olika stegen i figuren skulle tiden för cirkulationen av eget skrot och verkstadsskrot helt försvinna jämfört med insamlingskrotet. Cirkulationstiderna för eget skrot kan vara dagar till veckor och verkstadsskrot handlar om veckor upp till månader medan insamlingskrotet kan behöva årtionden innan genomsnittliga produkten har kommit i retur. I tabell nedan beskrivs typiska cirkulationstider för olika typer av skrot:



Tabell över uppskattade cirkulationstider för olika grupper av skrot,

<u>Typ</u>	<u>Mediantid för återvinning</u>
Internt skrot	en dag – några veckor
Verkstadsskrot	någon vecka –några månader
Förpackningar	några månader-halvår
Vitvaror(kylskåp...)	10–15 år
Bilskrot	15–19år
Fartygsskrot	30–60år
Byggnadsskrot	30–100år

## Teoretiska tillgången på skrot

Att man har långa cirkulationstider för insamlingskrotet innebär att tillgången till skrot blir beroende av produktionsnivån många år tillbaka i tiden. Om t ex mediantiden för cirkulationen är 20 år är skrotfallet 2002 bestämt av försäljningen år 1982. Nu är naturligtvis inte allt fallande skrot från exakt 1982 men om man förenklar och antar att fördelningen av skrotfallet är lika före och efter medianåret så blir det i stort sett rätt att utgå från 1982 års siffror. Ett bättre värde fås dock om man använder ett glidande medelvärde för ingångsåret. Det hela blir snart rätt komplicerat och man bör observera att cirkulationstider kan definieras antingen för ett visst tillverkningsår eller för ett visst återvinningsår. Man kan t ex tala om att cirkulationstiden (medellivslängden) för alla sålda bilar i Sverige år 1983 var 17 år men cirkulationstiden (medellivslängden) för alla skrotade bilar år 2000 är något annat.

Eftersom världens stålindustris totala kapacitet byggs upp genom stål producerat från malmbaserad produktion (ca 60 %) samt stål producerat från skrotbaserad produktion (ca 40 %) och man helst vill utnyttja kapaciteterna så nära fullt som möjligt blir tillgången på skrot viktig. Inte minst blir långsiktiga prognoser över skrotillgången viktig för att rätt bygga ut skrotbaserad produktionskapacitet. Att skrotbaserad produktion endast ligger runt 40 % beror på att man dels inte återvinner allt stål ens på lång sikt och dels på att totalproduktionen är högre i dag än när dagens skrot var nyproducerat stål. Hur totalproduktionen historiskt utvecklats har därför avgörande inverkan på dagens tillgång på skrot.

Eftersom stålprodukter är av så olika slag och har så olika cirkulationstider är det i dag i princip omöjligt att göra prognoser baserad på statistik hur tillgången på skrot kommer att utvecklas. Trenden är dock att andelen på ca 40 % skrotbaserat ökar några tiondels procent upp till en halv procent varje år. Detta förväntas fortsätta så länge inga större förändringar av den totala världsproduktionen av stål ändras.

## Återvinningsgrad

Återvinningsgrad för stål är i detta sammanhang definierat som den andel som under en viss tid återvinns av det stål som tjänat ut sin funktion under samma tid. Återvinningsgraden kan definieras för ett visst materialslag, i vårt fall stål, men samtidigt gälla för en viss region, t ex Sverige. Begreppet återvinningsgrad används också med en annan definition, nämligen som ett mått på hur stor andel av en produkt t ex bil, som återvinns. I detta fall talar man om bilens återvinningsgrad. Återvinningsgrad i denna senare betydelsen är väl etablerad i miljösammanhang och därför måste man vara noga med att specificera vad man avser med återvinningsgraden. Man bör tala om ” Stååtervinningsgrad ” eller återvinningsgrad för stål när man avser materialet. I engelskt språkbruk används ofta ”collection rate” för att beteckna återvinningsgrad men att översätta detta med insamlingsgrad bör undvikas eftersom det ger fel associationer. Ordet cirkulationsgrad har föreslagits för att beskriva återvinningsgrad för stål eller andra metaller men detta är inte etablerat.

Av olika skäl finns ett stort intresse att upprätthålla återvinningsgraden för stål på högsta möjliga nivå. Till att börja med är stååtervinningsgraden beroende av en viss mängd skrotåvara eftersom man har investerat i en viss ugnstrustning som har skrot som utgångsmaterial. Många stålverk baserar sin produktion på enbart skrot som stååvara. Ur miljösynpunkt är en hög återvinningsgrad viktig, genom att stååframställning från skrot dels ger en väsentligt lägre energiförbrukning och därmed också lägre utsläpp av CO<sub>2</sub> till atmosfären och dels åstadkommes en s.k. ”uthållig produktion” genom ett lägre uttag av malmåvara. Dessutom minskar avfall som måste deponeras.

Återvinningsgrad definieras alltså som kvoten mellan mängden skrot som blivit insatt för omsmältning under en viss tid och den totala mängden stål som blivit tillgängligt som skrot d.v.s. den mängd material som tjänat ut i sin normala funktion och inte funnit någon ny funktion under samma tid. Man kan alltså skriva definitionen för återvinningsgrad för stål som:

$$\text{Återvinningsgrad}_{\text{stål}} = \frac{\text{Mängden insatt stååskrot i ugn}}{\text{Mängden uttjänt stål}}$$

Innan vi fortsätter att diskutera återvinningsgraden bör uppmärksammas att man bör använda begreppet återvinningsgrad med viss försiktighet eftersom kvoten består av två tal som båda kan vara svåra att beräkna eller uppskatta. ”Insatt stååskrot” som är talet i täljaren går tämligen väl att få ett statistiskt grepp om och framför allt finns rätt bra data för i varje fall för vissa skrottyper. Totalsiffror vad som levereras till och sätts in i verk är ju också känt. ”Mängden uttjänt stål” som står i nämnaren är emellertid svårtolkat och svårberäknat. Till exempel kan stål som tjänat ut i en applikation användas i en ny men oftast helt okvalificerad användning. En annan svårighet är att det i praktiken inte finns någon statistik eller andra sifferuppgifter att utgå från. Vad man oftast gör är att man för varje användarsegment uppskattar medellivslängden och går tillbaka motsvarande tid och använder produktionssiffran, eller mer rätt konsumtionssiffran, det året som mått på teoretiskt uttjänt material. Man får härigenom för de flesta segment endast mycket grova uppskattningar.

## Återvinningsgradens utveckling

Det finns ett antal internationella forskningsstudier där man försökt uppskatta stålåtervinningsgraden. Man hamnar oftast på nivåer kring 60 % till 70 %. Vissa forskare hävdar att de är högre. Siffrorna är emellertid i högsta grad osäkra pga. att statistiken är brisfällig och på att det är svårt att uppskatta medellivslängden för stålet. För enskilda produktslag t ex bilar har man dock en bättre statistik. Stålåtervinningen för bilar i Sverige har ökat och är idag nära en fullständig återvinning. Generellt kan man säga att stål är ett material som i det närmaste fullständigt återvinns men återvinningstiderna för vissa produktslag kan vara långa och svåra att fastställa. Samtidigt måste konstateras att återvinningsgraden påverkas av en rad faktorer som stålprodukternas utformning och konstruktion, effektiviteten hos återvinningsindustrin och dess processer samt samhällets styrning genom lagar och regler.

# Den svenska återvinningsindustrin

## Från skrot- och avfalls- till återvinningsindustri

Den svenska återvinningsindustrin har de senaste åren omformats och förändrats. Som en symbol för denna förändring står den successiva namnändring som branschen genomgått. Man undviker numer namnet skrotindustri eller skrothandel medan den korrekta benämningen idag är återvinningsindustri respektive återvinningsbransch. Det nya namnet är inte enbart semantiskt mer positivt värdeladdat utan ger också rättvisa åt den starka förändring som branschen genomgått. Dagens återvinningsindustri täcker således in både den gamla skrothandeln och avfallshanteringen. Branschen som på stålsidan omsätter mer än en miljard kronor årligen har idag ett bredare och djupare engagement inom samhälle och industri. Inte minst har samhällets ökade intresse för miljömässigt långsiktigt hållbara lösningar bidragit till att omvandla en relativt smal skrotindustri till en bred återvinningsindustri. Omvandlingstrycket har inte enbart kommit från miljökrav utan fastmer från de ekonomiska förutsättningarna. Frisläppande av exporten samt det ovan diskuterade förhållandet att skrotets värde i fast penningvärde haft en successivt sjunkande trend har lett till att branschen varit tvungen att sänka sina förädlingskostnader. Som i övrig industri har detta åstadkommit genom att utnyttja ny effektivare teknik och skapa skalfördelar med större anläggningar. Bortrationalisering av stora delar av floran av små företag som var så påtaglig i forna skrothandeln har varit nödvändig för kostnadseffektiviseringen.

I dag finns inom branschen många skrotleverantörer varav ett bolag har en dominerande ställning. Man kan vänta sig en ytterligare strukturell utveckling mot större företag.

## Återvinningsindustrins huvuduppgifter vad gäller stålskrot

Återvinningsindustrin köper skrot, egentligen uttjänta stålprodukter, från ett brett leveransnät och säljer efter förädling skrot, egentligen prima råvara, till ett fåtal stålverk och gjuterier. Man kan identifiera ett antal huvuduppgifter för återvinningsindustrins insatser på stålsidan:

- Insamla och upphandla stålskrot
- Förädla skrotet genom sortering och bearbetning
- Klassificera och kvalitetssäkra skrotet
- Leverera skrotet som stålråvara till stålindustrin

## Utvecklingstrender

Den tekniska utvecklingen av förädlingen av skrotet kommer att fortsätta. Investeringar i detta kräver resurser som i sin tur innebär en ökad koncentration mot ett fåtal större aktörer. Även om transportavstånden historiskt har gjort branschen lokal kan man nog i framtiden förvänta sig en internationalisering av ägandet så att aktörerna kan utnyttja ännu större skalfördelar.

Statens miljöambitioner vad gäller ökad återvinning och minskad deponi har inte någon stor inverkan på stålåtervinningen eftersom den redan tidigare varit väl utvecklad. Indirekt påverkas dock stålåtervinningen positivt av att andra branscher ökar sin återvinning. Ett exempel på detta är effekten av att byggindustrin åtagit sig att återvinna mer av sin materialförbrukning. När t ex betong skall återvinnas kommer armeringjärn som tidigare gick förlorade att återvinnas.

## Det fysiska flödet

Det rent fysiska flödet av skrotet visas i fig.3 nedan.

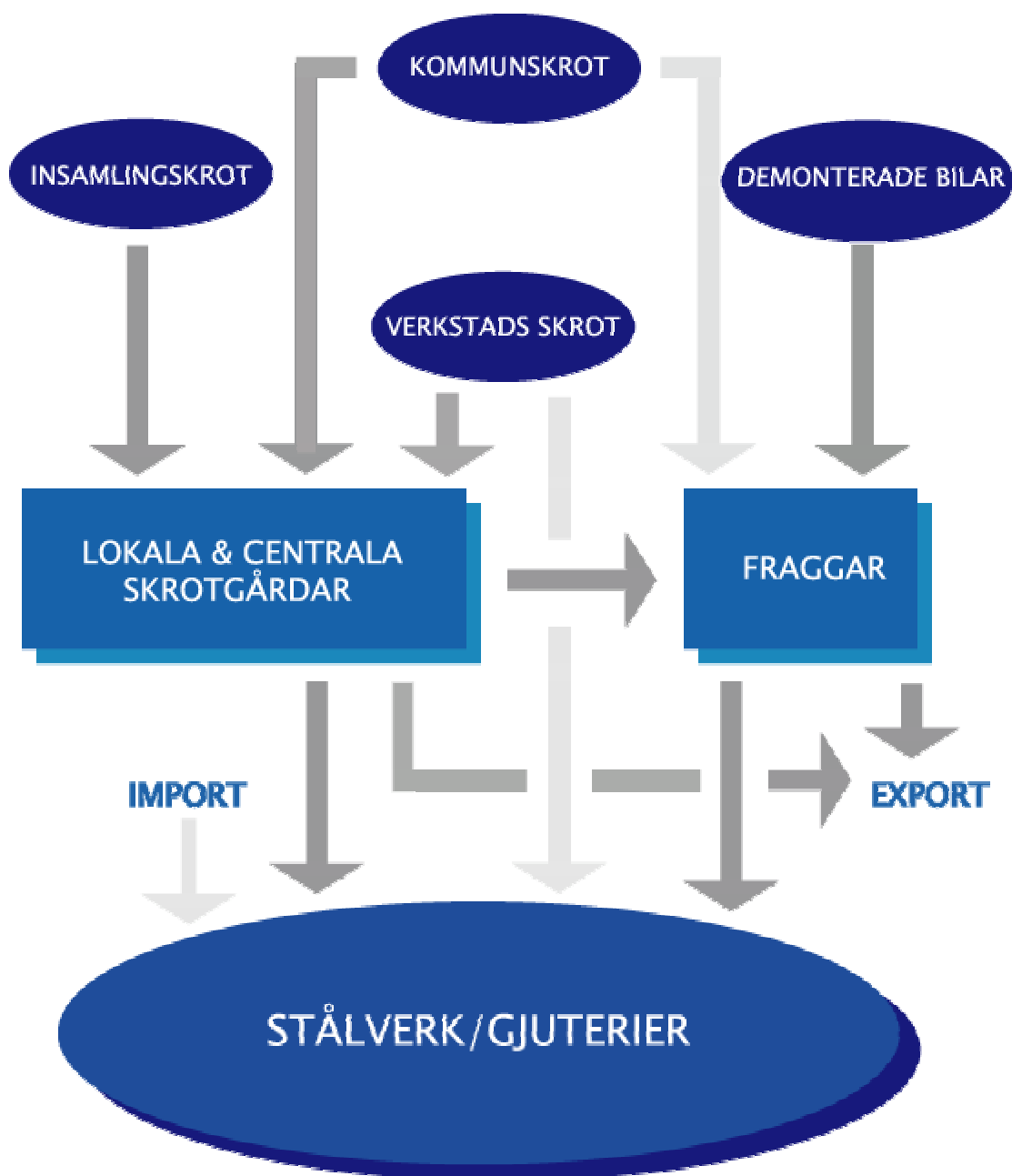


Fig.3 Det fysiska flödet av skrot

Det inkommande fysiska flödet kan delas in i verkstadsskrot som kommer från verkstadsindustrin, kommunskrot som i huvudsak är vitvaror och liknande från kommunala tippar, demonterade bilar som kommer från lokala bildemonteringsfirmor (bilskrotar) samt vanligt insamlingsskrot som exempelvis kommer från lantbruket, rivningar eller annat.

