



Rapport 2021:10

Metallåtervinningens ekonomiska marknader - komplexitet, incitament och politisk styrning

Efterfrågan på metaller ökar i världen, bland annat som en följd av klimatomställningen och tillväxten i informations- och kommunikationsteknologi. I den här studie analyserar vi marknaderna för återvunnen metall. Framför allt diskuteras olika typer av marknadsmisslyckanden och barriärer som kan motverka framväxten av effektivare återvinningsmarknader.

Dnr: 2020/248

Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser

Studentplan 3, 831 40 Östersund

Telefon: 010 447 44 00

E-post: info@tillvaxtanalys.se

www.tillvaxtanalys.se

För ytterligare information kontakta: Ulrika Stavlot

Telefon: 010-447 44 43

E-post: Ulrika.Stavlot@tillvaxtanalys.se

Förord

Tillväxtanalys har regeringens uppdrag att analysera och utvärdera statens insatser för att stärka Sveriges tillväxt och näringslivsutveckling. Syftet med den kunskap som vi utvecklar är att den ska användas för att effektivisera, ompröva och utveckla politiken. Vi utvecklar även analys- och utvärderingsmetoder.

Hur nationellt politiskt fattade beslut bidrar till hållbar tillväxt är en komplex fråga som kräver djuplodande analyser och utvärderingar. I vår årligen uppdaterade analys- och utvärderingsplan presenterar vi våra ramprojekt. Det är tvååriga projekt där vi belyser en politiskt relevant frågeställning utifrån olika perspektiv. Under ett ramprojekts gång publicerar vi fortlöpande delstudier. Våra slutsatser och rekommendationer sammanfattar vi i en avslutande ramprojektrapport.

Det här är en delstudie som ingår i ramprojektet "Hur kan staten bidra till processindustrins gröna omställning genom att främja resurseffektiva system för material och metaller?". Studien är skriven av Patrik Söderholm, professor i nationalekonomi vid Luleå tekniska universitet.

Ett varmt tack riktas till deltagarna i ramprojektets referensgrupp som har bidragit med värdefulla inspel: Maria Ljunggren Söderman (Chalmers), Per Klevnäs (Material Economics), Sven Hjelmstedt (Boliden) och Lotta Lewin-Pihlblad (Näringsdepartementet). Stort tack går även till Ulrika Stavlöt och Tobias Persson, båda Tillväxtanalys, var hjälp och insatser varit viktiga för att slutföra rapporten.

Östersund december 2021

Thomas Pettersson Westerberg, avdelningschef, Tillväxtanalys

Innehållsförteckning

Förord	2
Sammanfattning	5
Det behövs ett produkt- snarare än materialfokus	5
En ökad metallåtervinning kräver en kombination av politiska styrmedel	6
Ibland finns rätt incitament även i frånvaro av politisk styrning	6
Ibland är konventionell miljöpolitik den mest effektiva politiska styrningen	7
Nya hållbara teknologier och värdekedjor kräver en riktad politik	7
Behov av fördjupade fallstudier	8
Summary	9
A product-centric rather than a material-centric approach is needed	9
Increased metal recycling requires a mix of policy instruments	10
Occasionally efficient incentives exist even in the absence of policy action	10
Conventional environmental policies may sometimes be more efficient	11
Policy plays a key role in promoting directed green technological change	11
There is a need for in-depth case studies	12
1. Introduktion	13
1.1 Bakgrund och motivering	13
1.2 Syfte och avgränsningar	16
1.3 Angreppssätt	17
1.4 Rapportens disposition	19
2. Marknader för primära och sekundära metaller	20
2.1 Efterfrågan på metaller	20
2.2 Primärt och sekundärt utbud av metaller	21
2.2.1 Primär produktion	21
2.2.2 Sekundär produktion	24
2.3 Prisbildningen på metallmarknaderna	26
2.4 Konkurrensen mellan primär och sekundär produktion	29
2.4.1 Tillgången på metallsrot vid olika tidsperioder	29
2.4.2 Skalekonomi och produktivitetsförbättringar	30
2.4.3 Volatila metallpriser	31
3. Metallåtervinningens marknadsmislyckanden	33
3.1 Negativa miljöexternaliteter	33
3.2 Transaktionskostnader	36

3.3	Informationsmisslyckanden: utbudet	37
3.4	Informationsmisslyckanden: efterfrågan.....	40
3.5	Negativa externa effekter i produktlivscykeln	41
3.6	Avslutande kommentarer	44
4.	Teknisk utveckling och förutsättningar för transformativ förändring	45
4.1	Ett innovationssystemets framväxt: utgångspunkter	46
4.2	Marknadsmisslyckanden och teknologiutveckling.....	48
4.3	Institutionella utmaningar	50
4.4	En politik för grön teknologisk utveckling.....	52
5.	Avslutning: fem lärdomar för politiken.....	55
5.1	Det krävs ett produkt- snarare än ett materialperspektiv	55
5.2	Det krävs en kombination av olika typer av styrmedel.....	57
5.3	Ibland finns rätt incitament även i frånvaro av styrmedel.....	58
5.4	Ibland är konventionell miljöpolitik det mest effektiva	59
5.5	Nya teknologier och värdekedjor kräver en riktad politik	59
5.6	Det fortsatta lärandet.....	60
	Referenser	62
	Bilagor	72

Sammanfattning

Efterfrågan på metaller ökar i världen, bland annat som en följd av klimatomställningen och tillväxten i informations- och kommunikationsteknologi. Studier pekar också på en fortsatt ökad efterfrågan under de kommande decennierna. Detta gäller både för de så kallade bulkmetallerna (t ex stål, koppar, aluminium) samt för de innovationskritiska metallerna (t ex litium, kobolt, sällsynta jordartsmetaller). För att trygga en framtida hållbar försörjning av dessa metaller är det viktigt att förbättra förutsättningarna för metallåtervinning.

Syftet med rapporten är att presentera en konceptuell analys av marknader för återvunnen metall, och hur dessa marknaders funktionssätt påverkar konkurrensen mellan primär och sekundär metallproduktion. Framförallt diskuteras olika typer av marknadsmisslyckanden och barriärer som kan motverka framväxten av effektivare återvinningsmarknader, samt vilka övergripande lärdomar som finns att dra för den politiska styrningens roll. I rapporten kompletteras den konceptuella analysen med empiriska exempel för olika bulk- respektive innovationskritiska metaller. Dessa illustrerar bland annat den komplexitet och heterogenitet som ofta karakteriserar de existerande marknaderna för återvunna metaller.

Den analys som presenteras i rapporten leder fram till fem generella lärdomar för politiken.

Det behövs ett produkt- snarare än materialfokus

En tydlig trend är att metallanvändningen i samhället blir alltmer komplex. En och samma produkt kan innehålla ett stort antal metaller, ofta i olika legeringar och i kombination med andra material. Trenden är också att många produkter kontinuerligt får bättre prestanda och nya funktioner genom introduktionen av mindre och mindre komponenter, fler integrerade material och nya metallegeringar. Denna komplexitet försvårar återvinningen, inte minst i fallet med innovationskritiska metaller. Förutsättningarna för återvinning skiljer sig ofta åt mellan olika metaller men i än högre grad baserat på i vilka produkter och konstruktioner som metallerna ingår. Detta skapar ett behov av att gå från ett materialfokus – t ex i form av viktbaserade mål för återvinning – till ett produktfokus.

Ett produktfokus bygger på en ökad förståelse för de incitament som möter aktörerna längs produkternas hela värdekedjor. En sådan förståelse är viktig för att utforma styrmedel som adresserar det marknadsmisslyckande som uppstår då en produkt tillverkas och utformas på ett som ökar kostnaderna för att återvinna material i ett annat företag då produkten är uttjänt. En viktig uppgift för politiken är att finna en balans mellan åtgärder som förbättrar produktdesignen vid tillverkningssteget och åtgärder som förbättrar sektorns förmåga att ta hand om avfall när produkterna nått sin slutliga livslängd. Dagens situation präglas överlag av en obalans i detta avseende; fokus ligger oftare på förbättrad avfallshantering snarare än på produktdesign och återvinningsbarhet.

De styrmedel som används för att öka återvinningen av metaller – t ex producentansvaret som bland annat omfattar förpackningar, elutrustning och batterier – ger

överlag svaga incitament till ökad återvinningsbarhet. Ett första steg för att öka förutsättningarna på detta område är att ställa krav på information om produkters ursprung och innehåll längs hela värdekedjan. Ett möjligt sätt är införa s k produktpass, som ökar transparensen kring vilka material som finns i produkter samt om hur de kan repareras och/eller återvinnas. EU har exempelvis tagit ett initiativ till att industribatterier och batterier för eldrivna fordon ska förses med ett unikt och individuellt produktpass. Därutöver även behöver existerande styrmedel såsom producent-ansvaret ses över i syfte att öka incitamenten till återvinningsbarhet.

En ökad metallåtervinning kräver en kombination av politiska styrmedel

Rapporten visar att framväxten av effektiva marknader för återvinning av inte minst de innovationskritiska metallerna kan i flera fall hämmas av förekomsten av olika typer av marknadsmisslyckanden. Detta innebär i sin tur att en politik för ökad återvinning behöver bestå av en kombination av styrmedel.

För det första är det viktigt påpeka att sådan politik ofta baseras på den s k avfallshierarkin, och utgör på så sätt ett substitut till en mer träffsäker – men praktiskt och/eller politiskt ogenomförbar – miljöpolitik (t ex i form av skatter och regleringar som styr direkt på utsläppen i vatten och luft). Forskning visar att en politik som aspirerar på att utgöra ett sådant substitut och bidra till att internalisera negativa externa miljöeffekter behöver bygga på en kombination av två styrmedel: ett som ökar incitamenten att hushålla med avfalls-generande produkter samt ett styrmedel som gör det enklare att återlämna sådana produkter för senare återvinning på ett miljömässigt acceptabelt sätt. Styrmedel som pantsystem och producentansvar har sådana egenskaper.