Verkstadsskrotet går i jämförelse med insamlingsskrotet tillbaka till stålverken i princip omgående medan insamlingsskrotet har cirkulationstider på årtionden. Verkstadsskrotet är i regel mer väldefinierat framför allt när det gäller den kemiska sammansättningen än insamlingsskrot. Det har oftast en regelbundenhet och faller i större poster. Därför går huvuddelen direkt till de stora återvinningsföretagens centrala anläggningar medan endast en mindre del går till de lokala skrotgårdarna. Dessutom går ett fysiskt flöde direkt till stålverken som dock handhas och kvalitetssäkras av återvinningsindustrin. Man kan ur ren teknisk och kommersiell synpunkt tänka sig att ett större flöde skulle gå direkt till stålverken från verkstäderna. Verkligheten visar dock att såväl leverantörer som avnämare upplever det mer rationellt att utnyttja de stora återvinningsindustriernas resurser för att avlasta den egna administrationen. En separat organisation behöver härigenom inte byggas upp för att kvalitetssäkra en del av flödet. För framtiden bedöms ingen förändring eftersom trenden att koncentrera sig på sin kärnaffär kommer snarare att stärkas hos såväl stålverk som stålavnämare.

Insamlingsskrotet går till de lokala och centrala skrotgårdarna för upparbetning innan det går till stålverken. Endast en liten andel exporterar.

Kommunskrotet går i stor utsträckning till fragmentering. Demonterade bilar går uteslutande till fragmentering. Till fraggarna kommer även material som insamlats till skrotgårdarna. Från fraggarna går ett flöde till stålverken men även en viss export sker av fraggat material.

# Klassning, leveranser och handel

## Leverans- och klassningsbestämmelser - "Skrotboken"

Leveranser och klassningar i Sverige följer bestämmelser som finns redovisade i den s.k. "Skrotboken 2000." Siffran 2000 står för att den senaste utgåvan fastslogs år 2000. Det finns även en separat skrotbok för rostfritt stålskrot som senast gavs ut 1995. Dessa regelverk har utarbetats gemensamt av de ledande företagen inom återvinningsindustrin respektive stålindustrin och de tillämpas av de flesta inom branschen. Skrotboken har en lång tradition och uppdateras regelbundet, förra utgåvan för kolstål var från 1985. Stålverken åtar sig att använda skrotbokens riktlinjer för dess tekniska inköpsspecifikationer medan återvinningsindustrierna åtar sig att följa riktlinjerna i deras interna tillverkningsföreskrifter. Skrotboken fastslår att det är återvinningsbranschens uppgift att till stålverken och andra förbrukare av skrot leverera en för insättning i ugnarna färdigbearbetad och kontrollerad råvara. Rensning, bearbetning och sortering av skrotet skall således ske på leverantörens lagerplatser eller genom dennes försorg. Skrotet skall dessutom vara vad man kallar chargerbart, d.v.s. kunna sättas in i ugnarna utan vidare bearbetning. Skrotleveranserna skall vara fria från explosionsfarliga föremål, hälso- och miljöfarliga kemiska produkter, radioaktiva ämnen och föroreningar.

Skrotboken för kolstål är uppdelad i två avsnitt där det första behandlar bestämmelser rörande leveranserna och det andra själva klassificeringen. Leveransbestämmelserna är uppdelade i 10 kapitel:

1. Leveranskontrakt
2. Regler för lastning
3. Analysgränser
4. Föroreningar i skrot
5. Explosionsfarligt skrot, hälso- och miljöfarliga kemiska produkter samt radioaktivitet
6. Avisering
7. Fastställande av skrotklass och vikt
8. Avvikelse från aviserad skrotklass
9. Fel i leverans
10. Tvist vid fel i leverans

Klassificeringsbestämmelserna är indelade i tre grupper:

1. Klassificering av stålskrot
2. Klassificering av gjutjärnsstål
3. Särskilda bestämmelser

Det finns 24 olika klasser. För varje klass finns en siffra och en beskrivning av kvalitén.

Här visas rubrikerna:

Klass 11	Prima styckeskrot
Klass 100	Prima nytt verkstadsskrot
Klass 101	Prima styckeskrot (internationell OA )
Klass 142	Prima järnvägsskrot
Klass 117	Fragmenterat skrot
Klass 12	Sekunda styckeskrot
Klass 21	Spånskrot (Blyhalt 0,01 % )
Klass 22	Spånskrot ( Blyhalt 0,10 % )
Klass 641	Automatstålskrot
Klass 31	Prima löst tunnplåtskrot
Klass 32	Prima pressat tunnplåtsskrot
Klass 320	Prima pressat enhetligt tunnplåtskrot
Klass 322	Prima pressat enhetligt tunnplåtskrot( zinkbelagt material )
Klass 36A	Nytt löst tunnplåtskrot
Klass 36B	Löst tunnplåtskrot
Klass 37	Pressat tunnplåtskrot
Klass 37T	Fragmenterade konservburkar
Klass 37M	Fragmenterade målarfärgsburkar
Klass 38	Pressklippt tunnplåtskrot
Klass 39	Ny fallande bleckplåt
Klass 612	Manganlegerat styckeskrot
Klass 622	Kopparlegerat styckeskrot
Klass 633	Kisellegerat tunnplåtskrot
Klass 634	Kisellegerat pressat tunnplåtskrot

Klassificeringen innehåller även en beskrivning av skrotet, uppgifter om tjocklek, volymvikt, format samt dessutom oftast påpekande om vad som inte ingår, övriga förklaringar och en listning av motsvarande skrotklass på några av närmarknader.

Det rostfria skrotet indelas i tre skrotfamiljer

- Kromskrot (Cr)
- Krom-nickelskrot (Cr-Ni)
- Krom-nickel-molybdenskrot (Cr-Ni-Mo)



Varje skrotfamilj delas sedan upp i en eller två klasser och dessutom sorter beroende på om det är chargerbart styckeskrot (-1) eller spånskrot (-2)

skrotfamilj	Kvalitets klass	skrotsort	
		Chargerbart styckeskrot	spånskrot
Cr-skrot	912	912-1	912-2
Cr-Ni skrot	951	951-1	951-2
Cr-Ni skrot	959	959-1	959-2
Cr-Ni-Mo skrot	962	962-1	962-2
Cr-NI-Mo skrot	969	969-1	969-2

## Exempel på beskrivning av skrotklasser

<b>Prima löst tunnplåtskrot</b>	
<b>Klass 31</b>	
Beskrivning:	Olegerat nytt löst tunnplåtskrot - omälat - fritt från rost.
Tjocklek:	Under 3 mm.
Volymvikt:	Minst 0,65 ton/m <sup>3</sup> .
Format:	Högst 2.000x750x750 mm.
Observera:	I denna klass ingår inte skrot överdraget med metall eller annan ytbeläggning.
	Starkt sammanhängande tunnplåtskrot får endast levereras efter uttrycklig överenskommelse.
Förklaringar:	Med tunnplåtskrot förstås även skrot från tråd och bandstål.
	Med "fritt från rost" förstås att skrotet endast får vara angripet av lätt ytrost.
Övrigt:	Närmast motsvarande skrotklass på några av våra närmarknader:
	Danmark -
	England No 8A
	EU-standard E 2
	Tyskland -



<b>Fragmenterat skrot</b>	
<b>Klass 117</b>	
Beskrivning:	Fragmenterat skrot från bilar, vitvaror m m
Tjocklek:	—
Volymvikt:	Minst 0,8 ton/m <sup>3</sup> .
Analys:	Koppar (Cu) max 0,25% Tenn (Sn) max 0,02%
Format:	—
Övrigt:	Närmast motsvarande skrotklass på några av våra närmarknader:
	Danmark Art 175/176
	England No 3B
	EU-standard E 40
	Tyskland Sorte 4



## Provtagning

Provtagning av skrot är naturligtvis ett viktigt led i kvalitetssäkringen. För vanligt kolstål bygger mycket av klassificeringen på erfarenhet. Utseendet och kännedom om källan räcker oftast för en säker klassificering. I osäkra fall tas prov ut för kemisk analys. Det finns även bärbara instrument så att man på plats i vissa fall kan göra övergripande bedömningar av skrotets legeringsinnehåll.

För rostfritt stål gäller andra förutsättningar. Halten av de s.k. värdeelementen Cr, Ni och Mo påverkar direkt priset för skrotet och måste därför fastställas med en viss noggrannhet. Eftersom skrotet inte är homogent krävs ett visst statistiskt underlag för en rättvisande analys. I princip tas en rad stickprov. Genom att skrot levereras i olika former som plåtklipp, band, stänger, gjutgods, spån m.m. måste provtagningen göras manuellt. Bitar plockas ut i uppskattat mängdförhållande till varje skrotform som ingår i

partiet. Vid behov måste bitar sågas eller kapas. Provvuttaget smälts upp i ugnar som kan vara upp till 5 ton i storlek. Smältan analyseras på de viktigaste ämnena.

## Affärsuppgörelser i praktiken

Affärer i kolstålsskrot görs normalt upp i s.k. ramavtal mellan leverantören från återvinningsbranschen och JBF (Järnbruksförnödenheter) som är ett gemensamt inköpsorgan för stålindustrin. Slutliga volymer bestäms genom stålverkens avrop medan priser regleras genom vanligtvis månatliga förhandlingar som följer vissa riktlinjer. Riktlinjerna baseras på idén att priset skall följa skrotpriset på kontinenten och i grannländerna. Leveransvillkor och skrotets klassificering följer branschpraxis som har dokumenterats i den s.k. skrotboken.

För rostfritt skrot görs affärerna upp direkt mellan leverantör och stålverk. Priserna följer legeringspriser som noteras på LME-börsen i London. Normalt betalas mellan 85-95% av krom- och nickelnehåll i skrotet jämfört med legeringarnas noteringar. Legeringspriserna undergår normalt stora svängningar. Vid låga priser tenderar rabatten att minska och vice versa.

## Prisbildningsmekanismen för skrot, trender

För skrot som för andra varor gäller att priset styrs av tillgång och efterfrågan. Eftersom alternativet för förbrukaren av skrot är att framställa stål från malm genom s.k. malmbaserad metallurgi påverkas skrotets värde i det längre perspektivet av kostnadsutvecklingen för malmbaserad metallurgi. Ett stål framställt från huvudsakligen skrot måste kostnadmässigt konkurrera med stål framställt från malm. Formeln för det långsiktiga skrotpriset blir således.

Skrotpris (till stålverk)=Malmpriset + Fkost(malm till stål) - Fkost(skrot till stål)

Där Fkost betyder förädlingskostnad för respektive framställningsväg.

Skrotpriset till verk bestäms således av de tre komponenterna i formeln ovan. Alla tre kostnadskomponenterna uppvisar i stort ett oförändrat pris vilket i fast penningvärde innebär en sänkning de senaste årtiondena. Sänkningarna i fast värde beror på i huvudsak tekniska framsteg och strukturella rationaliseringar. Dessa sänkningar slår igenom på skrotpriset under samma tid, se fig.4. Uppgången under år 1993 är mer att se som en justering pga. exportens frisläppande.

## Prisutveckling av svenskt stålskrot, klass 11

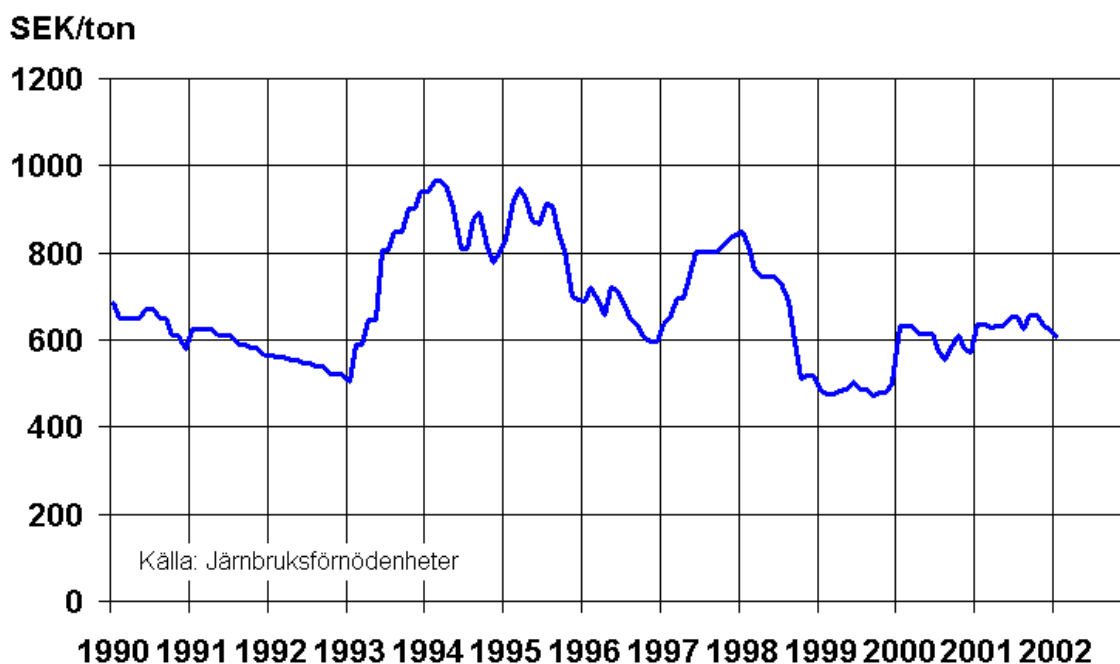


Fig.4 Skrotprisets utveckling i löpande penningvärde i Sverige.

Eftersom den långsiktiga totalkostnaden förmodas vara lika oberoende av processväg kan konstateras att om förädlingsvärdet från skrot till stål minskar i procent lika mycket som förädlingsvärdet från malm till stål kommer skrotpriset att minska även vid ett oförändrat malmpris. Detta beror på att förädlingskostnaden för skrotbaserad tillverkning är totalt lägre än för motsvarande för malmbaserad tillverkning. Ett därtill minskat malmpris skulle också leda till ett lägre långsiktigt skrotpris. Man kan uppskatta att vid en sänkning av förädlingskostnaden för malmbaserat stål med 10 % sjunker skrotpriset med ca 5 %.

När skrotet når stålverket är det att betrakta som en förädlad produkt som genomgått minst ett handelsled och minst ett förädlingssteg. Insamlat skrot har i regel genomgått flera behandlingssteg och transporter. I varje led bakåt minskar naturligtvis priset för det fallande skrotet. Trots en effektivisering och rationalisering (större anläggningar) hos återvinningsindustrin under de senare åren blir skrotets värde i första led en bråkdel av slutvärdet. Värdet bestäms också av vilka volymer som hanteras i varje led. I takt med stålverkets skrotpris sjunker i fast penningvärde kommer därför vissa skrotobjekt inte ens att ha ett positivt värde för ursprunglig leverantör. Detta har naturligtvis på sikt ett negativt inflytande på insamlings- och återvinningsgrad.

Det som sagts om priser ovan gäller för handelsstål (kolstål). För rostfritt gäller en annan prisbildningsmekanism. Värdet i rostfritt skrot ligger naturligtvis huvudsakligen i legeringsinnehållet. De legeringsämnen som räknas generellt är Cr, Ni och Mo. Alternativet för stålverken är att köpa vanligt kolstålsskrot och tillsätta legeringar. När man räknar ut skrotpriset för rostfritt utgår man från dagsnotering av legeringsämnena

och multipliceras med en faktor som ligger en bit under 1,00, vanligtvis kring 0,90. Man får således en viss rabatt på legeringsämnen när man köper dem i form av skrot.

## Historiska handelsregler för skrot

Från år 1927 fram till år 1993 fanns i Sverige ett totalförbud för export av skrot. För vissa produkter, t ex spån, kunde dock exportlicenser medges. Man ville med förbudet skydda svensk stålindustri och skapa en stabilitet på skrotmarknaden. Efter avregleringen har en viss nettoexport uppstått utan att marknads funktion nämnvärt påverkats. En viss prisjustering inträffade vilket framgår av fig. 4

Som handelsregel kan också nämnas det speciella polisiära kravet på att vid all skrothandel skulle en särskild förteckning med uppgifter om säljarens namn och adress dokumenteras för att begränsa häleriverksamhet. Denna regel är numera borttagen.

## Skrottillgången i Sverige

I Sverige faller (uppstår) ca 1 200 000 ton kolstålsskrot exklusive det interna skrotet och 30 000 ton rostfritt (exklusive internt skrotfall) per år. De senaste åren har dessa siffror varit tämligen stabila utan några större förändringar.

## Export-import

Sverige är normalt en nettoexportör av kolstålsskrot. På export går i huvudsak fragg-skrot. Exportvolymerna ligger på 350 000 till 600 000 ton per år medan 200 000-350 000 ton importeras. För rostfritt skrot råder ett importöverskott på ca 150 000-200 000 ton per år, se fig.5

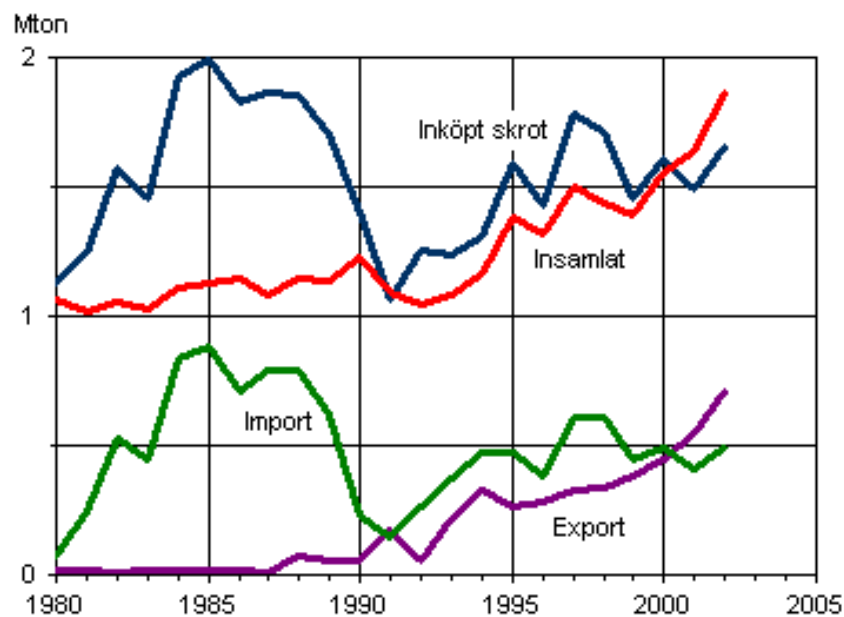


Fig. 5 Den svenska stålskrotbalansen

## Skrotbalansen sett i världsperspektiv, trender

Eftersom det sker en internationell handel med skrot bör skrotbalansen ses i ett globalt perspektiv. Under årens lopp har flera analyser av skrotbalansen gjorts. Vid flera tillfällen har man kommit fram till att en akut större skrotbristsituation har stått inför dörren. Någon större skrotbrist har dock aldrig inträffat vilket torde bero på att det finns s.k. elasticiteter i systemet. Ett marginellt ökat skrotpris trycker fram mer skrot ur marknaden samtidigt som efterfrågan justeras ned genom att skrot kan substitueras på marginalen genom andra järnbärare som DRI (järnsvamp) eller genom att mindre andel kylskrot användes vid malmbaserad tillverkning.

# Kvalitetsaspekter på skrot

## Inledning

Det finns flera kvalitetsaspekter på skrot. Man kan systematisera dem enligt fig. 6 nedan.

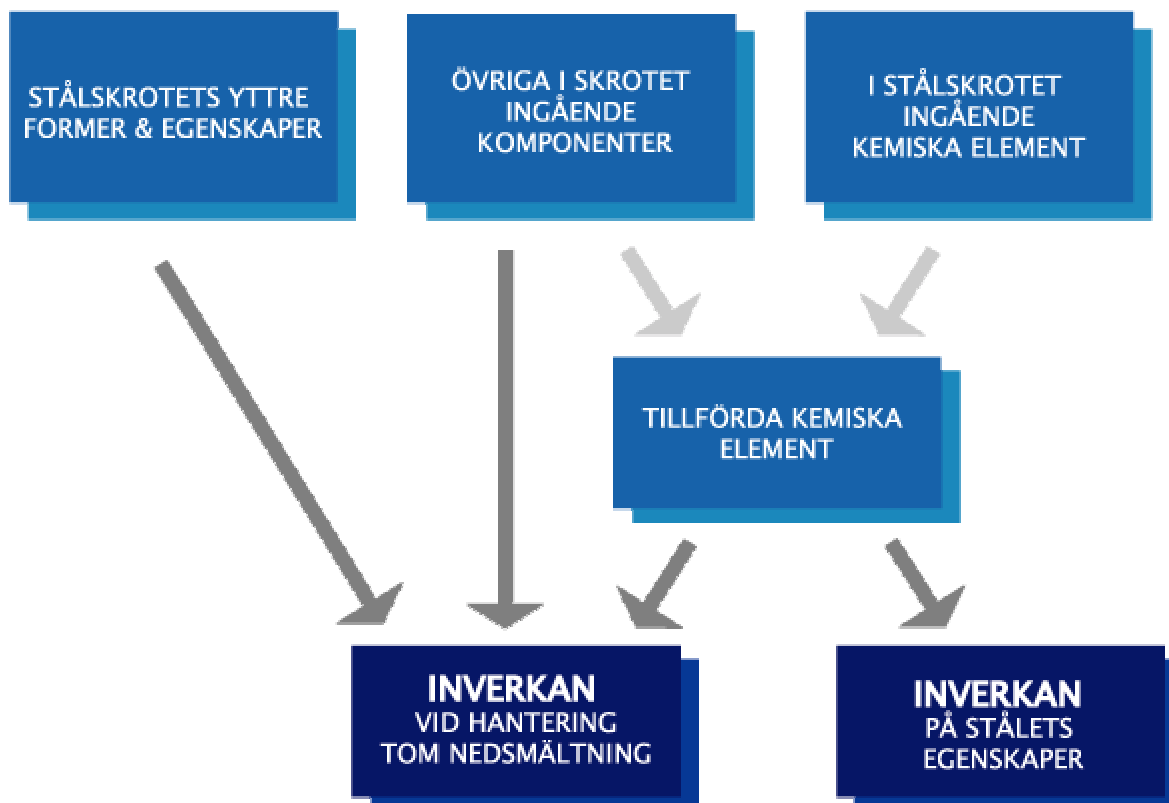


Fig. 6 Systematisering av kvalitetsaspekter på skrot.

Kvalitetsaspekter som kommer från skrotets yttre form och ingående komponenter kan skiljas från kvalitetsaspekter som påverkas av ingående kemiska element. När det gäller de ingående kemiska elementen kan man i sin tur skilja på kvalitetsfrågor som berör hanteringen fram till och med nedsmältningen och frågor som rör inverkan på stålets egenskaper.

Kvalitetsaspekter kopplade till skrotets yttre form och komponenter kan delas in i:

- Hälsa- och miljöfarliga produkter
- Explosionsfarligt gods och slutna kärl
- Radioaktivitet
- Hanterbarhet



Kemiska elementens inverkan fram t.o.m. nedsmältning kan delas in i:

- Yttre och inre miljö
- Hälsoeffekter

Kemiska elementens inverkan på stålets egenskaper kan delas in i:

- Raffinering av flytande stålet
- Varm- och kallbearbetning i det egna verket
- Egenskaper hos stålet vid verkstadsarbete (manufaktur)
- Hållfasthet och andra egenskaper i slutapplikation
- Påverkan på kommande återvinning.

## Hälsa- och miljöfarliga produkter

Asbest, PCB och material med cancerogena och liknande effekter är helt förbjudna p.g.a. de risker som personal som kommer i kontakt med skrotet utsätts för. Skrot som innehållit eller på annat sätt förorenats med gifter eller vådliga ämnen får ej levereras. Exempel på detta är plåtfat och andra emballage i vilka giftiga ämnen förvarats.

## Explosionsfarligt gods och slutna kärl

Explosionsfarliga ammunitions pjäser och explosiva ämnen är naturligtvis helt förbjudna. Mer om detta framgår av ASF, Arbetsmarknadens skyddsföreskrifter. P.g.a. explosionsrisk är det dessutom mycket viktigt att kärl eller behållare som är mer eller mindre slutna inte kommer med skrotet. Vid den snabba upphettning som kan ske vid skrotets smältning kan explosioner uppstå om den expanderande luften inte ges fritt utflöde. Än värre blir explosioner där vätska, i regel vatten, stängs in och upphetas till höga temperaturer. Även snö och is kan orsaka kraftiga smällar som kan leda till allvarliga skadeeffekter. Allt skrot som innehåller håligheter som rör, gasflaskor och under vissa förutsättningar buntskrot skall anses och behandlas som risk.

## Radioaktivitet

Den tekniska utvecklingen i samhället och den ökade handeln med skrot har gjort att risken för radioaktivt kontaminerat skrot har ökat de sista årtiondena. Återvinningsindustrierna och stålindustrin har mött detta med en utbyggnad av kontroller av radioaktivitet för i praktiken allt skrot samt informations- och utbildningsinsatser.

I princip kan radioaktivitet komma in i stålverken på tre sätt:

1. Genom att en radioaktiv strålkälla kommer in i systemet. Sådana strålkällor skall vara under kontroll men verkligheten visar att p.g.a. misstag och slarv kan dylika strålkällor vara på drift. Detta gäller såväl nationella som internationella källor.
2. Genom okontrollerat radioaktivt kontaminerat material som inte upptäcks.
3. Genom material med mycket låg halt radioaktivitet, som har friklassats i enlighet med gällande regelverk.

Alla tre varianterna är oönskade och alla tre varianterna kan förhindras med adekvata strålningskontroller. Därför sker mätningar av allt inkommande skrotflöde hos de stora centrala skrotgårdarna samt även av allt inkommande hos stålverken.