För det andra existerar marknadsmisslyckanden som inte är relaterade till förekomsten av negativa miljöexternaliteter utan snarare till andra incitamentsstrukturer som reducerar effektiviteten i marknaderna för sekundära metaller. Politiska styrmedel som syftar till att överbrygga olika informationsproblem (t ex standardisering och klassificering), reducerar transaktionskostnader (t ex genom mer transparent lagstiftning) samt förbättra produkters återvinningsbarhet (t ex produktpass) utgör alla potentiella komplement till andra styrmedel såsom producentansvar. Rapporten har dock visat på en betydande heterogenitet mellan olika metallmarknader; informationsrelaterade misslyckanden (t ex asymmetrisk information) utgör överlag inga viktiga hinder på marknaderna för återvunna bulkmetaller medan de kan bidra till att hämma återvinningen av en del innovationskritiska metaller.

Ibland finns rätt incitament även i frånvaro av politisk styrning

Rapporten visar att det finns exempel där marknadsaktörerna har klarat av att på egen hand adressera olika marknadsmisslyckanden på ett effektivt sätt. Skrotklassificeringar och standards (t ex för test av skrotkvaliteter) har initierats av branschorganisationer, och detta har reducerat informationsmisslyckandena på utbudssidan. Det finns även viktiga exempel där användare av produkter som innehåller metaller (t ex katalysatorer) samverkar med återvinnare och bibehåller äganderätten över metallen. Sådana samarbeten har bl a skapat incitament för förbättrad produktdesign, och gör det även

möjligt för företagen att undvika att exponera sig för kraftiga prisfluktuationer på vissa innovationskritiska metaller.

Ett viktigt budskap är dock att i andra situationer är det betydligt svårare för de inblandade parterna att internalisera de negativa externa effekterna kopplade till återvinningsbarhet; det gäller metallåtervinning från produkter som ägs (eller har ägts) av privata konsumenter och som dessutom har bytt ägare över livscykeln. Forskning visar att förutsättningarna för framväxten av effektiva affärsmodeller för metallåtervinning där tillverkare och användare samverkar är speciellt gynnsamma om äganderätterna är väl definierade (och inte förändras över tid) samt om transaktionskostnaderna är tillräckligt låga.

Vissa barriärer för ökad återvinning är svåra att hantera såväl politiskt som av marknadens aktörer. Dessa har att göra med att vissa metaller, främst de innovationskritiska, produceras som biprodukter samt av att utbudet av metallskrot begränsas av tidigare konsumtions- och investeringsmönster. Detta gör att utbudet av sekundära men även en del primära metaller ofta är okänsligt för prisförändringar. I kombination med en inkomstkänslig efterfrågan genererar detta stora prisfluktuationer, som är svåra att adressera med politiska styrmedel.

Ibland är konventionell miljöpolitik den mest effektiva politiska styrningen

Det faktum att en politik för ökad återvinning till stora delar utgör ett substitut till en mer träffsäker miljöpolitik ställer stora krav på att säkerställa att det återvunna alternativet inte innebär mer negativ miljöpåverkan än det jungfruliga alternativet. Och även om det kan finnas legitima skäl till att ha styrmedel vars syfte är att styra uppåt i avfallshierarkin finns ibland andra styrmedel som också är "trubbiga" men likväl kan vara mer ändamålsenliga än en strikt tillämpning av avfallshierarkin. Det kan exempelvis vara teknikkraV och förbud av farliga ämnen i produkter. Även detta innebär dock svåra avvägningar, speciellt om de alternativa styrmedlen också är trubbiga. Den svenska kemikalieskatten på hemelektronik riskerar t ex att minska incitamenten till cirkulära lösningar.

Förutsättningarna för att implementera en konventionell miljöpolitik, t ex i form av olika gränsvärden för utsläpp, kan förändras över tid, inte minst i takt med teknisk utveckling. Politiken bör därför också noga följa – och stödja – teknisk utveckling som gör det mer praktiskt och ekonomiskt möjligt att implementera en mer träffsäker miljöpolitik, t ex genom att spåra och mäta förekomsten av kemikalier i produkter. Idag är det ofta oklart vilka incitament som finns för ekonomins aktörer att investera i teknologi som underlättar miljöpolitikens genomförande, inklusive tillsynen.

Nya hållbara teknologier och värdekedjor kräver en riktad politik

Motiven till att stödja en grön teknologiutveckling och främja framväxten av nya värdekedjor kan vara olika, men baseras främst på förekomsten av höga investeringsrisker samt kunskapsläckage. I metallproduktionen är dessa marknadsmisslyckanden överlag viktiga. En grön industripolitik behöver ta fasta på de återkopplingar som finns mellan teknologi- och spridningsprocessernas olika steg, samt på att förutsättningarna för

teknikutvecklingen kan se olika ut mellan olika områden. Detta kräver en kombination av teknikstödande och marknadsdrivande styrmedel. Därtill behövs styrmedel som stärker hela det teknologiska innovationssystemet, t ex förändrad lagstiftning rörande när en restprodukt klassas som "avfall" respektive "produkt" samt gällande handeln med avfall. Rapporten visar även att en framgångsrik teknologisk utveckling för ökad metallåtervinning ofta behöver bygga på nya aktörsnätverk längs hela produktkedjan, och en viktig uppgift för politiken kan ibland vara att skapa nya plattformar för aktörssamverkan (s k nätverksstyrning).

När det gäller den tekniska utvecklingen inom metallåtervinningsområdet är det sannolikt mest relevant att EU – snarare än Sverige – utgör utgångspunkten för en eventuell grön industripolitik. Detta, i kombination med samarbeten med länder även utanför EU, ökar möjligheterna att åstadkomma ett mer omfattande kunskapsutbyte längs produktkedjorna. En av de absolut största utmaningarna kopplat till att åstadkomma en ökad återvinning av såväl bulk- som innovationskritiska metaller är förbättrad produktdesign men även till framväxten av nya storskaliga produktionsprocesser för demontering av metallsrot.

Behov av fördjupade fallstudier

Ett viktigt syfte med denna rapport har varit att ta fram ett ramverk som kan utgöra en utgångspunkt för fördjupade studier. Ett nödvändigt nästa steg är därför att genomföra mer detaljerade fallstudier av förutsättningarna för framväxten av mer effektiva marknader för återvunna metaller. Potentiellt intressanta fallstudier finns i Tillväxtanalys tidigare studier av olika värdekedjor för ett antal innovationskritiska metaller, t ex kopplat till litium-jon batterier. En annan intressant fallstudie är förutsättningarna för återvinning av sällsynta jordartsmetaller samt andra material från gruvavfall.

Summary

The demand for metals increases at the global level., in part as result of the transition to a carbon-free economy and the growth in information and communication technologies. A continued increase in metal demand over the coming decades is also expected, both for the bulk metals (e.g., steel, copper, aluminum) and the so-called critical metals (e.g., lithium, cobalt, rare earth elements). Metal recycling plays a key a role in maintaining a sustainable supply of these metals in the future.

The purpose of this report is to present a conceptual analysis of the markets for secondary metals, and how the functioning of these markets affects the competition between primary and secondary metal production. The analysis focuses on different types of market failures and barriers that tend to work against the emergence of more efficient recycling markets, and on the most predominant lessons for the role of policymaking. Throughout the report, the conceptual analysis is accompanied by empirical examples from both the base metal and critical metal sectors. These illustrate, among other things, the complexity as well as the heterogeneity of the existing markets for recycled metals.

From the analysis presented in the report, we derive five general lessons for policymaking.

A product-centric rather than a material-centric approach is needed

There is a clear trend of metal use in society becoming increasingly complex. One and the same product can contain many metals, typically in various alloys and combined with other materials. Products are also changing rapidly with improvements in performance and the adding of new functions, and this is achieved through the introduction of smaller and smaller components, more integrated materials, and new metal alloys. This complexity complicates the recycling process, not least in the case of critical (small volume) metals. The prerequisites for recycling differ across metals, but they differ even more based on in which products and constructions the metals are embedded. This makes it necessary to move away from a material-centric approach, e.g., in the form of weight-based recycling targets, to a product-centric approach.

The product-centric approach builds on an increased understanding of the incentives facing the actors through the product lifecycle. This is essential for identifying the policies that can address the market failure that arises when a product is manufactured and designed in a manner that increases the cost of material recycling after the product has been discarded. A key challenge for policy is to strike a balance between measures that improves the product design at the manufacturing stage on the one hand and measures that permit the recycling of complex mixed waste streams on the other. Today, there is overall a bias in favor of the latter and there is less incentive for manufacturers to increase the recyclability of products.

The main policy instruments that are currently used to increase metal recycling rates – e.g., producer responsibility schemes for packaging waste, electronics, and batteries – provide only weak incentives for increased recyclability of products. An important first

step is thus to increase the flow of information throughout the entire value chain. One policy option is the implementation of product passports, which could help increase the transparency about the specific materials that are embedded in products and how these can be recycled. An EU initiative concerns the implementation of such passports in the cases of industrial batteries and batteries in electric vehicles. Furthermore, there is also need for evaluating how policy instruments such as the producer responsibility legislation can be improved to increase the incentives for recyclability of metals and other materials.

Increased metal recycling requires a mix of policy instruments

The report shows that the emergence of efficient markets for recycled metals, not least the critical metals, will in many cases be hindered by the presence of several different market failures. This implies in turn that policy action for increased metal recycling typically must rely on a mix of various policy instruments.

First, such policy action is often based on the so-called waste hierarchy, and in this way it represents a substitute for a more direct – but also practically and politically unachievable – environmental policy (e.g., taxes or performance standards regulating emissions into air and water). Research shows that that policy aspiring to represent such a substitute and help internalize negative environmental externalities must build on mix of (at least) two policy instruments: one that creates an incentive to buy less of waste-generating products and one instrument that increases the incentives to sort out and collect products for recycling. Some policy instruments, such as deposit-refund systems and producer responsibility legislations, provide such a mix of incentives.

Second, there may also exist market failures that are not related to the presence of external environmental costs, but instead to other lack of incentives that reduces the efficiency of recycling markets. For this reason, policy instruments that aim at overcoming various types of information failures (e.g., standardization, classification), reducing the transaction costs (e.g., more transparent waste legislation), and improving the recyclability of products (e.g., product passports) could all provide complements to the instruments directly targeting the waste hierarchy. The report, though, also illustrates the heterogeneity of metal recycling markets. For instance, information failures (e.g., the presence of asymmetric information) do not always constitute a barrier at the markets for recycled bulk metals (e.g., steel scrap), but they can be prevalent in the case of the recycling of many critical metals.