Tekniskt sker kontrollen med gamma-instrument som kan analysera hela lasten hos en lastbil eller hos en järnvägsvagn. Mätningarna är mycket känsliga och mäter t.o.m. under nivåerna hos bakgrundsstrålningen som alltså måste skärmas av. En ytterligare förfining av mätsystemet som är under införande är att sätta detektorn i lastkranens gripklor. Härigenom förbättras säkerheten genom att risken att en strålkälla skymms av annat material minskas betydligt. Stålverken kontrollmäter även radioaktiviteten hos utgående stoft, slagg och stålprodukter.

Stålverkens och handelns stränga syn på radioaktiviteten beror på att den är en fara för personalen men också på att man har ett absolut eget krav att inte ha någon förhöjd radioaktivitet i material till kund.

I fall 1 ovan där en strålningskälla kommer in i flödet ligger oftast problematiken i att strålningskällan i sin ursprungliga funktion har haft en medveten strålningsavgränsning (kapsling). Källan kan också avskärmas av annat tjockt skrotmaterial vid mättillfället. Detta gör att man måste mäta mycket låga nivåer för att ha största möjlighet att inte missa en presumtiv källa. Säkerheten ökas också av att man mäter vid flera tillfällen i flödet. Fall 2 med radioaktivt kontaminerat material upptäcker nuvarande mätsystem med relativt stor säkerhet. När det gäller fall 3 med friklassat material är stålverkens position att inget material från kärnteknisk- eller uppberedningsanläggning får levereras utan särskild överenskommelse med köparen.

## Hanterbarhet

För stålverken är det viktigt att skrotet kan sättas in i ugnen utan problem. Man talar om att skrotet skall vara chargerbart. Skrotbokens leveransbestämmelser anger maxstorlekar och maxvikter för skrotstyckena. Band och trådformigt skrot bör vara nedklippt eller väl buntat och skrymmande skrot måste vara hoppresat. Materialet får heller inte vara spärrigt dvs. de enskilda styckena får inte ha sådana former att de krokar i varann och stör den praktiska hanteringen vid lastning och charging.

## Kemiska elementens (föroreningarnas) inverkan tom. nedsmältning

För stålskrot anges i olegerade och rostfria Skrotbokens leverans- och klassningsbestämmelser övre gränser för olika elements tillåtna halter. Normalt är det inte särskilt svårt att hålla skrotet inom dessa gränser. De problem som kan uppstå är att man i skrotet genom brister i sorteringen får in låglegerade, legerade stål eller andra metaller som kan göra att man hamnar utanför gränserna.

Vid hantering och nedsmältning av skrot uppstår emissioner i form av partiklar via stoft. En rad metaller kan i vissa fall vara negativa för såväl den yttre som den inre miljön. Hit hör: arsenik, kadmium, kobolt, krom, kvicksilver, mangan, molybden, nickel, bly, vanadin och zink. Mest negativt betraktas kvicksilver (Hg) och kadmium (Cd).

Kvicksilver och kadmium är i princip förbjudna att användas i Sverige i dag men i skrotflödet kommer de att finnas kvar inom överskådlig tid. I Sverige förbjöds 1993 tillverkning och försäljning av tekniska produkter som innehöll kvicksilver. Kvicksilver förekommer i teknisk utrustning som nivåvakter, termostater, tryckvakter, elektriska brytare, flödesmätare och termometrar. I och med det nyligen införda kravet på förbehandling av elprodukter förväntas dessa kvicksilverkällor att avlägsnas innan leverans till stålverken. Källorna till flödet av kvicksilver in till stålverken förutom ovan nämnda källor är inte helt utredda men en del kan komma med färgrester som innehåller kvicksilver, annat kan komma från kvicksilverkontaminerat stål- och gjutgodsmaterial. Källor för kadmium tros vara vissa ytbehandlingar som förekommer på bilar, galvaniserad plåt, oljebemängt skrot och färgrester.

Bly kommer från blymönjefärg och detaljer av bly, framförallt i sekunda gjutskrot ex.vis som tätning i rörskarvar. Bly förångas vid nedsmältningen. När det går upp i filtret fälls det ut där och kan hanteras. Blyånga måste hindras att komma ut i lokalen eftersom den är giftig vid inandning.

Zink klarar man att hantera eftersom zink förångas vid nedsmältningen och fälls ut i filtret som oxid. Denna zinkoxid bearbetas i speciella metallurgiska processer och återanvänds.

Arsenik, kobolt, molybden och nickel hamnar alla i stålet medan krom, mangan och vanadin hamnar i slagg och stål. Dessa ämnen innebär således inga problem såvida de inte dammar av som stoft vid hanteringen innan nedsmältningen. I praktiken sker detta i väldigt liten utsträckning och utgör inget problem.

Problemen med färgrester har reducerats betydligt i och med att stora delar av färgat skrot går genom fraggen där mycket av färgen helt enkelt slås bort. Förutom kvicksilver och kadmiumfärger finns färger med titan, koppar, bly, krom, tenn och zink. I referens 3 redovisas en sammanställning på färger som innehåller metaller.

## Kemiska elements (föroreningars) inverka på stålets egenskaper

Element som hamnar i stålsmältan dvs inte ryker av och hamnar i filtret eller oxideras till slaggen är: arsenik, antimon, fosfor, svavel, kobolt, koppar, molybden, nickel, wolfram, tenn och till viss del krom. I vissa fall kan även zink och bly förekomma trots att de är flyktiga och normalt försvinner vid nedsmältning.

Typiska element som man idag för vissa stålsorter kan ha problem med är koppar, tenn, krom, nickel och molybden. De tre sistnämnda elementen kommer i regel från att rostfritt eller annat legerat material har kommit in i skrotleveransen. Tenn kommer från målarfärg eller konservburkar medan koppar kommer från dålig utsortering av kopparmetall. Oftast klarar man smältor med för höga halter genom utspädning eller omklassning. Stålen har i regel hårda krav på svavel och fosfor men dessa ämnen kan reduceras i stålprocessen.

Ett klassiskt problem för kvalitetsfrågan hos stål är föroreningselementet koppar. För höga halter kan leda till svårigheter med bearbetningen. Vissa kunder har krav på max.

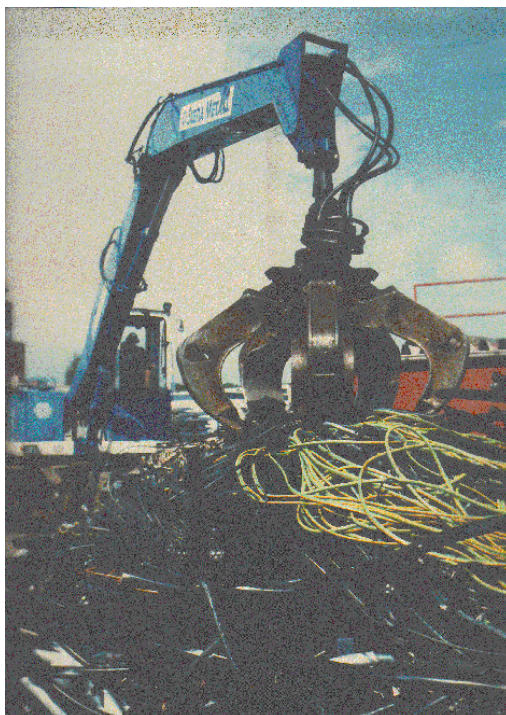
halter av koppar som kan vara svåra att nå för ett skrotbaserat verk. Koppar är svårt att helt skilja ut från stål från det komplexa skrotet. Det klassiska exempel på detta är bilskrot där flera kopparprodukter följde med stålskrotet. Dagens svenska fraggmateriel håller dock inga påtagligt höga kopparhalter vilket beror på att man är bra på att plocka ur kopparhaltiga delar ur bilarna före fraggningen. Vid omsmältning av skrot höjs kopparhalten beroende på hur mycket koppar som medföljer skrotet. Eftersom inget koppar försvinner beror slutlig kopparhalt på ingående kopparhalt löst i stålskrotet och ej bortrensad kopparmetall i tillsatta skrotpartiet. Historiskt har man varit orolig för en successiv höjning av kopparhalten i stål som cirkulerar flera gånger. Emellertid finns motverkande faktorer som leder till en utspädning av kopparhalten som när stål som tillverkats från malm med låga halter av koppar kommer in i kretsloppet. Den bättre utsortering av koppar ur skrotet hjälper också att lösa problemet. Normalt gränsvärde för koppar ligger på 0,40 % medan man för att klara kopparproblematiken i vissa fall har tvingats acceptera högre värden. För vissa stålprodukter som t ex svetstråd och några tunnplåtsapplikationer är kraven väsentligt hårdare varför dessa stål görs från malmbaserad produktion. För fullständighetens skull skall nämnas att i vissa stål är koppar ett legeringsämne för att förbättra korrosionsegenskaperna.

För de rostfria verken är gränserna i allmänhet något lägre. Typiska element man kan ha problem med är: tenn max 0,05 %, koppar max 0,5 %, fosfor max 0,025 % och i vissa fall max 0,015 %, vanadin max 0,10 %, wolfram max 0,10 % och molybden max 0,5 %. I regel klarar man gränserna med utspädning eller görs omklassningar av produkten. Vissa ämnen bl.a. tenn kan verka negativt på varmbearbetningen. Fosfor är ett problem eftersom skrotet kan hålla redan höga halter och små föroreningar från exempelvis gödningsmedel kan ge totalt för höga halter. Till skillnad från kolstålsverken kan man inte fosforrena i stålprocessen när man tillverkar rostfritt stål beroende på att de höga kromhalterna blockerar fosfors oxidation till slaggen.

# Den praktiska skrothanteringen hos återvinningsindustrin

## Flödet inom skrotgården

Till en större skrotgård kommer ett flöde av verkstadsskrot, insamlingskrot som t ex rivningsskrot eller uttjänta utrustningar och maskiner. Efter mottagning, kontroll och provtagning sker en grovsortering inför bearbetningen. Olika skrottyper kräver olika bearbetningsmetoder. Gemensamt mål för alla operationer är att erhålla ett kvalitetssäkrat material, indelat i skrotklasser och som är hanterbart.



Vid hantering på skrotgårdar är mobilkran med klo eller magnetplatta vanligt.

## Mottagning av skrotet

Man brukar säga att skrotets kvalitet påverkas redan vid den första upphandlingen av material från ursprunglig säljare. I vissa fall kan skrotet redan på detta stadium klassificeras och kvalitetssäkras. Om detta inte är fallet behöver upphandlaren göra en noggrann förhandsbedömning. Denna är till för att minska riskerna för dålig kvalitet eller negativ miljöpåverkan.

Exempel på frågelista i punktform visas nedan:

- Vad har materialet använts till
- Kan materialet ha utsatts för miljöskadliga ämnen
- Går legering eller förorening att fastställa via enkelt prov
- Finns slutna kärl eller annat explosivt
- Vad består eventuell ytbehandling av
- Finns det beläggning eller andra rester i materialet
- Kan dessa beläggningar vara farliga
- Kan materialet vara radioaktivt
- Föreligger risk för läckage eller damning
- Finns risk att något händer vid extrema förhållanden (ex.vis höga temperaturer)
- Är materialet oljigt
- Är materialet kontaminerat med snö och is

Vid mottagningen är det viktigt att allt material är överskådligt. Oftast behöver det spridas ut på marken. Materialet läggs då på en s.k. sorteringsplatta som är dränerad för att avskilja olja och andra föroreningar. Beslut som rör materialet tas i anslutning till mottagningen. Ifall osäkerhet råder skall säljaren ges tillfälle att delta i besiktningen.

Vid mottagningen skall också observeras om materialet kan vara av ursprung som behöver specialbehandlas. Hit hör ex.vis militärt material eller stöldgods. Allt militärt material även matburkar, byggmaterial etc. skall åtföljas av godkänt skrotningsintyg. För att minska häleririsen skall allt material dokumenteras med uppgifter om säljaren.

## Kvalitetskontroll, provtagning och analys

Den tekniska kvaliteten på upphandlat, inkommande material bedöms i form av en okulärbesiktning. I besiktningen bedöms framför allt mängden avvikande material. Detta kan vara papper, plast, trä, fett, olja, grus och sten, snö, is, målarfärg, andra metaller osv. Viktavdrag görs för ovidkommande material.

Vid de större skrotgårdarna sker en 100 %-ig kontroll av radioaktiviteten genom en mätning av allt ankommande och utgående gods. Alla utslag av radioaktivitet åtgärdas och följs upp i detalj. I avsnittet "Kvalitetsaspekter på skrot" diskuterat problemet med radioaktivitet mer sammanhållet.



Fast installation för kontroll av radioaktivitet hos inkommande gods.

För att underlätta materialidentifieringen används portabla spektrometrar. Dessa kan baseras på optisk emission (OES) eller röntgenfluorescens (XRF). Den vanligaste typen av portabla optiska spektrometrar (OES) har ljuskällan utformad som en "pistol" som innehåller motelektroden. Vid analys trycks pistolen mot provstycket och en båg- eller gnisturladdning utlöses mellan prov och elektrod. Ljuset från plasmat leds genom en fiberkabel till spektrometern som vanligen är en kompakt Paschen-Runge modell med en fokallängd av max. 500mm. Spektrometerns vikt brukar vara c:a 50 kg. I portabla spektrometrar baserade på röntgenfluorescens (XFR) används radioaktiva isotoper som strålkälla. Därigenom kan analysatorerna göras lätta och vikten är vanligen under 10 kg. En analysator består av två delar; mät huvud och elektronikenhet. Mät huvudet innehåller strålkälla och detektor. De vanligaste isotoperna är Fe-55 (halveringstid 2,7 år) och Cd-109 (halveringstid 1,3 år). Även Cm-244 och Am-241 används. Som detektor används oftast en gasfylld proportionalitetsdetektor. Med portabla spektrometrar är det möjligt att bestämma element från Al till U ( $Z=13-92$ ). Även om analysprestanda inte kan tävla med stationära spektrometrar kan goda analysresultat erhållas för många element.