Occasionally efficient incentives exist even in the absence of policy action

The report identifies empirical cases where the market actors have been able to address a few of the market failures in efficient ways. Scrap classifications and standards (e.g., for tests of scrap quality) have been initiated by industry organizations, and this has helped reduce the information-related market inefficiencies at the supply side. There are also key examples where the users of metal-containing products (e.g., catalysts) cooperate with recycling firms but retain the ownership of the metal. Such collaborations have created

incentives for improved product design and recycling, and they have also enabled firms to become less exposed to the significant price volatility in the markets for critical metals.

It is important to note, however, that in many other situations it is much more difficult for the involved actors to internalize the externalities associated with product recyclability. In such cases the products may be owned (or have been owned) by private consumers, and the ownership has changed over the product's lifecycle. Research shows that the scope for effective business models in which product manufacturers and recycling firms cooperate is particularly favorable if property rights are well-defined (and do not change over time) and if the transaction costs are low enough.

Some barriers to increased metal recycling are difficult to address both by market actors and policy makers. This stems from the facts that some metals, not least critical ones, are produced as byproducts, and the supply of scrap is constrained by previous consumption and investments patterns. The above implies that the supplies of secondary metals but also some primary metals are insensitive to price changes. The low price-elasticity of supply in combination with an income-sensitive metal demand generates big fluctuations in prices.

Conventional environmental policies may sometimes be more efficient

The notion that policies aiming at higher recycling rates represent substitutes for a more direct regulation of environmental impacts has important implications; recycling as waste management option needs to imply less negative environmental impacts than other options. And even if policy instruments that are based on the waste hierarchy are well-motivated, there may nevertheless exist other types of ('second-best') policy instruments that are more efficient than a sole reliance on the waste hierarchy. These include technology standards and bans on hazardous substances in products. Clearly, such policies also involve difficult trade-offs since such instruments will often be deficient in some sense. For instance, the Swedish chemicals tax on electronics may reduce the incentives for circular solutions.

The prerequisites for implementing conventional environmental or chemical policies, e.g., performance standards, will change over time as result of technological change. Policy therefore needs to support technological development, which for instance facilitates cheap monitoring of emissions as well as enabling the tracing and measuring of the presence of chemicals in products. However, it is quite unclear today which actors have the incentives to promote and undertake the R&D activities needed to design regulations that can target diffuse environmental damages more closely.

Policy plays a key role in promoting directed green technological change

The motives for policy support to green technological change and the emergence of novel value chains differ, but typically they are based on the presence of knowledge spillovers and high investment risks. Overall, these market failures could be significant in the metal-producing sectors. The launch of a green industrial policy needs to recognize the feedbacks (iterations) between knowledge generation and market formation, as well as the fact that the prerequisites for technological progress differ across sectors. The above

implies reliance on a mix of technology-push and demand-pull instruments, as well as so-called systemic instruments that strengthen the entire technological innovation system. The latter includes legal amendments, e.g., the rules regulating the classification of “waste” and “products” and the international trade with secondary materials. The report also shows that promoting technological change in the metal recycling sector often needs to build on the emergence of novel actor networks throughout the product value chains, and an important task for policy can be to help set up new platforms for actor collaboration (network management).

Technological change in metal recycling is likely most efficiently promoted at the EU – rather than at the nation – policy level. This would, in combination with cooperation also with countries outside the Union, increase the prospects for achieving extensive knowledge exchange throughout the entire value chains. The most important challenges in terms of increased recycling of both bulk and critical metals include improved product design (for recyclability) but also the emergence of large-scale processes for automatic dismantling and shredding of waste.

There is a need for in-depth case studies

An important goal of this report has been to develop and illustrate an analytical framework, which can serve an important point of departure for more in-depth studies. A necessary next step is therefore to conduct more detailed case studies of recycling market failures. One interesting option for such case studies is the work by the Swedish Agency of Growth Policy Analysis on the value chains for a few critical metals, e.g., lithium-ion batteries. Case studies on the recycling of rare earth elements from mining waste is another option.

1. Introduktion

Denna rapport utgör en av delstudierna i ramprojektet "Hur kan staten bidra till processindustrins gröna omställning genom att främja resurseffektiva system för material och metaller?" Detta projekt bygger på premisen att omställningen till en koldioxid- såväl som materialeffektiv processindustri kan uppnås genom en kombination av nya koldioxidfria produktionsmetoder samt ökad återvinning och återanvändning av material samt energi. Ett flertal policyprocesser pågår på nationell och EU-nivå för att påskynda och främja denna omställning, och parallellt löper initiativ inom och mellan industrin och staten.

Rapporten fokuserar på förutsättningarna för att öka återvinningen av metaller samt att stödja framväxten av effektiva ekonomiska marknader för återvunna metaller. Detta kräver kunskap om hur existerande marknader för såväl primära (dvs jungfruliga) som sekundära (återvunna) metaller fungerar, inklusive hur dessa marknader påverkar varandra. En sådan analys utgör ett viktigt steg mot en ökad förståelse av de marknadsmisslyckanden samt institutionella barriärer som idag motverkar en ökad metallåtervinning i samhället; endast då denna kunskap finns kan träffsäkra och effektiva politiska styrmedel utformas.

Det specifika uppdrag som ligger till grund för rapporten handlar om att presentera en konceptuell analys av – ett 'sätt att tänka' kring – dessa frågor. Rapporten beskriver därför ett antal viktiga egenskaper hos marknaderna för såväl primära som sekundära metaller, vilka marknadsmisslyckanden och barriärer (t ex institutionella) som kan existera på dessa marknader, samt vilka övergripande lärdomar som kan dras för utformningen av en politik som syftar till att öka produktionen av sekundära metaller.¹ Ett viktigt budskap är att det finns en betydande heterogenitet; även om t ex marknaderna för olika återvunna metaller har en del gemensamma karakteristika finns också många viktiga skillnader, inte minst på utbudssidan. Genomgående i rapporten kompletteras den konceptuella analysen med olika empiriska exempel, som bland annat belyser denna komplexitet.

1.1 Bakgrund och motivering

Efterfrågan på metaller i världen har historiskt varit starkt kopplad till den ekonomiska utvecklingen, speciellt under de perioder då denna utveckling präglats av stark tillväxt i byggnader, infrastruktur och industriproduktion.² Användningen av bulkmetaller såsom stål, koppar och aluminium har varit speciellt viktig för att möta denna tillväxt. Mellan åren 1980 och 2019 ökade exempelvis den globala användningen av stål med cirka 260 procent medan motsvarande tillväxt för aluminium och koppar var 430 respektive 230 procent.³ En ansevärd del av denna ökade användning har mötts av sekundär produktion;

¹ Uppdraget bygger även vidare på andra delstudier i ramprojektet. Se t ex Tillväxtanalys (2021) som gör en internationell empirisk utblick för att öka förståelsen för konkurrensen mellan primära och sekundära metaller.

² Den ekonomiska utvecklingen i Kina under 2000-talet är ett bra – och t o m ganska extremt – exempel på en metallintensiv makroekonomisk tillväxt (Humphreys, 2015). Se vidare avsnitten 2.3 och 2.4.

³ Tillväxtanalys (2021).

utbudet av bulkmetallskrot finns ofta i ren form och i stora volymer, t ex i samband med demontering av byggnader, men även i form av skrotrester direkt från tillverkningen.⁴

De flesta scenarier över den framtida användningen visar på en fortsatt ökad efterfrågan på metaller; detta gäller både för de traditionella bulkmetallerna men inte minst för de så kallade *innovationskritiska* metallerna.⁵ I denna grupp ingår exempelvis litium, kobolt, grafit, platinagruppens metaller (t ex platina och palladium), gruppen av s k sällsynta jordartsmetaller, vanadin, rhenium, och en rad andra.⁶ Det "innovativa" kopplat till dessa metaller handlar om att efterfrågan på de innovationskritiska metallerna i hög grad kan kopplas till den starka tillväxten i informations- och kommunikationsteknologi samt klimatomställningen. Det senare syftar inte minst på det ökade inslaget av olika förnybara energikällorna (t ex vindkraft, och solel) samt den pågående elektrifieringen av industri- och transportsektorerna.

Behovet av olika innovationskritiska metaller i de framväxande teknologierna är normalt betydligt större än motsvarande behov i de teknologier som ersätts (t ex fossilbaserade kraftverk). En stor del av det globala behovet av kobolt och litium härrör exempelvis från tillverkningen av (litium-jon) batterier, och efterfrågan på dessa väntas öka i samband med elektrifieringen av transportsektorn. Sällsynta jordartsmetaller, en grupp metalliska grundämnen, används i magneter, elmotorer, legeringar och kretskort. Olika metaller behövs även i teknologier för vattenrening i form av sensorer och filter.⁷ Även om den relativa tillväxten i användningen av bulkmetaller är lägre än den för innovationskritiska metaller, finns även här en förväntan om en stark framtida tillväxt. Såväl koppar som aluminium är viktiga inom solenergiteknologi, elnät samt elfordon, och den globala användningen av dessa två metaller förväntas öka med cirka 190 respektive 75 procent under de tre kommande decennierna.⁸ Det kan t ex noteras att en elbil innehåller upp till fyra gånger så mycket koppar som en konventionell bensinbil.

Det "kritiska" med de innovationskritiska metallerna handlar om att dagens tillgänglighet på dem är förhållandevis låg i förhållande till det ökande intresset och efterfrågan.⁹ Detta knyter även an till tillgängligheten på olika substitutmaterial samt konsekvenserna för hela samhället utifall det uppstår en brist.¹⁰ Produktionen av de innovationskritiska metallerna är ofta starkt koncentrerad till vissa länder och regioner, bland annat Kina som exempelvis står för en mycket hög andel av världens primära produktion av sällsynta jordartsmetaller. Den primära produktionen av flera innovationskritiska metaller är ibland även begränsad av att flera av dessa produceras som biprodukter (se vidare avsnitt 2.2.1). För all mineral- och metallutvinning gäller också att etableringen av nya gruvor ofta är förknippade med olika ekonomiska och politiska hinder, t ex i form av utdragna tillståndprocesser samt konflikter rörande

⁴ Se exempelvis Densley Tingley m fl (2017).

⁵ Se exempelvis de sammanställningar av olika scenarier som återfinns i Watari m fl (2020, 2021).

⁶ Se Ljunggren Söderman och Ingemarsdotter (2014) samt SGU (2014) för omfattande kunskapsöversikter rörande användning och återvinning av en rad olika typer av "kritiska" metaller och mineral.

⁷ Reuter och Kojo (2012).

⁸ Material Economics (2021).

⁹ Nordic Council of Ministers (2018).

¹⁰ OECD (2012).

markanvändningen.¹¹ Den primära metallproduktionens klimatavtryck är dessutom stort (se även avsnitt 3.1).¹²

I ljuset av dessa geopolitiska, ekonomiska och miljö- och klimatmässiga utmaningar finns en tydlig politisk ambition att främja ökad återvinning av metaller och mineral. Såväl den Europeiska unionen (EU) som Sveriges regering har lanserat egna handlingsplaner för en cirkulär ekonomi.¹³ Flera EU-direktiv syftar även till ökad materialåtervinning, bland annat avfallsdirektivet, ekodesigndirektivet, samt de två direktiv som rör hanteringen av uttjänta fordon respektive elavfall. Den svenska handlingsplanen lyfter speciellt fram återvinning av innovationskritiska metaller och mineral som en prioriterad värdekedja i omställningen till en cirkulär ekonomi. För svensk del kan denna ambition till viss del kopplas till den expansion som sker kring litium-jon batteriproduktion för elbilar (inte minst Northvolts investeringar i Skellefteå och Västerås). I denna sektor kommer behovet av återvinning att bli viktigt, och batterierna innehåller flera värdefulla metaller.¹⁴

Överlag är återvinningsgraderna för de innovationskritiska metallerna mycket låga. Utav den globala produktionen av vissa sällsynta jordartsmetaller står den sekundära endast för cirka 3–8 procent. Motsvarande andel då det gäller litium är närmare noll. Forskare har samtidigt pekat på att även om återvinningsgraderna för de innovationskritiska metallerna är betydligt lägre än motsvarande nivåer för bulkmetaller som koppar, stål och aluminium, är miljöpåverkan (per kg) av primärproduktionen typiskt sett högre för den förstnämnda kategorin.¹⁵ Att öka återvinningen av miljöskäl tenderar således att vara än mer motiverat för de innovationskritiska metallerna jämfört med bulkmetallerna.

Idag är återvinningsgraderna för de flesta bulkmetaller förhållandevis höga, och över tid har effektiva – och i huvudsak globala – marknader växt fram för återvunnen metall (se vidare kapitel 2). Det material som handlas med på dessa marknader är dock i huvudsak stora volymer av relativt lättillgängligt skrot (ibland direkt från företag). Den tydliga trenden är att metallanvändningen i samhället blir alltmer komplex, och det påverkar både potentialen för återvinning av bulkmetaller och innovationskritiska metaller. Idag nyttjas ofta ett stort antal metaller i en och samma produkt (om än i små mängder), inte minst i olika legeringar och andra kombinationer av material. En modern personbil innehåller t ex uppemot 40 olika metaller, och i en vanlig smartphone kan det finnas upp till 60.¹⁶

I denna rapport belyser vi den komplexitet och heterogenitet som karakteriserar de existerande marknaderna för metaller, och hur denna påverkar förutsättningarna för en ökad konkurrenskraft för sekundär kontra primär produktion av såväl innovationskritiska metaller som bulkmetaller. Speciellt diskuteras på vilka områden som staten kan spela en potentiellt viktig roll för att stödja – om inte annat undvika att motverka – framväxten av såväl omfångsrikare som effektivare marknader för återvunnen metall. Förutsättningarna för ökad metallåtervinning och statens roll för att

¹¹ Se exempelvis Clagett (2013), Zachrisson och Beland Lindahl (2019) samt Söderholm m fl (2021).

¹² IRP (2019).

¹³ Europeiska Kommissionen (2015) samt Regeringskansliet (2021).

¹⁴ Meshram m fl (2019).

¹⁵ Se exempelvis Nuss och Eckelman (2014).

¹⁶ UNEP (2013).

stödja en sådan utveckling kan skilja sig åt beroende på såväl material som i vilka produkter dessa material finns.¹⁷

1.2 Syfte och avgränsningar

Det övergripande syftet med denna rapport är att presentera en konceptuell analys av de ekonomiska marknaderna för primära och sekundära metall och mineral, och hur dessa marknaders funktionssätt påverkar konkurrensen mellan primär och sekundär produktion. I analysen ägnas speciell uppmärksamhet åt: (a) de efterfråge- och utbudsfaktorer som påverkar marknaderna samt prisbildningen på dessa; samt (b) förekomsten av olika typer av marknadsmislyckanden som kan motverka en ökad återvinning av metaller, och inte minst etableringen av nya marknader för återvunnen metall där sådana inte finns idag. Baserat på denna analys diskuteras ett antal viktiga generella lärdomar för utformningen av politiska styrmedel, inklusive olika avvägningar och utmaningar som en sådan politik kan föra med sig. Genom hela rapporten illustreras lärdomarna från den konceptuella analysen med empiriska exempel för olika bulk- respektive innovationskritiska metaller.

Analysen bygger på ett antal viktiga avgränsningar. En första viktig avgränsning handlar om relationen till de politiska ambitionerna som rör den 'cirkulära ekonomin'. Enligt den Europeiska kommissionen är denna att likställa med en ekonomi där värdet på produkter, material och resurser fortlever så länge som möjligt.¹⁸ En rad åtgärder kan vidtas för att åstadkomma detta, t ex materialåtervinning, materialeffektivitet, återanvändning, förlänga livslängden på olika produkter samt reparation och återtillverkning. Fokus i denna rapport är enbart på metallåtervinning, men emellanåt belyser vi även viktiga – och ibland svåra –avvägningar rörande valet mellan olika 'cirkulära' åtgärder samt avvägningar kopplade till att vissa 'cirkulära' åtgärder inte alltid är effektiva för att uppnå minskad miljöpåverkan.¹⁹

En andra viktig avgränsning är att rapporten inte går på djupet då det gäller analyser av de specifika styrmedel som används – eller skulle kunna användas – för att främja en ökad återvinning av metaller. Emellanåt kommenteras olika styrmedel och policyförslag i syfte att illustrera och exemplifiera viktiga poänger, och i ett avslutande kapitel diskuteras ett antal viktiga vägval och *generella* lärdomar för politikens utformning. Vi kommenterar inte heller den lämpliga politiska nivån för styrning, t ex EU- kontra nationell nivå.

En tredje avgränsning rör de empiriska illustrationerna i rapporten. Dessa fokuserar i första hand på metallåtervinning från uttjänta fordon, bygg- och rivningsavfall, elektronik och elektriska produkter, samt en del andra konsumentprodukter.²⁰ Detta innebär exempelvis att vi i mycket liten utsträckning behandlar återvinning från

¹⁷ Hagelüken m fl (2016).

¹⁸ Europeiska Kommissionen (2015).

¹⁹ Se t ex Söderholm och Tilton (2012) för en diskussion om hur ett ensidigt fokus på produkters livslängd kan leda till minskad material- och energieffektivitet, samt hur material- respektive energieffektivitet inte alltid behöver gå hand i hand. Forskning har även visat att det ofta kan vara mer miljövänligt att uppgradera använda persondatorer snarare än att återvinna de olika materialen i datorerna (se t ex Hickey och Fitzpatrick, 2008).

²⁰ Detta fokus ligger väl i linje med den andra publicerade delstudien i ramprojektet (se Tillväxtanalys, 2021).

gruvavfall. Den konceptuella analysen är dock så pass generell att den tillåter fördjupade studier även av sådant avfall.

1.3 Angreppssätt

Den konceptuella analys som presenteras i rapporten bygger främst på nationalekonomisk teori. Ekonomi handlar i grunden om hur val görs mellan olika alternativ för att på bästa sätt nyttja samhällets knappa (produktiva) resurser, inklusive metaller. Enligt ekonomisk teori definieras en samhällsekonomiskt effektiv resursfördelning som en fördelning som maximerar utrymmet för hushållens konsumtion av nyttigheter, dvs varor och tjänster i en vid mening (även icke-marknadsprissatta), och med hänsyn tagen till framtida hushåll.²¹ Översatt till materialåtervinning innebär detta att: (a) en viss nivå på återvinningen av ett enskilt material ska åstadkommas till lägsta möjliga kostnad för samhället; samt (b) drivas fram till den punkt där kostnaden för ytterligare (en enhets) återvinning är lika hög som värdet av denna återvinning (inklusive eventuella undvikna miljöskador).²²

De ekonomiska marknader där köparna och säljarna av olika varor och tjänster möts, är viktiga "verktyg" för att åstadkomma en effektiv resursfördelning. På dessa marknader leder aktörernas decentraliserade beslut till ett stort antal ömsesidigt fördelaktiga byten. De flesta marknader fungerar dock inte fullt ut effektivt; en central uppgift för politiken är därför att påverka aktörernas *incitament* på ett sätt som främjar den samhällsekonomiska effektiviteten. I rapporten fokuserar vi på metall- och mineralmarknadernas funktionssätt, med betoning på några speciella egenskaper som påverkar konkurrensen mellan primär och sekundär produktion. Analysen uppmärksammar framförallt de incitament som påverkar aktörernas beslut på efterfrågespektive utbudssidan av marknaderna, samt identifierar situationer – så kallade *marknadsmisslyckanden* – där dessa incitament inte främjar en samhällsekonomiskt effektiv nivå på metallåtervinningen. Dessa misslyckanden innebär med andra ord att beslut som är rationella utifrån t ex ett företagsekonomiskt perspektiv, dvs ökar företagets vinst, inte nödvändigtvis leder till ett utfall på marknaden som även ökar välfärden i samhället som helhet.²³