Analys med portabelt instrument används i första hand på rostfritt.

## Demontering av utrustning och maskiner

I en ökande utsträckning får återvinningsindustrin ansvar för demontering och sanering av hela utrustningar och maskiner. Detta gäller i synnerhet elektriska maskiner eftersom lagstiftaren har infört krav på att skrotningen utförs av certifierade firmor. Skrotgårdspersonalen har en särskild kompetens för detta arbete vilket gör att negativa miljöeffekter elimineras och att mesta möjliga material återanvänds och i annat fall återvinns på rätt sätt. Viktiga uppgifter är t ex att plocka bort komponenter med kvicksilver. Även PCB-oljor och brominnehållande detaljer avskiljs för slutlig destruktion. Efter demontering och avskiljning körs det sanerade skrotet vidare i skrotgårdens normala flöde.

## Skärning och klippning

Sönderdelning av större komponenter krävs för att uppfylla stålverkens krav på hanterbara stycken. Hos stålverken brukar man tala om att materialet skall vara chargerbart vilket innebär att det skall gå att sätta in i ugn eller skrotkorg utan ytterligare bearbetning. Traditionellt har skrotgårdens främsta metod varit skärning med gas. Det förekommer även idag i stor utsträckning trots att den är personalintensiv. Ibland behöver man skära ned stora konstruktioner som inte passar in i saxen men framförallt används skärning på grovt komplext material. Med komplext material menas sådant som sammansätts av olika materialslag som t ex stål och kopparlegeringar. Med gasskärning kan man här för hand skära ut icke-järnkomponenter och på så vis få ett rent skrot. Detta är en arbetsintensiv fas och kräver stor kunskap och erfarenhet hos utföraren av arbetet.



Materialet delas in fastställda skrotklasser. Det är därför viktigt att kunna avgöra skillnaden mellan olika material. Man måste också ha erfarenhet för att veta var förorenande material kan finnas dolda och hur man praktiskt skiljer materialen åt. En stor del av skrotets kvalité och värde skapas just i detta moment av hanteringen. Ökade miljökrav vid skärning med öppen låga måste på sikt leda till nyare miljövänligare bearbetningsmetoder.



Vid rivningar och för att flytta runt på olika platser är det vanligt med papegoj-sax.

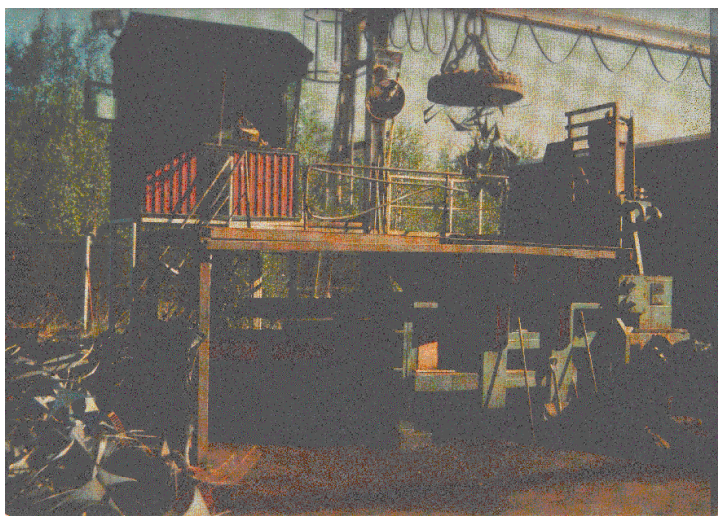
Den viktigaste sönderdelningsmetoden är i dag klippning i hydrauliska skrotsaxar. Saxarna är ofta försedda med en chargeringslåda i vilken förekommande spärrigt gods kan komprimeras. Det finns en rad olika saxtyper, de kan vara mobila eller stationära och finns i olika storlekar. Utvecklingen går mot att saxarna kan klippa allt större skrotobjekt och tjockare gods vilket ersätter tidigare gasskärning för hand.



Stationär skrotsax med tryck på upp till 1000 ton.

## Pressning till paket eller kutsar

Tunnplåtsskrot kan pressas i stora hydrauliska plåtpressar till paket som kan väga flera hundra kilo. Metoden kräver naturligtvis att materialet innan pressningen är rensorterat och förekommer därför i regel för verkstadsskrot. Operationen är något billigare än fragmentering.



Paketpress

Spånor kan pressas under högt tryck till briketter eller kutsar. Metoden innebär enklare hantering för stålverken och möjlighet till lagring. Opressade gjutspånor har så stor yta att materialet kan oxidera i luft (brinna långsamt) så att halten järn minskar vid transport och lagerhållning. Oxiderat material är också i sig negativt för själva nedsmältning-processen.

## Fragmentering



Bilderna visar inkommande skrot till fraggen.

De produkter som går till fragmentering är oftast sammansatta, d.v.s. komplexa. Ståldelarna utgörs i regel av tunnväggiga material s.k. tunnplåt som exempelvis bilplåt och dörrar och väggar i kylskåp. Ett viktigt skäl för fragmentering är naturligtvis att sönderdela ett skrymmande material till hanterliga stycken. Den verkliga fördelen med fragmentering som bearbetningsmetod ligger dock i att olika materialslag kan särskiljas. Därför är oftast materialet som fragmenteras s.k. komplext skrot d.v.s. det kommer från en kasserad produkt som består av flera material och komponenter.

Ca 750 000 ton tunnväggigt, komplext skrot faller varje år i Sverige. Det upparbetas nästan uteslutande i fragmenteringsanläggningar s.k. fraggar. En fragg utgörs av en hammarkvarn som med stor kraft och hög hastighet sönderdelar den uttjänta produkten till handflatsstora skrotbitar. Med en luftström lyfts plast, gummi, textil, skum, färgrester, m.m. bort från skrotet och avskiljs sedan i cykloner. Luften renas i en våtskrubber. Genom magnetisk separation och annan anrikningsteknik utvinns järnskrotet och andra metaller. För exempelvis bilar utvinns normalt ca 70 % järnskrot och 5% ickemagnetiska metaller. När bilarna kommer till fraggen har de rensats från däcken, rutorna och det mesta av kablage och elektronikkomponenter. I regel har de pressats till ett paket för att bli mer hanterliga. Blandningen av organiskt och oorganiskt material som utgör fragmenteringsavfallet efter att metaller separerats kallas för fluff. Det utgör ca 25 % av insatt material i fraggen vilket betyder att det uppstår ca 175 000 ton fluff per år i Sverige. För närvarande läggs detta som deponi. På sikt räknar man med att kunna utnyttja energiinnehållet som bränsle.

Fragmenteringsindustrin utvecklades först i USA för rationell återvinning av personbilar. I Sverige sattes den första hammarkvarnen upp i Halmstad i början på 70-talet. Till en början fragmenterades endast bilar. Vitvaror och andra komplexa

produkter lades på deponi. Under 80-talet började skrotgårdarna skicka sammansatt skrot till fragmentering och kommunerna vitvaror m.m.

I dag finns eller planeras ett tiotal fraggar i Sverige. I stora drag kommer råvaran till fraggarna med 1/3 från bilar, 1/3 från industriskrot och 1/3 från kommunskrot som i huvudsak utgörs av vitvaror.

Utvecklingen går mot att allt fler materialtyper kan behandlas i fraggen. Framför allt förväntas att tjockare material d.v.s. grövre gods kommer att kunna fraggas samtidigt som sorteringsmetoderna effektiviseras.



Bilden visar en modern fragganläggning där materialet kommer in från höger och går ut till vänster i bild.

# Praktiska hanteringen av skrotet hos stålverken

## Råvarulager och smältning av skrot

På samma sätt som återvinningsindustrins har ett utgående lager har stålverken ingående skrotlager, som kallas för stålverkets skrotgård. I praktiken är det stora bås innehållande material enligt de använda skrotklasserna. Stålverken försöker naturligtvis hålla nere nivån på lagret men de olika skrotklasserna behöver blandas vid insättning i ugnen och man behöver säkra upp en viss uthållighet. Därför blir skrotgårdarna fysiskt rätt stora anläggningar och skrotgården och dess skötsel blir en ekonomiskt viktig del av ett modernt skrotbaserat stålverk.

## Ingångskontroll

Allt inkommande skrot både på järnväg och bil kontrolleras med avseende på radioaktivitet med känsliga  $\gamma$ -strålningsinstrument. Det vanligaste är s.k. gammaportar, men man utvecklar nu även system där mätinstrumentet sitter i kranarm eller gripklo. Om en indikation uppstår tas kontakt med leverantören för återtagande av materialet alternativt att en noggrann kontroll görs på plats. När kontaminerat material avlägsnats skall alltid ny kontroll göras innan skrotet tas in på skrotgården. Det kontaminerade materialet skall hanteras enligt SSI:s (Statens Strålskydds Institut) regelverk.

Kontroller görs även med kemisk analys men eftersom volymerna på det olegerade skrotet är mycket stora och provtagningen svår måste man i första hand förlita sig på kunskap om skrotets ursprung och en okulär besiktning. För all kontroll är själva provtagningstekniken viktig och detta gäller särskilt för skrot, eftersom en stor del av materialet är inhomogent med avseende på t ex analys, storlek och form. För att få en fördjupad kunskap om skrotets kemiska sammansättning arbetar man med statistiska beräkningsmetoder såväl som med direkt provtagning av skrotet. Provtagningen för kemisk analys görs antingen genom att en mängd småbitar tas ut, som sammansätts till ett litet smältprov eller så kan man göra en ”storsmälta” på full chargestorlek.

På rostfritt och höglegerat skrot har de ingående värdeelementen (för rostfritt Cr, Ni och Mo) ett avgörande värde på skrotet varför provtagningen måste bli mera omfattande. På mindre partier (upp till 100-150 ton beroende på legeringsinnehållet) analyserar man direkt på ett stort antal skrotbitar med en portabel röntgenspektrometer (ställer stora krav på att mätytan är ren och slät) eller tar man ut en mängd småbitar, som smälts samman till ett homogent prov som analyseras på laboratoriet. För stora partier tar man ut ca 10 % provmaterial som behandlas för sig. Ur detta parti tar man ut material motsvarande ca 65 % av provchargevikten. Provmaterialet smälts tillsammans med olegerat skrot och legeringar vilka alla har kända analyser. Från analysen på det erhållna chargeprovet kan man sedan baklänges beräkna provmaterialets analys och därmed få ett underlag för både det kvalitetsmässiga innehållet som innehållet av värdemetaller.

## Smältning

I det närmaste alla moderna skrotbaserade verk använder en ljusbågsugn för att smälta ned skrotråvaran till smält stål. I fig.13 på sid. 47 visades schematiskt en ljusbågsugn och dess funktioner.

Genom kraftiga elektroder tillförs elektrisk energi. Kraftiga ljusbågar bildas mellan elektroder och skrot som värmer skrotet tills smältning inträder. Tillförseln av skrot sker genom att ugnslotet med elektroder lyfts upp och svängs åt sidan varefter en skrotkorg lastad med skrot svängs in över ugnen och tömmer sitt innehåll. Locket förs på och smältningen kan börja. Eftersom skrotet har lägre täthet än smältan upprepas proceduren med påsättning av nya skrotkorgar tills en smälta fyller ugnen. Genom att skrotkorgarna kan laddas separat innan påsättningen blir systemet med skrotkorgar mycket rationellt jämfört med att sätta skrotet direkt i ugnen.

## Optimering vid tillverkning av skrotbaserat stål

Den klart största kostnadsposten för ett skrotbaserat handelsstålverk är råvaran skrot som kostar i storleksordning mellan 650 kr och 950 kr per ton beroende på konjunkturläge och skrotmix. Observera att detta är stålverkets kostnad för skrotet och att ursprunglig skrotleverantör endast kan få ut en bråkdel av detta pris. I priset för skrot till stålverket från återvinningsindustrin ligger förutom inköpskostnader kostnader för transporter, in- och utlastning, bearbetning och kvalitetssäkring.

Näst största kostnad för stålverket, efter råvaran skrot, är energi som kostar 250-350 kr per ton. Med övriga kostnader på 200-300 kr per ton får man en kostnad för smält stål kring 1300-1500 kr per ton. En viktig faktor är således att få in billigast möjliga järnråvara. Vissa skrotpartier handlas till lägre priser p.g.a. de inte är optimala ur nedsmältningssynpunkt. Stålverken har därför utvecklat en kompetens för att hantera även mindre bra skrot. Till stor del handlar det om att komponera en lämplig skrotmix och hur de olika partierna fysiskt placeras i skrotkorgen. I vissa fall kan även stålverken investera i tilläggsutrustning för att kunna ta hand om mindre attraktiva skrottyper. En del verk har t ex installerat utrustning för kontinuerlig matning av spånor direkt in i ugnen.

Energiåtgång och produktivitet påverkas kraftigt av rätt skrotmix och körsätt och därför är kunskap om det ingående skrotets egenskaper mycket viktig. Dessutom skall hänsyn tas till det interna cirkulationsskrotet, som skall fasas in i flödet. För att minska antalet korginsättningar vill man ha kompakt skrot. För att smälta med hög effekt och därmed fort, vill man ha lättsmält skrot med viss volym, som skyddar väggarna. Det innebär att för att få optimal nedsmältning måste ”rätta” skrotsorter köpas och sedan placeras i insättningskorgarna på ett noggrant reglerat sätt. Utöver minskad energiförbrukning kan stålverket med bättre styrning vinna flera fördelar:

- Kortare behandlingstid i skänk
- Mindre legeringsbehov i skänkung
- Högre produktivitet
- Jämnare stålflöde
- Jämnare tapptemperatur

En bättre kunskap om skrotet kan alltså utnyttjas för att köra ljusbågsugnen mer optimalt. Sammanfattningsvis kan man säga att den ekonomiska optimeringen är komplicerad och i hög grad sammankopplad med den praktiska hanteringen. En väl utvecklad kompetens om skrotet och dess egenskaper är därför ett påtagligt konkurrensmedel för både skrothandeln och stålverken.