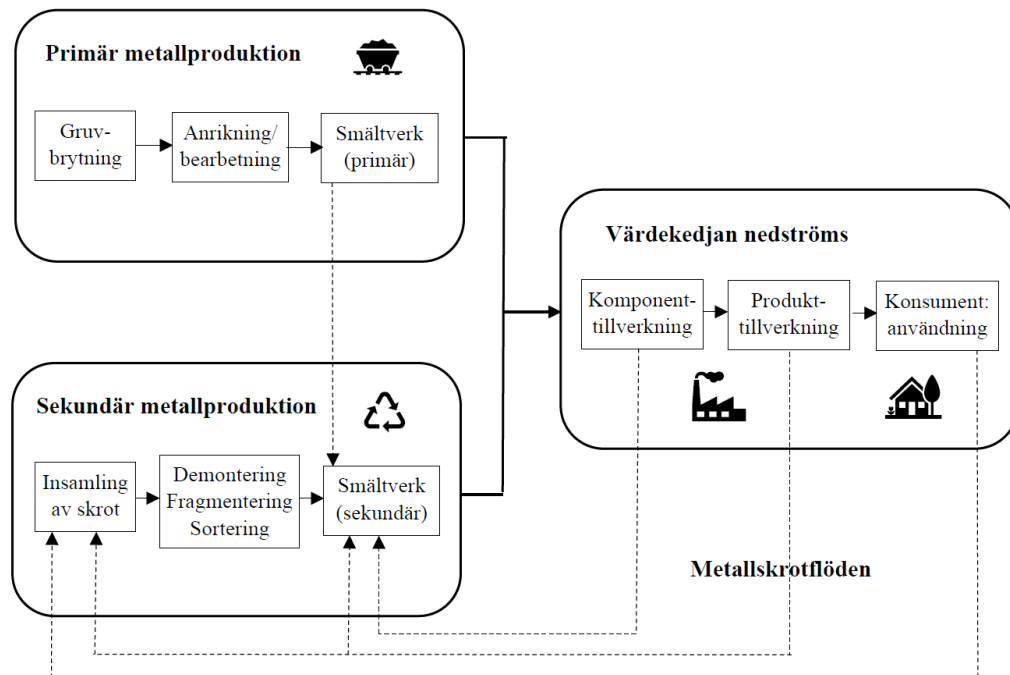
Figur 1.1 ger en förenklad bild av flödet av material kopplat till både den primära och den sekundära metallproduktionen. Den visar hur den primära (malmbaserade) produktionen resulterar i metaller, som sedan gradvis förädlas till nya produkter, byggnadskonstruktioner och infrastruktur. En betydande del av det metallskrot som genereras kommer från de olika tillverkningsstegen (s k internt skrot och nytt skrot, se vidare avsnitt 2.2.2). Dessa flöden är idag förhållandevis slutna med höga återvinningsgrader av metallskrot (som ofta är fritt från legeringar och spårelement). Fokus i denna rapport är därför på det metallskrot som under olika lång tid lagras i samhället, och blir tillgängligt för återvinning först när de olika konstruktionerna och produkterna nått sin slutliga livslängd. Återvinningsprocesserna olika för olika skrottyper skiljer sig åt en del men består typiskt sett av insamling, demontering,

²¹ Se t ex Bohm (1996).

²² Eftersom materialåtervinning är resurskrävande i sig är det mycket sällan samhällsekonomiskt effektivt med nära 100 procent materialåtervinning. Att återvinning inte är en *per definition* samhällsekonomiskt effektiv aktivitet noterades redan av Baumol (1977).

²³ Se även Söderholm (2016) som ger ett samhällsekonomiskt perspektiv på den cirkulära ekonomin.

fragmentering, sortering och smältning. Ett viktigt budskap från denna rapport är att de misslyckanden som förhindrar framväxten av mer effektiva metallåtervinningsmarknader kan finnas i mer eller mindre alla delar av de värdekedjor som illustreras i Figur 1.1. Dessa knyter an till de incitament som möter säljare och köpare av råvaror men även till de beslut som produkttillverkare tar rörande produkternas innehåll och utformning.



Figur 1.1 Primära och sekundära värdekedjor för metall och mineral.

Källa: Baserad på McCarthy och Börkey (2017).

Det är viktigt att notera att Figur 1.1 bortser från mycket av den komplexitet som i hög grad kännetecknar marknaderna för återvunna metaller. Dessa marknadens funktionssätt avgörs i hög grad av vilka produkter som återvinns. Detta är speciellt tydligt i demonteringsfasen där olika företag ofta specialiserar på vissa produkter, t ex elektronik, fordon.²⁴ Beroende på produkternas komplexitet samt vilka metaller som återvinns kommer givetvis även behovet av sortering, demontering och fragmentering och olika processmetallurgiska processteg att vara olika stort. Detta innebär i sin tur att de marknadsmisslyckanden och barriärer som påverkar förutsättningarna för en effektiv återvinning också kan se olika ut, t ex kopplat till var i processen de uppkommer samt till hur omfattande de olika barriärerna är.

Rapporten bygger på en syntes och diskussion av existerande forskning. Denna forskning utgörs inte minst ekonomiska av analyser av: (a) mineral- och metallmarknader med fokus på efterfråge- och utbudsbeteende och prisbildning; samt (b) förekomsten av olika typer av marknadsmisslyckanden samt hur dessa kan adresseras, t ex genom politisk styrning. Det är dock även viktigt att förstå de tekniska utmaningarna kopplat till metallåtervinning, och analysen baseras därför även på forskning inom t ex miljö- och

²⁴ Tillväxtanalys (2021).

avfallsteknik och geologi. Ofta har denna litteratur varit viktig för att förstå vilka hinder som står i vägen för en expansion av metallåtervinningen, samt för hur nya och mer effektiva teknologier för återvinning kan utvecklas.

1.4 Rapportens disposition

Kapitel 2 redogör för – samt exemplifierar – ett antal generella egenskaper hos existerande ekonomiska marknader för återvunna metaller. I detta kapitel diskuteras även hur dessa egenskaper påverkar konkurrensen mellan den primära och den sekundära produktionen av en given metall. Även om de viktigaste budskapen exemplifieras med hjälp av exempel från marknaderna för bulkmetaller, t ex stål och koppar, finns viktiga lärdomar att dra även för framväxten av mer effektiva marknader för de innovationskritiska metallerna.

I kapitel 3 fokuserar vi på de omständigheter som gör att marknaderna för återvunnen metall inte alltid fungerar så effektivt som de skulle kunna göra. Kapitlet identifierar och illustrerar ett antal olika typer av marknadsmisslyckanden, som (i olika mån) skulle behöva adresseras om återvinningen av såväl innovationskritiska metaller som bulkmetaller ska kunna öka.

En speciellt viktig förutsättning för ökad metallåtervinning är teknologisk utveckling och spridning, och även på detta område finns viktiga marknadsmisslyckanden, men även existerande politik och lagstiftning som riskerar att försvåra en sådan utveckling. Dessa frågor diskuteras i kapitel 4. Som ett komplement till den ekonomiska analysen anammas här även innovationssystemperspektiv på framväxten av nya teknologier, värdekedjor och marknader.

Kapitel 5 avslutar rapporten, och innehåller ett försök att syntetisera några viktiga lärdomar för utformningen av en politik som syftar till att stödja framväxten av väl fungerande marknader för återvunna metaller, inte minst de innovationskritiska metallerna. Kapitlet diskuterar även en del viktiga avvägningar och utmaningar som olika politiska vägval kan föra med sig.

2. Marknader för primära och sekundära metaller

Kapitel 2 redogör för – samt exemplifierar – ett antal generella egenskaper hos existerande ekonomiska marknader för återvunna metaller. I detta kapitel diskuteras även hur dessa egenskaper påverkar konkurrensen mellan den primära och den sekundära produktionen av en given metall. Även om de viktigaste budskapen exemplifieras med hjälp av exempel från marknaderna för olika bulkmetaller, t ex stål och koppar, finns det viktiga lärdomar att dra även för framväxten av mer effektiva marknader för de innovationskritiska metallerna.

2.1 Efterfrågan på metaller

Efterfrågan på metaller är en *härledd* efterfrågan. Hushållen är t ex sällan intresserade av att köpa och nyttja metallerna som sådana; i stället är efterfrågan en följd av konsumtionen av olika produkter och tjänster, t ex bilar, hemelektronik, hushållsmaskiner, etc. De företag som tillverkar dessa produkter behöver i sin tur använda metaller i sin produktion för att kunna erbjuda de produkter som uppfyller konsumenternas behov, t ex en trafiksäker bil eller en mobiltelefon med många olika funktioner.²⁵ Metaller har med andra ord viktiga attribut och kvaliteter – t ex styrka, uthållighet, förmåga att motstå korrosion – som i olika sammanhang är centrala för produkters funktionalitet och därmed deras ekonomiska värde. Den totala efterfrågan på sådana produkter är i sin tur ofta knuten till inkomstnivå (BNP).

Ofta står metallerna i en produkt för en liten andel av den totala produktionskostnaden och av produktens värde på marknaden, och det innebär in sin tur att efterfrågan på många metaller tenderar att vara relativt sett okänslig för prisförändringar. Även om priset på en metall stiger mycket kan effekten på tillverkningskostnaden samt konsumentpriset bli liten. Den låga nivån på metallefterfrågans egenpriselasticitet härrör även från kapitalintensiteten i de anläggningar som bearbetar mineral och metall, dvs. stålverk, smältverk, gjuterier, etc.²⁶ Produktionen i dessa baseras på storskaliga processer i vilka behovet av metaller och mineral för att producera en enhet av produkten, i termer av såväl volymer som kvalitet, är mer eller mindre givet. Dessa processer sätter även begränsningar på vilka proportioner av primärt samt sekundärt material som kan användas.²⁷ Det är i regel endast genom stora investeringar i nya anläggningar som en

²⁵ Tilton och Guzmán (2016).

²⁶ Efterfrågans egenpriselasticitet för exempelvis stål och aluminium har estimerats till -0.20, dvs en ökning av priset med 10 procent kommer (allt annat lika) att leda till reduktion i efterfrågad kvantitet med 2 procent (van den Bergh och Jansen, 2005).