## Skrotets utvecklingspotential med avseende på optimal nedsmältning

Som diskuterats ovan betyder en bättre information om skrotets egenskaper att stålproduktionen kan ske effektivare. Denna ökning av informationen kan i princip åstadkommas med längre driven klassificering. En annan teknisk utveckling som diskuteras är en automatiserad, kontinuerlig analysering och karaktärisering av varje enskild skrotbit. Detta ligger troligen långt fram i tiden men skulle ge ett bra underlag för sortering och beskrivning av skrotråvaran som i sin tur skulle ge ett effektivt underlag för en bättre anpassad styrning av nedsmältningen.

# Miljön och återvinningen

## Samhällets miljömål och lagstiftning

Det råder i Sverige en stark konsensus när det gäller att prioritera miljöfrågorna. Med ett starkt stöd hos allmänheten har alla politiska partier i riksdagen höga ambitioner när det gäller miljömålen. Ett ledande begrepp är en ”hållbar utveckling” eller ett ”hållbart samhälle”. Hållbar utveckling betyder: "att utvecklingen tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov". Hållbar utveckling består av ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet.

Konkretiseras detta ytterligare ett steg med avseende på miljön innebär det bl.a. att energi och resurser ska användas på ett så effektivt sätt som möjligt. Detta kräver en helhetssyn där både tillverkning och användning av produkter måste beaktas och det har medfört att återvinning också har fått stort fokus de senaste åren.

Statens verktyg för styrning är i första hand lagstiftning, skatter och avgifter. På senare tid har även begreppet långsiktiga avtal, producentansvar och utsläppshandel blivit aktuella som kompletterande styrmedel. För kretsloppsfrågor är framförallt producentansvaret betydelsefullt

Även från EU kommer regleringar angående återvinning. Ett exempel är skrotbilsdirektivet som innehåller krav både på hur stor del av en bil som skall återvinnas och också på förekomst av vissa ämnen i bilar och bilskrot. Det senare finns också i direktiv om elektriska och elektroniska produkter.

Generellt kan konstateras att återvinningsbranschen är positiv till utformningen och ambitionen i den nya miljöbalken och man har inte haft några större problem att leva upp till dess intentioner. Detta beror på att återvinningsindustrin historiskt haft en insikt i och därvid också tagit ett miljöpolitiskt ansvar i miljöfrågorna.

## Livscykel tänkande

Miljöbelastningen för en produkt varierar naturligtvis mycket beroende på typ av produkt och användningsområde. Olika delar av livscykeln belastar också miljön olika mycket. För t ex en bil ger användningsfasen av livscykeln den stora miljöbelastningen medan en bro kanske påverkar miljön mer i tillverkningsskedet. För att kunna prioritera rätt när en ny produkt ska tas fram eller åtgärder sätts in för att minska miljöpåverkan från en produktgrupp är det viktigt att veta var i livscykeln som miljön påverkas mest. För att bedöma detta finns olika hjälpmedel där sunt förnuft och gissningar är de vanligaste.

Livscykelanalys (LCA) är en mer omfattande metod för att bedöma den potentiella miljöpåverkan som en produkt eller process kan medföra. LCA innebär att miljödata för alla steg samlas in och sammanställs. Alla miljöbedömningar är dock i slutänden



subjektiva vilket är viktigt att vara medveten om. Resthanteringen d.v.s. cirkulationen och återanvändningen är kanske inte alltid det viktigaste steget i livscykeln men återvinning av något slag innebär nästan alltid att den totala miljöpåverkan minskar eftersom det berör både resursåtgång och energianvändning.

## Konstruktion och återvinningsgrad

Ett viktigt mål för samhällets miljöarbete är att minska avfallet. Detta kan göras genom att de använda materialen i olika produkter väljs och utformas så att de kan återanvändas eller återvinnas. Man vill helst nå 100 % återvinningsgrad för varje produkt. Med återvinningsgrad för en produkt menas den andel i vikts- % som återvinns när produkten tjänat ut. Grunden för en hög återvinning läggs naturligtvis redan på konstruktionsstadiet. Ur en skrift ”vägledning för konstruktörer” kan vi hämta följande listning av viktiga punkter att beakta vid miljöanpassad konstruktion:

- Funktioner och lösningsprinciper
- Produktstruktur
- Moduler och komponenter
- Fästelement och fogar
- Materialval
- Metaller
- Andra material
- Ytbehandling
- Bedömning och verifiering

Under alla ovanstående punkter uppstår frågeställningar som påverkar återvinningsgraden såväl för stålet som för produkten. Några av de viktigaste är demonterbarheten, val av fästelement, ytbehandling och materialkombinationer. Demonterbarheten kan påverkas av en rad val vid konstruktionen som t ex uppdelning i moduler, minimalt antal detaljer och medvetet val av sammanfogningsmetoder. Val av fästelement styrs av många krav men återvinningsaspekten är inte oviktig för den totala ekonomin. T ex bör fästelement av samma material väljas, antalet fästpunkter bör minimeras och placeras där god åtkomlighet finns och är lätta att hitta. Ett olämpligt val av ytbehandling kan sänka kvalitén och värdet på det återvunna materialet. Det är av samma skäl viktigt att undvika metallkombinationer där stål blandas med för stålqualiteten negativa element som i synnerhet koppar och tenn.

Generellt har konstruktörens kunskap om återvinningsfrågor ökat de senaste åren och återvinning ingår ofta i målformuleringarna för arbete med mekanikkonstruktioner. Det är dock viktigt att även produktutvecklare och personal med ansvar för materialval känner ansvar för återvinningsfrågorna. I lönsamhetsberäkningar för nya produkter måste även återvinningskostnaden inräknas. Ett exempel på tveksam materialutveckling är nya kombinationsmaterial av stålplåt och plast.

## Trender inom området miljö-återvinning

När det gäller miljöproblematiken med uttjänta produkter som förorenar genom att de deponeras i naturen under olika former har praxis med återvinning nått mycket långt.

Man kan säga att denna fråga inom närmaste tiden kommer att anses som löst på ett acceptabelt sätt. Krav på en hög cirkulation och återvinning kommer att kvarstå p.g.a. hushållningsargumentet och framför allt p.g.a. energisparkravet. Energiförbehovet ökar i världen i takt med att allt fler höjer sin levnadsstandard och lämnar fattigdomen. Ökad energianvändning slår hårt mot det politiskt förankrade CO<sub>2</sub> problemet i synnerhet om de politiskt betingade förhoppningarna om möjlig s.k. förnybar energiproduktion inte uppfylls. Slutsatsen är att framförallt energi- och CO<sub>2</sub> frågan även i framtiden kommer att innebära ett starkt tryck på att öka cirkulation och återvinning.

# Appendix 1: Stålets grundbegrepp

## Inledning

Stål liksom de flesta metaller besitter egenheten att det kan återvinnas obegränsat antal gånger utan att dess positiva egenskaper går förlorade. Sålunda har metaller i alla tider cirkulerats i s.k. kretslopp och fungerande strukturer för återvinning har funnits långt innan dessa begrepp har blivit allmängods i det framväxande miljötänkandet.

Denna skrift behandlar inledningsvis stålets tillverkning och betydelse för att därefter beskriva kretsloppet både ur teoretisk och ur praktisk synpunkt.

## Metaller som bruksmaterial

Redan begreppen Bronsålder och Järnålder gör att man förstår vilken stor betydelse metaller har haft för samhällets funktioner. Järn har sedan 500-talet varit det dominerande materialet ur volymsynpunkt. Trots att järn och stål haft en så lång historia är det fortfarande det ledande materialet. I fig.7 visas produktionens värde av de största materialen på världsbasis.

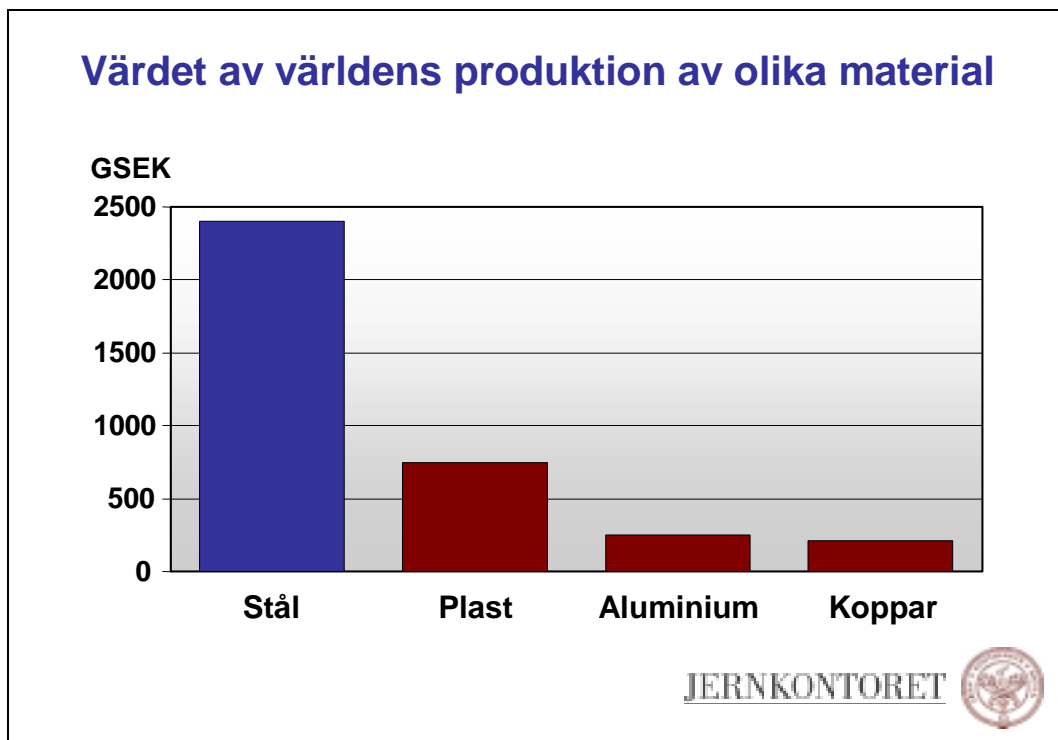


Fig. 7 Värdet av världens produktion av olika material.

Stålprodukter är väsentligt större än övriga metaller i produktionsvolym men även betydligt större än plastprodukter i värde. Stålets dominans beror på att materialet kan konkurrera som bruksmaterial med pris och prestanda på flera olika områden. Stål kräver dessutom relativt måttlig energi för framställningen och lämpar sig väl för återvinning. På senare år har även aluminium och titan blivit viktiga bruksmetaller även om de fortfarande i produktionsvolym och värde är små jämfört med järn och stål. Aluminium och titan har fördelen av att vara lätta material men framställningen är starkt energikrävande.

Stålets tillväxt tog fart under andra halvan av 1800-talet vilket visas i fig.8.



Fig.8 Världens stålproduktion sedan år1850, i miljoner ton per år.

Skälet bakom tillväxten var den "industriella revolutionen" som efterfrågade stål i järnvägar, byggnader och maskiner. De ökade leveranserna möjliggjordes genom en rad processtekniska innovationer som bessemerugnen, martinugnen och att stänkelet ersatte träkelet. Som framgår av fig.8 ökar fortfarande stålet i volym om än på nivåer på några enstaka procent. Med tanke på stålets storlek jämfört med andra material är ändå den årliga trendtillväxten räknat i såväl ton som värde imponerande. Tvärtemot en allmän uppfattning om stål som ett färdigt material är stål ett material som under senare år undergått och framledes kommer att undergå en påtaglig kvalitets- och prestandaförbättring. Stålets kostnad per hållfasthet jämfört med andra material visas i fig.9

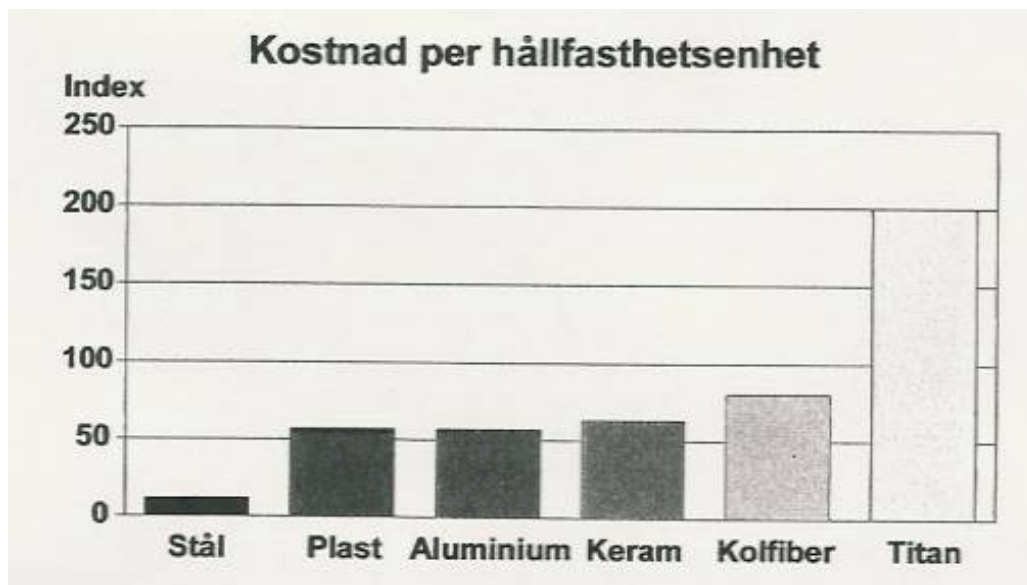


Fig. 9 Stålets kostnad per hållfasthet jämfört med andra material

Stålets konkurrenskraft bibehålls och stärks också av pågående teknisk utveckling som kommer att resultera i fortsatt ökad produktion per mantimme och fortsatt lägre energiförbrukning per ton. Till stålets konkurrenskraft kan även en effektiv skrotåtervinning räknas jämfört med andra material.