²⁷ Wübbeke och Heroth (2014) noterar exempelvis att kinesisk stålproduktion har dominerats av användning av järnmalm i masugnprocessen (i vilken endast begränsade mängder stålskrot kan adderas). Användningen av stålskrot är betydligt högre i en så kallad ljusbågsugn. Men eftersom denna alternativa stålproduktion idag står för en liten del av Kinas stålproduktion, begränsar det användningen av stålskrot i landet. Globalt förväntas dock den framtida tillväxten inom stålproduktionen att domineras av återvunnet stålskrot i ljusbågsugnar, och detta faktum är en viktig anledning till att den svenska järnmalmproducenten LKAB annonserat ambitioner att ställa om produktionen från järnmalmspellet till järnsvamp. Järnsvamp med lågt syrenehåll är likvärdigt med stålskrot i de nya moderna ljusbågsugnarna (LKAB, 2020).

mer omfattande substitution mellan de olika produktionsfaktorerna, inklusive den mellan jungfrulig och återvunnen metall, kan ske.

Såsom påpekades i introduktionskapitlet präglas samhällsutvecklingen av introduktionen av mer komplexa produkter i vilka ett stort antal metaller har en viktig betydelse för dessa produkters funktionalitet, hållbarhet, utformning samt användbarhet. För att åstadkomma de relevanta egenskaperna i produkterna kan metaller förekomma i ren form, i legeringar samt som kemiska föreningar. Ibland behövs även mer komplexa materialstrukturer, t ex där metallegeringar kombineras med keramik och fiber. Bilar har med tiden blivit alltmer komplexa i takt med att mer och mer elektronik introducerats. Denna trend förstärks i och med introduktionen av elbilar där kobolt och litium behövs i batterierna. Även en rad olika sällsynta jordartsmetaller är viktiga för elbilar. Dessa behövs exempelvis i batteriet (lantan, cerium), motorn (neodym, praseodym, dysprosium, terbium), i LCD skärmar (yttrium, cerium, europium), och katalysatorn (cerium, lantan).²⁸ Den mer komplexa användningen av metaller berör även efterfrågan på bulkmetaller, såsom stål och koppar, eftersom också dessa ingår i olika legeringar och är integrerade med andra material.

En utmaning för metallåtervinningssektorn är även att produktionen av vissa produkter är beroende av metaller i ren form för att åstadkomma de rätta egenskaperna (t ex hållbarhet eller låg vikt). Detta gör det svårt att återvinna metallerna för användning i samma produktionsprocess; det är med andra ord inte säkert att allt det stål som återvinns från uttjänta fordon kan användas i produktionen av nya bilar (se vidare avsnitten 3.3–3.4). De barriärer som finns för ökad metallåtervinning finns alltså på såväl utbuds- som efterfrågesidan.

2.2 Primärt och sekundärt utbud av metaller

2.2.1 Primär produktion

Primär produktion av metaller och mineral sker i gruvor (dagbrott och underjordsgruvor), och dessa mineral bearbetas därefter på olika sätt och ibland i flera steg (t ex i smältverk, anrikningsverk, pelletsverk, masugnar). En ekonomisk analys av den primära produktionen av metaller och mineral behöver uppmärksamma att en och samma gruvverksamhet ibland leder till produktion av flera metaller. Därför är det nödvändigt att definiera två olika typer av produkter: huvudprodukter och biprodukter.

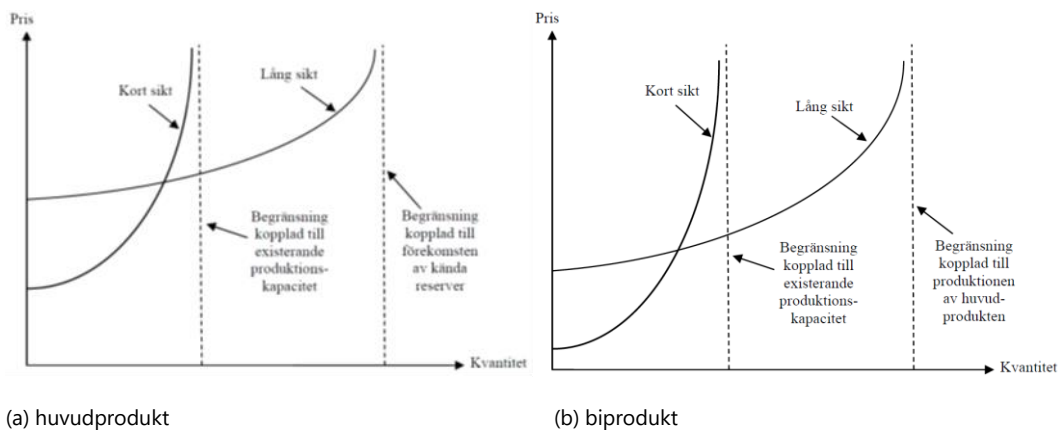
En *huvudprodukt* är en produkt som (per definition) är så pass viktig att den ensam avgör lönsamheten för verksamheten. I LKAB:s fall utgör exempelvis järnmalmen en huvudprodukt i gruvverksamheten. *Biprodukter* är produkter som produceras vid sidan om en huvudprodukt, men priset på en biprodukt kommer inte att påverka produktionsbesluten rörande huvudprodukten. I LKAB:s pågående utvecklingsarbete som går ut på att utvinna nya produkter från sitt avfall, utgör fosfor (och fosfatgödningsmedel) samt olika sällsynta jordartsmetaller biprodukter (LKAB, 2020).²⁹

²⁸ UNEP (2013) och Alonso m fl (2012).

²⁹ I LKAB:s fall är det t o m så att de sällsynta jordartsmetallerna kan ses som biprodukter till fosfor (se t ex Mellgren, 2021). Detta innebär att fosfor bär den stora kostnaden i det nya projektet. Utvinningen av sällsynta jordartsmetaller blir därmed relativt oberoende av prisfluktuationer på de globala marknaderna. Tidigare erfarenheter visar, enligt LKAB:s företrädare, att när det kommer ut nya volymer av sällsynta

Det är naturligtvis så att en given produkts kategorisering kan förändras över tid, t ex på grund av förändrade marknadsförhållanden och/eller teknologisk utveckling (se även nedan).³⁰

Figur 2.1 illustrerar skillnaderna i utbudskurvorna, dvs förhållandet mellan marknadspriset på produkten och produktionsnivån (t ex i ton), för huvud- respektive biprodukter.³¹ Vi gör här även en distinktion mellan kort och lång sikt. Det kortsiktiga utbudet av produkterna begränsas av den tillgängliga produktionskapaciteten. På lång sikt kan dock nya gruvor samt bearbetningsanläggningar öppnas upp. Den totala produktionen av huvudprodukten begränsas på lång sikt av tillgången på kända mineralreserver (och på ännu längre sikt kan prospektering samt ny teknologi möjliggöra ytterligare produktion), medan motsvarande produktionsnivå för biprodukten begränsas av hur stora volymer som produceras av huvudprodukten (på lång sikt). Av Figur 2.1 framgår därutöver att för såväl huvud- som biprodukter ligger den kortsiktiga utbudskurvan under den långsiktiga (fram till dess att kapaciteten begränsar utbudet). Detta beror på att på kort sikt kommer ett företag att fortsätta att producera även om priset endast är tillräckligt högt för att täcka dess rörliga kostnader.



Figur 2.1 1 Utbudskurvor för primär produktion av metaller: huvudprodukt och biprodukt

Källa: Baserad på Tilton och Guzmán (2016).

Sammanfattningsvis visar ovanstående på två viktiga skillnader mellan utbudet för huvud- respektive biprodukter. Den första skillnaden är, som påpekats ovan, att utbudet av en biprodukt begränsas av produktionsnivån för huvudprodukten; LKAB:s framtida utbud av sällsynta jordartsmetaller kommer sannolikt att vara direkt relaterat till företagets totala produktion av järnmalm. Den tekniska utvecklingen kan innebära en ökning i den mängd biprodukter som kan utvinnas från en viss kvantitet av huvudprodukten; i så fall skiftar huvudproduktrestriktionen för biprodukten åt höger i Figur 2.1. Den andra skillnaden är att för en biprodukt kommer endast de kostnader som

jordartsmetaller på marknaderna har de kinesiska producenterna (som dominerar produktionen av jordartsmetaller globalt) sänkt priserna.

³⁰ Om två eller fler produkter måste säljas för att bibehålla lönsamheten i verksamheten kommer båda dessa att påverka produktionsbesluten, och då definieras de som *gemensamma produkter* (co-products). Detta är vanligt i smältverk. I Bolidens smältverk Harjavalta (Finland) produceras exempelvis koppar, nickel, guld och silver gemensamt medan svavelsyra utgör en biprodukt.

³¹ Den presentation som följer kring Figur 2.1 baseras på Tilton (1992) samt Tilton och Guzmán (2016).

är specifika för just denna produkt att påverka dess utbud. Alla gemensamma kostnader bärs m a o fullt ut av huvudprodukten. I Figur 2.1 illustreras detta genom att utbudskurvan för biprodukten är placerad på en lägre nivå än motsvarande kurva för huvudprodukten.

En viktig observation är att många innovationskritiska metaller utgör idag biprodukter till andra metaller, inte sällan bulkmetaller.³² Detta gäller exempelvis flertalet metaller som används i elektroniska produkter samt i solenergiteknologier (t ex gallium, germanium indium, och selen), och ett antal sällsynta jordartsmetaller som är viktiga i produktionen av havsbaserad vindkraft samt elbilar (t ex neodym, terbium, och praseodym).³³ En hög andel av dessa metaller har dessutom, som noterats ovan, låga återvinningsgrader och produceras i ett fåtal regioner vilket gör dem känsliga för den geopolitiska utvecklingen.

Att den primära produktionen av innovationskritiska metaller baseras på biprodukter har en rad viktiga implikationer. En sådan är att utbudet av dessa metaller tenderar att vara relativt okänsligt för prisförändringar, och priserna på dessa uppvisar därför stora fluktuationer över tid (se avsnitt 2.3). Detta blir speciellt tydligt då efterfrågan på huvud- respektive biprodukterna inte förändras på samma sätt över tid.³⁴ Metallen rutenium används bland annat i hårddiskar, och utgör en biprodukt till platina. Efter sekelskiftet ökade efterfrågan på rutenium kraftigt, men produktionen ökade endast marginellt eftersom motsvarande efterfrågeökning inte skedde för platina. Således sköt priset på rutenium i höjden, t ex i form av en niofaldig ökning mellan åren 2006 och 2007.

En annan potentiellt viktig implikation är att marknadskrafterna – ibland i kombination med politiska regleringar som syftar till att fasa ut en viss metall – kan få en del viktiga konsekvenser för utbudet av olika kritiska metaller. Ett exempel är bly vars efterfrågan minskar på grund av lagstiftning och utvecklingen av ny batteriteknologi. Detta begränsar utbudet av exempelvis antimon och vismut, och där antimon används just i batterier. En närliggande metall till rutenium är rodium, som också produceras som en biprodukt till platina. Sedan 2016 har efterfrågan på platina minskat, bland annat på grund av minskad efterfrågan på dieselmotorer. På samma gång har strängare krav på kväveoxidrening införts, och med en ökad efterfrågan på rodium (i katalysatorer) som följd. Men detta påverkade inte produktionen av metallen, vars pris ökade tiofaldigt mellan åren 2017 och 2020.³⁵

Ett sätt att hantera en sådan bristande tillgänglighet på metaller är substitution till andra mer tillgängliga (och mer priskänsliga) metaller. Denna möjlighet är dock ofta begränsad. Den bästa substitutmetallen till en metall som produceras som biprodukt är i regel en annan biprodukt, som dessutom inte sällan produceras tillsammans med samma huvudprodukt på grund av liknande fysikaliska och kemiska egenskaper.³⁶ Andra sätt att påverka utbudet av biprodukter är naturligtvis att öka återvinningen av dessa, och förutsättningar för sådan återvinning diskuteras i mer detalj nedan. Det går även att öka utbytet av biprodukter i den primära produktionsprocessen. Ofta har dessa utbyten varit

³² Nassar m fl (2015).

³³ UNEP (2013).

³⁴ Se exempelvis Bielwas (2010).

³⁵ SGU (2021).

³⁶ Nassar m fl (2015).

relativt låga.³⁷ I andra fall har effektiviteten i produktionen inneburit tydliga öknings i utbudet av biprodukter. Ett sådant exempel är indium, som produceras som biprodukt till zink, och vars produktion har ökat mångfalt mer än zinkproduktionen under de senaste 50 åren.³⁸

2.2.2 Sekundär produktion

Sekundär produktion av metaller baseras på metallskrot, och utbudet av sådant skrot härrör från flera källor. Ett relativt stort flöde uppstår redan i den primära produktionen, t ex i stålverket. Detta kallas ofta internt skrot (*home scrap*), och kan exempelvis bestå av skrot som blivit kvar i skänkar och ugnar eller som klippts av i samband med gjutning.³⁹ Ett annat flöde är det skrot som uppstår vid bearbetning av metallen till en färdig produkt, s k verkstadsskrot eller nytt skrot (*new scrap*). Det kan handla om svarvspån eller stansningar. Användningen av dessa skrottyper är normalt hög, och deras andel av den totala sekundära produktionen tenderar att minska över tid.⁴⁰ Detta beror på att företagen normalt har starka ekonomiska incitament att effektivisera produktionen och minska spillet.

Vårt fokus i denna rapport är därför på utbudet av s k insamlingsskrot (*old scrap*), dvs de flöden som uppstår efter användning av produkter och konstruktioner som innehåller olika metaller. Hädanefter när vi refererar till metallskrot och sekundära metaller i rapporten, är det insamlingsskrot som avses. Utbudet av sådant metallskrot kommer under ett givet år att bero på både *flödet* av metallinnehållande produkter som tagits ur bruk under året, och den totala *stocken* av liknande produkter och konstruktioner som ännu inte återvunnits.⁴¹ Denna distinktion är meningsfull eftersom det metallskrot som inte återvinns i år kommer att bidra till en ökad framtida stock av skrot, som består av det ackumulerade flödet under tidigare år. Denna stock kommer att således att öka i storlek om mängden återvunnen metall är lägre än det inkommande flödet, och med en hög nivå på återvinningen relativt detta flöde minskar stocken.

Figur 2.2 illustrerar utbudskurvorna för den totala mängden metallskrot (flöde plus stock) på kort respektive lång sikt. För enkelhets skull antar vi att då priset, P , är lägre än P_1 kommer ingen metall att återvinnas från den existerande stocken. Det innebär med andra ord att utbudskurvan under denna prisnivå enbart visar den sekundära produktionen från flödet av skrot. Den kortsiktiga utbudskurvan för detta flöde ligger på en lägre nivå än den långsiktiga eftersom på kort sikt kommer företagen att producera så länge som de täcker sina rörliga kostnader.

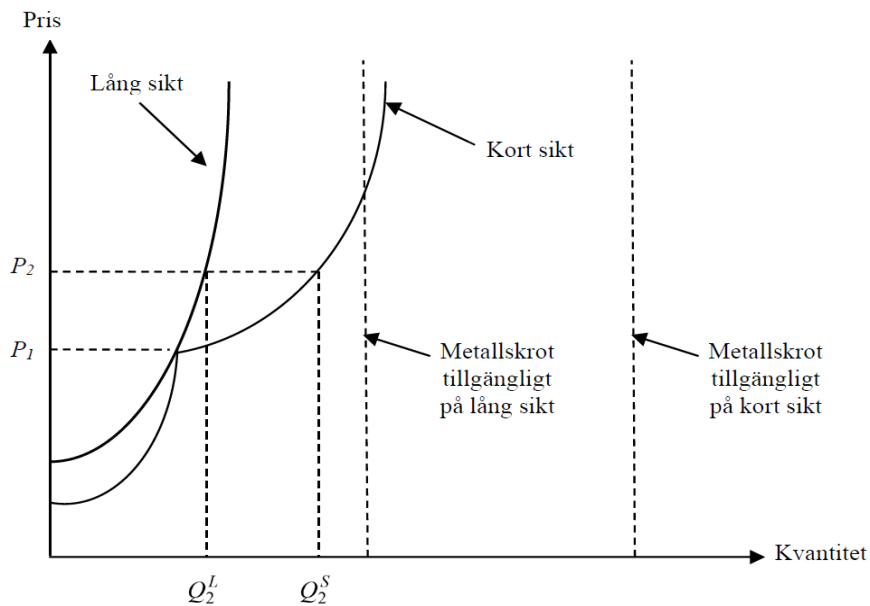
³⁷ Bielwas (2010).

³⁸ Kelly och Matos (2014).

³⁹ Ekerot (2003).

⁴⁰ Tilton (1999) samt Yuzov och Sdykh (2003).

⁴¹ Tilton (1992).



Figur 2.2 Utbudskurvor för metallskrot (insamlingskrot)

Källa: Baserad på Tilton (1992), Söderholm och Ejdemo (2008), samt Tilton och Guzmán (2016).

Om priset stiger till en nivå ovanför P_1 , behöver vi även ta hänsyn till utbudet från stocken av skrot, och vid prisnivån P_2 kommer den sekundära produktionen på kort sikt att uppgå till Q_2^S . Detta innebär dock – allt annat lika – att stocken av metall gradvis blir mindre; det som återvinns under ett år är inte tillgängligt för återvinning under nästkommande år. Det innebär med andra ord att den begränsning som ges av tillgängligheten på metallskrot är mer bindande på lång sikt än på kort sikt. Detta illustreras i Figur 2.2, och denna visar även att på lång sikt kommer den sekundära produktionen endast att uppgå till Q_2^L vid priset P_2 . Det långsiktiga utbudet kan med andra ord vara mindre priskänsligt än det kortsiktiga. Det är dock viktigt att påpeka att detta endast blir fallet i situationer där priset är tillräckligt högt för att det ska vara lönsamt att samla in och bearbeta skrot från existerande stock, dvs ovanför P_1 i Figur 2.2. Det kan t ex handla om husägare som ser en ekonomisk vinning i att byta ut sitt kopparkoppar mot ett modernare tak.

Den empiriska (ekonometriska) litteraturen visar entydigt att utbudet av sekundära metaller tenderar att överlag vara relativt okänsligt för prisförändringar. Utbudets egenpriselasticitet för sekundärt aluminium samt bly- och kopparskrot har t ex skattats i intervallet 0.20-0.30 medan motsvarande elasticitet för stålskrot bedömts vara något högre.⁴² Detta innebär med andra ord att en tioprocentig ökning av exempelvis priset på sekundäraluminium tenderar att (allt annat lika) leda till en två- till treprocentig ökning i produktionen av detta material. De studier som explicit försökt att estimerat det sekundära utbudets kort- och långsiktiga priselasticiteter bekräftar också att dessa kan vara högre på kort än på lång sikt.⁴³

⁴² Blomberg och Hellmer (2000), Blomberg och Söderholm (2009), Carlsen (1980), Fisher m fl (1972), Slade (1980a, 1980b), Sigman (1995), samt Barnett och Crandall (1986).

⁴³ För tidiga empiriska undersökningar av detta, se Fisher m fl (1972) samt Bonczar och Tilton (1975).

Den ekonomiska litteraturen har inte i lika hög grad försökt estimerar motsvarande utbuds-elasticiteter för olika innovationskritiska metaller. I en studie från 2020 undersöks hur återvinningsgraden av metaller från uttjänta hemelektronikprodukter påverkas av priserna på metallerna, och författaren redovisar en statistiskt signifikant (och positiv) effekt på utbudet av ökning i dessa priser.⁴⁴ Denna effekt är dock förhållandevis liten; även i detta fall verkar således utbudets egenpriselasticitet att vara låg.