## Stålets definitioner och indelningar

Järn är ett grundämne som har den kemiska beteckningen Fe. Järnet erhåller med små inblandningar av andra ämnen s.k. legeringar olika egenskaper. Det viktigaste ämnet är kol som man dock inte räknar som legeringsämne. Kol gör järn hårdare men även sprödare. Stål brukar definieras som smidbart eller om man så vill bearbetbart järn. Om man inte legerar med andra ämnen är övre gränsen för smidbarhet en kolhalt i stålet på 1,7 %. Vid legering kan gränsen höjas till ca 2,0 %. Vid låga nivåer av kol blir stålet mjukt och duktilt medan hållfastheten ökas med höjda kolhalter och tillsatser av legeringsämnen. Att kunna ges olika egenskaper är ett av stålets stora fördelar och förklarar mycket av stålets dominans som bruksmaterial.

Järn finns också som gjutjärn som har kolhalter från ca 3,0 % till ca 4,5 %. Produkten är förhållandevis spröd och används i princip enbart i gjutet tillstånd. Dessa förhållanden visas schematiskt i fig.10.

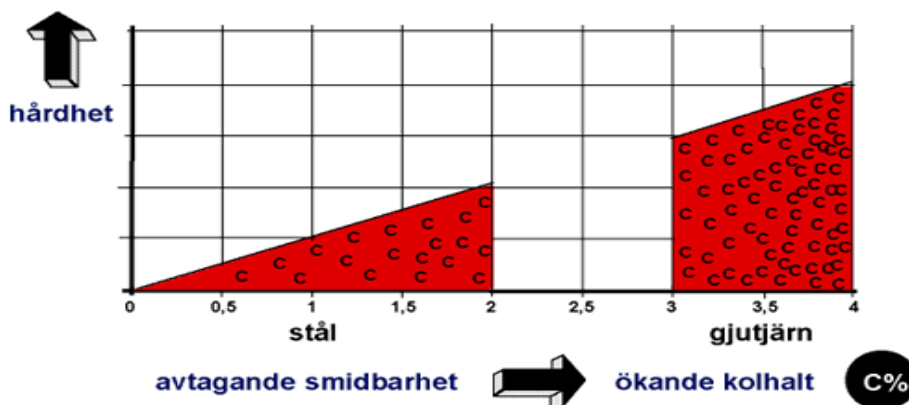


Fig.10 Definitioner av stål och gjutjärn.

Flytande järn med en halt kring 4,5 % kol finns också som en mellanprodukt i stålframställningen efter masugnen och benämns då råjärn. En äldre beteckning för råjärn var tackjärn som härrör från att man en gång i tiden alltid göt upp masugnens produktion i tackor. Idag används också beteckningen tackjärn men då enbart för uppgjutet råjärn.

Förutom järn och kol finns i stålet legeringsämnen och föroreningsämnen. Legeringsämnena påverkar på samma sätt som kol stålets egenskaper. Typiska legeringsämnen är kisel (Si), mangan (Mn), krom (Cr), nickel (Ni), molybden (Mo), niob (Nb), kobolt (Co), wolfram (W) och vanadin (V). Vid mycket höga legeringshalter brukar gränsen för att kallas stål vara material där järn är enskilt största ämne..

Typiska föroreningsämnen är svavel (S), fosfor (P), syre (O) och väte (H). Även små mängder av vissa metaller som koppar (Cu), bly (Pb), zink (Zn), tenn (Sn), antimon (Sb), m.fl. kan ha en negativ inverkan på stålets bearbetbarhet och egenskaper. Olika stålsorter kan ha olika krav. För vissa stålsorter kan ett ämne vara ett legeringsämne medan samma ämne kan vara en förorening i andra stålsorter. Exempel på detta är svavel, fosfor, kväve, vanadin och niob. Vid skrotcirkulationen har skrotets ickejärninnehåll en stor betydelse.

Genom val av legeringshalter ges stålet olika egenskaper. Olika användningsområden kräver olika egenskaper. I vissa applikationer vill man t ex ha en hög hårdhet medan i andra fall är det viktigt att ha god seghet och formbarhet. Utöver val av legeringsämnen kan stålets egenskaper styras av bearbetning och värmebehandling. Detta leder naturligtvis till att det finns en mängd olika ståltyper. Indelningsgrunder och vokabulär kring de olika ståltyperna är ingen exakt vetenskap och har under årens lopp förändrats. Tidigare indelningsgrunder utgick i regel från mängd legeringsämnen och man skiljde t ex på kolstål, låglegerade stål och höglegerade stål. I en modern indelningsgrund ingår även användningen i definitionen och man talar om:

- Konstruktionsstål
- Rostfria stål
- Verktygsstål
- Snabbstål

Konstruktionsstål är ur volymsynpunkt helt dominerande. Inom gruppen finns allt från enkla stålsorter såsom armeringsstål till mer avancerade med höga hållfastheter. Man talar om olegerade och legerade konstruktionsstål.

Exempel på ett lågt legerat men avancerat stål är ett s.k. djuppressningsstål för exempelvis bilkarosser och badkar. Analys för denna ståltyp är max 0,06 % C, 0,02 % Si, 0,30 % Mn.

De senaste åren har en ny grupp av höghållfasta stål tagits fram. Stålen har en mycket hög hållfasthet och god seghet trots relativt låga legeringshalter. Bakom ligger en utveckling av valsningsteknik för termomekanisk behandling parallellt med utveckling av de mikrolegerade stålen (HSLA-stål). Till gruppen kan också de s.k. kyllda stålen räknas. En typisk analys för ett HSLA-stål är: 0,05 % C, 0,20 % Si, 0,60 % Mn, 0,04 % Nb, 0,04 % Al.

De rostfria stålen utgör endast några få procent av all stålproduktion i världen men har en relativt stor betydelse för svensk stålindustri. De viktigaste elementen för att göra stålet rostfritt är krom och molybden. Oftast tillsätts också nickel, 8-12 %, för att få en viss struktur. Dessa Ni-legerade stål kallas austenitiska rostfria stål. De typiska s.k. 18/8 stålen innehåller således ca 17-18% Cr och ca 8-10% Ni. Vid halter över 2,2 % Mo kallas stålen för syrafasta. Typisk analys för den senare är 0,05 % C, 17,0 % Cr, 11 % Ni, 2,2 % Mo, 0,4 % Si, 1,5 % Mn.

Verktygsstål och snabbstål tillverkas i Sverige av producenter som dominerar världsproduktionen. En typisk analys för ett verktygsstål är Orvar 2: 0,39 % C, 1,00 % Si, 0,40 % Mn, 5,30 % Cr, 1,30 % Mo, 0,90 % V. En typisk analys för ett snabbstål är: 0,88 % C, 0,40 % Si, 0,30 % Mn, 4,0 % Cr, 5,0 % Mo, 6,5 % W, 5,0 % Co, 1,9 % V.

En annan äldre indelningsgrund är specialstål och handelsstål där specialstålen är dyra stål som görs i förhållandevis små volymer medan handelsstål har låga legeringshalter och i regel står för bulkproduktionen.

I masugnen tillverkas i regel bara en typ av råjärn medan antalet stålsorter längre ned i kedjan är stort. Någon har räknat ut att det finns över 4000 olika standardiserade stålsorter. Många stålverk som har ett brett produktsortiment kan ha flera hundra olika stålsorter att erbjuda förutom olika produktformer.

Analysen för olika stålsorter ställs in i smältugnen (i första hand kolhalten) och genom legeringstillsatser vid efterbehandlingen i skänk eller skänkgugn. Man bör observera att det är inte bara analysen som varierar i kundbeställningarna. Kunden specificerar också typ av produkt som t ex band, stång, tråd eller rör. Även stålets inre struktur och ytfinish ingår ofta i specifikationen. Inre strukturen styrs förutom av analysen av bearbetningsgrad och värmebehandling.

Till inre struktur kan även räknas krav från kund på en viss slagginneslutningsbild. I kundspecifikationen kan naturligtvis också ingå krav på de egenskaper som är viktiga för applikationen t ex hållfasthetsegenskaper eller korrosionsegenskaper.

Observera att stålindustrins tillverkningsstruktur skiljer sig från t ex verkstadsindustrins tillverkningsstruktur såtillvida att medan stålindustrin startar med några varianter av malmråvara alternativt skrot och kan sluta med flera tusen varianter av slutprodukt startar en bilindustri med flera tusen komponenter som sätts ihop till en bil utförd i ett smärre antal varianter.

## Stålets tillverkningsvägar

Det finns idag två principiella tillverkningsvägar för stål. Dessa är

- Den malmbaserade
- Den skrotbaserade

En variant på den skrotbaserade vägen är att skrotet eller delar av detta ersätts som råvara av s.k. järnsvamp. Denna utveckling som kan ha ett intresse för en långsiktig avsättning av skrot beskrivs mer nedan. Av världens årliga stålproduktion på ca 800 milj. ton fördelas c:a 60 % på malmbaserad masugnsteknik medan c:a 40 % baseras på skrot och direktreducerad järnsvamp vilket visas i fig.11.

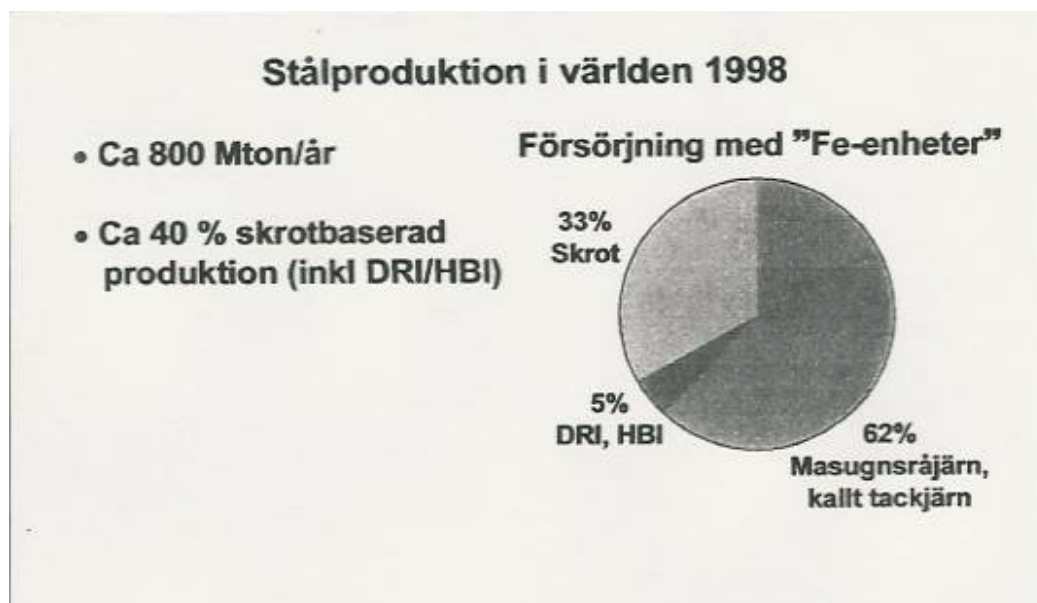


Fig.11 Andel skrotbaserad produktion

I fig.12 visas en schematisk bild av stålets tillverkningsvägar.



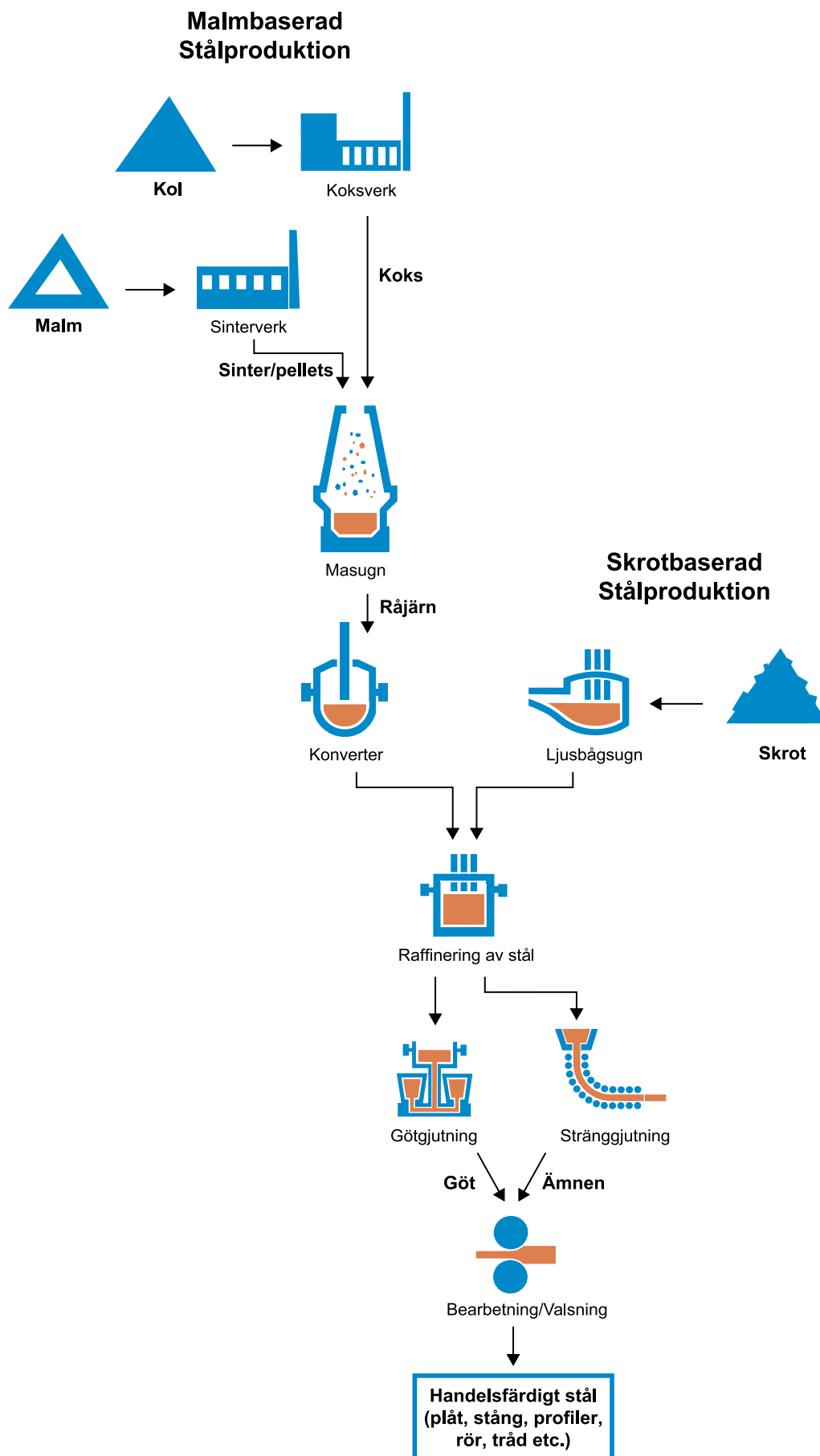


Fig.12 Stålets tillverkningsvägar

Stålråvara är järnmalm (slig) som reduceras med hjälp av koks i masugnsprocessen. Koksen produceras från kol i ett koksverk medan den finkorniga malmråvaran agglomereras till större stycken i sinterverk. Från masugnen får man ett flytande råjärn (ca 1350 °C) med en kolhalt kring 4 %.

Efter en s.k. förbehandling som oftast innebär en svavelrening och homogenisering, färskas råjärnet till stål i en syrgaskonverter. Denna process kallas allmänt för syrgasprocessen eller konverterprocessen och finns i olika versioner. Vanligast är LD-processen eller OBM-processen. Färskningen innebär att kolhalten sänks till önskad nivå genom att kolet i råjärnet reagerar med den tillförda syrgasen. Reaktionen mellan kol och syre ger ett överskott av värme. Detta kallas att reaktionen är exoterm. Överskottsvärmen räcker till både för en nödvändig temperaturhöjning och för en insmältning av skrot s.k. kylskrot. Detta går i regel upp till ca 20 % av smältvikten, i vissa fall upp till 30 %, vilket gör att behovet av kylskrot är en inte oväsentlig del av skrotcirkulationen.

Efter färskningen har man nu ett flytande stål vid en temperatur över 1600 °C som i regel färdigställs i en skänkbehandling. Här legeras stålet till önskad legeringshalt, syrehalten sänks (desoxideras) genom tillsats av speciella legeringar som binder syret, oönskade gaser som väte och ibland kväve sänks genom spolning med inertgas såsom argon. Efter färdigställning gjuts stålet i regel i en stränggjutningsanläggning. Vid gjutningen skapas kontinuerligt långa ämnen (blooms eller slabs) som efter kapning och ytkonditionering går vidare till värmning och varmvalsning. Vid alla dessa steg i tillverkningsprocessen uppstår förluster, man får ett s.k. skrotfall. Detta skrot cirkuleras i regel internt inom verket varvid behovet/möjligheten att använda kylskrot kommer väl till pass.

Den skrotbaserade tillverkningsvägen baseras på skrot eller skrotsubstitut. Man har således inte något reduktionssteg varför kedjan kan göras mycket kortare. Vanligast är att man smälter skrotet i en ljusbågsugn men vid mindre tonnage kan smältningen ske i en högfrekvens-ugn (HF-ugn). Båda ugnarna använder elektrisk energi men i vissa fall sker en förvärmning av skrotet och/eller komplement vid nedsmältningen med oxyfuelbrännare (syrgas-olja). I fig.13 visas schematiskt en ljusbågsugn och dess viktigaste funktioner.

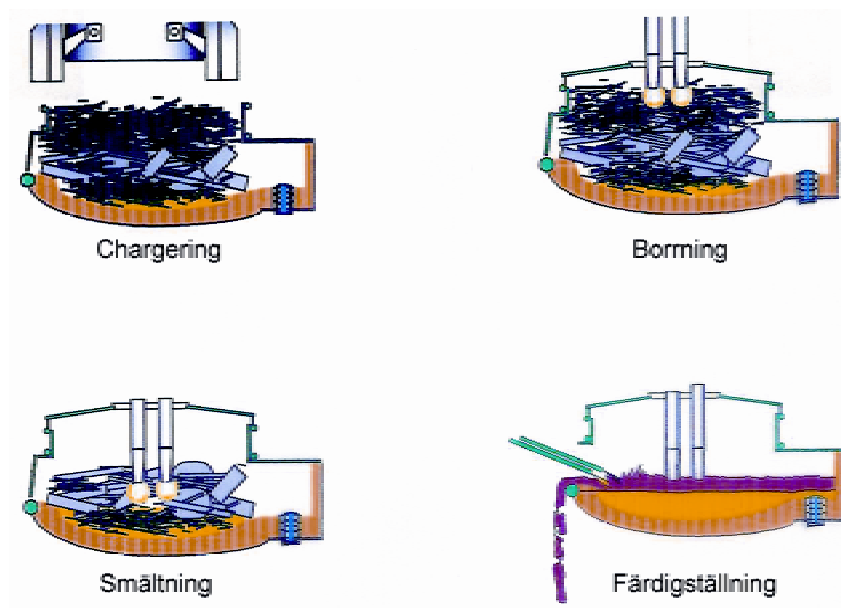


Fig. 13 Ljusbågsugn och dess viktigaste funktioner

Efter nedsmältning och färdigställning följer tillverkningsvägen samma rutiner som den malmbaserade vägen. Det smälta stålet raffinerar i skänkbehandlingssteget med efterföljande stränggjutning.

Som nämnts ovan finns en variant där tillverkningsvägen är ljusbågsugn men råvaran inte är skrot utan s.k. järnsvamp eller en kombination av järnsvamp och skrot. Man kan uttrycka det så att järnsvamp blir ett substitut för skrot.

Järnsvamp framställs med vanlig järnmalmråvara och naturgas som värmekälla och reduktionsmedel. Reduktionen sker utan att malmen smälts vid temperaturer runt 900 °C, man talar om att reduktionen sker i fast fas. Den färdiga produkten får en porös och svampig ytstruktur, därav det svenska namnet. Ytan blir mycket stor, vilket gör att det finns risk för återoxidation, vilket är ett av problemen med tekniken. En annan nackdel är att det är svårt att skala upp reduktionsprocessen på samma sätt som har skett hos masugnen. Totalt sett är inte direktreduktionsprocesserna ekonomiskt konkurrenskraftiga med masugnen. Totalt görs dock ca 40 miljoner ton järnsvamp årligen i världen vilket motsvarar ca 5 % av världsproduktionen. Tekniken har också hyggliga tillväxtsiffror. Ekonomin bygger på att man kan utnyttja billig naturgas vilket gör att etableringen har skett utanför etablerade industriländer. En annan fördel är att man kan etablera en stålindustri utan att behöva göra de stora investeringar som ett fullt integrerat verk med masugnsanläggning innebär. Viktigt för produktens avsättning är att den fungerar som ett substitut för skrot. På svenska använder vi beteckningen järnsvamp eller det mer moderna och internationella DRI som står för "direct reduced iron". Vanligaste DRI-processerna är Midrex och Hyl III.

## Rostfria stål

Vad som har avhandlats ovan om stål har beskrivit kolstålet i olika former. Vid sidan om kolstålet brukar man tala om specialstål. Den viktigaste gruppen ur volym och värdesynpunkt är rostfria stål. Totalt tillverkas i världen ca 20 miljoner ton årligen vilket motsvarar ca 2 % av total stålvolym. Eftersom skrotvärdet för rostfritt ligger grovt räknat tio gånger högre än kolstål blir det dock intressant ur skrotsynpunkt. I ett svenskt perspektiv förstärks detta av att Norden står för ca 2,0 miljoner årston rostfritt.

Rostfriheten uppnås genom att tillsats av vissa ämnen gör stålet ”rostfritt”. De i praktiken viktigaste ämnena är krom (Cr) och molybden (Mo). Molybden har en starkare inverkan än krom, 1 % Mo motsvarar ca 3,3 % Cr. Cr är dock billigare än Mo även räknat på effekten på rostfriheten. Därför legeras de flesta rostfria stål med minst 17-18 % Cr vilket ger en tillräcklig rostfrihet i normala miljöer. I officiell statistik räknas alla stål med över 10,5 % Cr som rostfria stål. Vissa miljöer som t ex kloridhaltigt vatten kräver dock starkare korrosionsskydd. I dessa fall tillsätts i regel Mo eftersom alltför höga Cr-halter har nackdelar på egenskaperna. En vanlig halt av Mo ligger inom 2,1- 2,6 % som tillsammans med 18-20 % Cr ger ett s.k. syrafast stål. För att få ett stål med goda bearbetningsegenskaper och hög duktilitet vill man ha rätt struktur som i detta fall är en austenitisk struktur. Detta åstadkommes genom tillsats av Nickel (Ni). I vanliga rostfria stål med 18 % Cr räcker 8 % Ni medan syrafasta stål kräver 10-12 % Ni. Observera att Ni tillsätts för att uppnå en austenitisk struktur och påverkar med några få undantag inte korrosionsmotståndet. Ni är betydligt dyrare än Cr och står således för en stor del av det austenitiska stålets legeringskostnad. Man kan också göra rostfria stål med enbart Cr och möjligen Mo men utan Ni. Detta stål får en lägre råvarukostnad med sämre bearbetningsegenskaper och sämre seghet. Stålet får en ferritisk struktur vilket gör att stålet är magnetiskt vid rumstemperatur. Austenitiska rostfria stål är omagnetiska. Man bör således observera att alla rostfria stål inte är omagnetiska. Omvänt kan man säga att man med magnetens hjälp kan avgöra om ett rostfritt stål innehåller Ni eller inte. Hårt bearbetade austenitiska stål kan också erhålla en viss magnetism p.g.a. att austeniten omvandlats till en fas som kallas martensitiskt. Av all rostfri produktion i världen är ca 45 % ferritiska och 55 % austenitiska. Av tradition är andelen austenitiska stål betydligt större i Sverige. De austenitiska stålen utgörs av Rostfritt typ 18/8 ca 70-75 % och Syrafast (Mo-legerat) ca 25 %. De högre legerade rostfria stålen med typiska halter av Mo på 4,5-6 % utgör endast några få procent i Sverige och ännu mindre internationellt.

Ett annat viktigt element i rostfritt utöver legeringselementen är kol. Det binder upp Cr i s.k. karbider och rostfriheten kan spolieras speciellt när stålet svetsas och inte kan värmebehandlas. Därför är kravet att kol skall vara under 0,05 %. Med moderna tillverkningsmetoder är det inte svårt att nå dessa nivåer.

Tillverkningen av rostfritt sker i stort sett uteslutande på skrotbasis. Skrotråvaran utgörs dels av rostfritt skrot men i den mån den inte räcker används kolstålsskrot som med tillsats av legeringsämnen legeras upp till rostfritt stål. Första operation är att skrotet och huvudparten av legeringarna smälts i en ljusbågsugn. Smältan håller nu i regel för hög kolhalt. Smältan överförs till en sido- och bottenblåsande konverter där kolet sänks genom reaktion med syrgas. För att undvika att alltför mycket krom oxideras spås syrgasen ut med argon, kväve eller vattenånga. Vid färsningen genereras värme vilket innebär att man har ett behov av kylskrot, dock inte lika stort som vid färsning av kolstål. Detta kylskrot måste vara lågkolhaltigt och vanligtvis används eget internt

fallande skrot. Den vanligaste konverterprocessen är AOD-processen (argon), men även CLU (vattenånga) och VOD (vakuum) förekommer.

## Referenser och källor

1. **Skrotboken 2000**, utgiven av svenska stålverk och återvinningsindustrier.
2. **Skrotboken 1995 för Rostfritt Stålskrot** utgiven av rostfria stålindustrin och rostfria verksleverantörer
3. **Kartläggning av metallföroreningar**, Per Ådell, rapport från Jernkontoret, kommitté 2319, TO-23-91, 2000-01-27
4. **Guide för legeringsmetaller och spårelement i stål**, Rune Lagneborg, Jernkontoret serie M-4, 2001-03-01.
5. **Handbok för konstruktörer**, utgiven av STENA-Gotthard.

# JERNKONTORET

Besöksadress  
Kungsträdgårdsgatan 10  
Postadress  
Box 1721, 111 87 Stockholm

Telefon  
08-679 17 00  
Telefax  
08-611 10 91

E-post  
[office@jernkontoret.se](mailto:office@jernkontoret.se)  
Webbplats  
[www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se)

Organisationsnr  
802001-6237