Givetvis kommer även andra faktorer – utöver priset på marknaden – att påverka utbudet av sekundära metaller, inte minst kostnaderna för insamling och bearbetning av avfallet (som i sin tur påverkas av teknisk utveckling). En viktig anledning till att effektiva marknader för de flesta bulkmetaller har växt fram över tid är – utöver att dessa har ett relativt högt ekonomiskt värde – att det har varit förhållandevis lätt och billigt att samla in och bearbeta stora volymer rent material. I samband med demonteringen av byggnader och infrastruktur kan exempelvis stora sektioner av stål separeras tidigt i processen.⁴⁵ Detta betyder inte att alla metaller i en byggnad kan återvinnas till en låg kostnad; för en del krävs magnetisk separation och vissa material är svårare att återvinna, såsom armeringsjärn som blandats med betongen. På motsvarande sätt kommer återvinningen av olika metaller från uttjänta bilar och hemelektronik att i hög grad påverkas av koncentrationen av dessa metaller i produkten,⁴⁶ samt av i vilken mån metallerna ingår i vissa legeringar och således interagerar med varandra samt med andra spårelement och föroreningar.⁴⁷

Eftersom tillgängligheten på skrot är en funktion av omfattningen av – och karaktären på – tidigare perioders konsumtion, kommer dagens flöde av metallskrot att i hög grad bero på den ekonomiska tillväxten under dessa tidigare perioder.⁴⁸ En hög tillväxt är i regel starkt kopplad till en hög användning av metaller. Inte minst under perioder av industrialisering och omfattande investeringar i byggnader och infrastruktur leder tillväxten till en ökad tillgång på metallskrot. Konstruktionernas och produkternas livslängd spelar också roll. Flödet av metallskrot kan t ex bli högt cirka 40–70 år efter en period av stark tillväxt; om tillväxten i ekonomin dessutom är betydligt lägre vid detta nya tillfälle kan den sekundära produktionen stå för en hög andel av den totala metallanvändningen (se även avsnitt 2.4).

2.3 Prisbildningen på metallmarknaderna

Många bulkmetaller – såväl primära som sekundära – säljs på stora öppna marknadsplatser (börser), t ex London Metal Exchange (LME), men även via långsiktiga bilaterala kontrakt med industriella kunder. I det sistnämnda fallet utgör priserna på börserna ofta en viktig utgångspunkt för de villkor som sätts i kontrakten. I Sverige görs t ex affärer i stålskrot ofta upp i ramavtal mellan skrotleverantören och JBF (AB Järnbruksförnödenheter), som är ett gemensamt inköpsorgan för landets stålindustri. Priserna följer den internationella prisutvecklingen, och skrotets klassificering följer branschpraxis som finns dokumenterad i den så kallade *Skrotboken*.⁴⁹ I denna bok anges

⁴⁴ Fizaine (2020).

⁴⁵ Geyer and Gerlagh (2004).

⁴⁶ Detta illustreras empiriskt av Fizaine (2020) i fallet med metallåtervinning från elektroniskt avfall.

⁴⁷ Reuter and Kojo (2012).

⁴⁸ Se Radetzki och van Duynne (1985) för en mer djupgående konceptuell och empirisk analys.

⁴⁹ Compañero m fl (2021) och Ekerot (2003).

exempelvis övre gränser för olika elements tillåtna halter. I fallet med rostfritt stålskrot sker marknadstransaktionerna direkt mellan leverantör och stålverk, och priserna följer de legeringspriser som noterats på LME. För de flesta innovationskritiska metaller saknas i regel öppna marknadsplatser (undantaget t ex kobolt och litium som båda säljs på LME); i sådana fall blir behovet av att etablera direkta industrikontakter normalt sett ännu större.

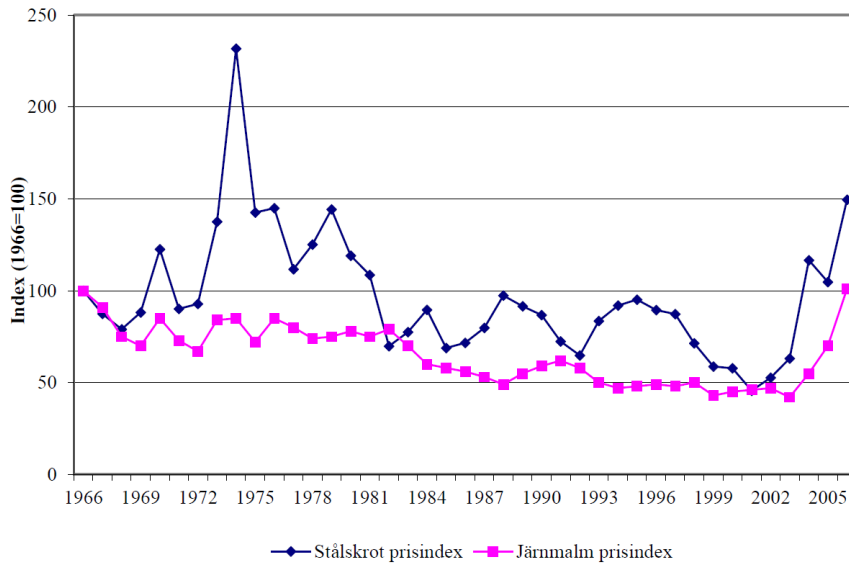
De internationella marknaderna för återvunna bulkmetaller är starkt konkurrensutsatta, och priset bestäms till stora delar av global efterfrågan och utbud. En konsekvens av detta är att priserna i olika regioner följer varandra. Studier visar exempelvis att de europeiska och nordamerikanska stålskrotspriserna under lång tid har varit kointegrerade, dvs dessa följer samma långsiktiga trend. Även om prisnivåerna kan avvika från varandra på kort sikt, t ex på grund av olika konjunkturlägen, kommer marknadskrafterna att leda till konvergerande priser på lång sikt.⁵⁰ Detta innebär även – till skillnad från den primära produktionen av en del innovationskritiska metaller – att utsikterna för att utöva marknadsmakt är begränsade.

Marknaderna för såväl primära som sekundära metaller är volatila, dvs priserna fluktuerar ofta relativt mycket över tid. Figur 2.3 exemplifierar detta genom att visa utvecklingen av de reala priserna för järnmalm respektive stålskrot (nytt skrot samt insamlingsskrot). En viktig generell anledning till volatila metallpriser är en kombination av en inkomstkänslig efterfrågan på metaller och ett utbud som är prisokänsligt (på kort sikt). Metaller används i hög grad i de sektorer som är konjunkturberoende, t ex biltillverkning, byggande. Under perioder av hög ekonomisk tillväxt får vi därför en rejäl efterfrågeökning på metaller, och eftersom utbudet begränsas av såväl existerande produktionskapacitet som tillgången på skrot (i den sekundära produktionen) stiger priset på marknaden.⁵¹ Ett tydligt exempel på detta är den kraftiga ekonomiska tillväxten i Kina sedan sekelskiftet 2000 (se vidare avsnitt 2.4). Den har drivit på efterfrågan på olika metaller, och metall- och mineralindustrin har varit långsam med att anpassa sin produktionskapacitet för att möta efterfrågeökningen. En viktig anledning till denna långsamma anpassning av utbudet var att investeringar i nya gruvor är kapitalintensiva och dessa etableringen av ny gruvverksamhet kan ibland fördröjas på grund av utdragna tillståndsprocesser. Det finns även en eftersläpning då det gäller utbudet av arbetskraft med relevanta kompetenser.⁵²

⁵⁰ Se Albertson och Ayles (1996) samt Ayles och Albertson (2006) som båda visar detta empiriskt, och där den sistnämnda studien även pekar på en ökad marknadsintegration över tid (i form av färre kortsiktiga avvikelser från den långsiktiga trenden). Evans (2006) visar – föga förvånande – att de regionala stålskrotpriserna inom USA uppvisar samma relation (dvs kointegration).

⁵¹ Tilton och Guzmán (2016).

⁵² Se bland annat Clagett (2013). I fallet med Kinas tillväxt handlade det också om att gruvindustrin – och egentligen alla analytiker och bedömare – grovt underskattade den tillväxt som kom att ske i Kina från år 2000 och framåt. Åren omkring sekelskiftet var Kinas stålproduktion cirka 125 miljoner ton, och vid denna tidpunkt var bedömningen inom gruvindustrin att denna skulle öka till maximalt 200 miljoner under det kommande decenniet (Humphreys, 2015). I själva verket tog det bara sex år (!) för Kinas stålproduktion att öka till 400 miljoner ton! År 2010 var den 600 miljoner ton, och idag (2021) är den drygt 800 miljoner ton.



Figur 2.3 Reala prisindex för stålskrot respektive järnmalm, 1996–2006 (Index 100=1966)

Källor: Fenton (2007), Reserve Bank of Australia, och U.S. Geological Survey (2005).

Figur 2.3 visar att priset på stålskrot har överlag varit mer volatilt än priset på järnmalm. Motsvarande gäller i de flesta fall även för andra metaller (och råvaror som plast och retur-papper); priserna på de sekundära metallerna tenderar att vara mer volatila än motsvarande priser för metaller baserade på primär produktion.⁵³ Även priserna på sekundära metaller påverkas av samma efterfråge- och utbudsdynamik som beskrivs ovan (se prisökningen för stålskrot efter 2000), men de påverkas naturligtvis även av det faktum att det potentiella utbudet av metallskrot under ett givet år utgör en funktion av tidigare års konsumtion (justerat för de olika produkternas livslängd).⁵⁴

Detaljerade uppgifter om prisutvecklingen för de innovationskritiska metallerna är inte lika tillgängliga. Den övergripande bilden är att priserna på olika primära innovationskritiska metaller har varit betydligt mer volatila än motsvarande priser för bulkmetallerna. Detta gäller exempelvis då vi t ex jämför prisutvecklingen för kobolt med den för aluminium och koppar.⁵⁵ Detta gäller i än högre grad för olika sällsynta jordartsmetaller såsom dysprosium och terbium (det senare en komponent i t ex lågenergilampor); priserna på dessa har ibland ökat med flera multipler på bara några få år.⁵⁶ Såsom påpekats i avsnitt 2.2.1 kan detta till viss del kopplas till att vissa innovationskritiska metaller produceras som biprodukter.

Pristransparensen på marknaderna för återvunna innovationskritiska metaller är mycket låg, bland annat en följd av att återvinningsnivåerna fortfarande är blygsamma (se kapitel 1). I takt med att dessa marknader mognar över tid, är det dock sannolikt att även dessa priser kommer att uppvisa en relativt hög volatilitet. Ibland förekommer argumentet att en ökad återvinning av innovationskritiska metaller kan vara en bra strategi för att

⁵³ Barnett och Crandall (1986) (stål), Blomberg och Söderholm (2009) (aluminium), och Sigman (1995) (bly).

⁵⁴ Westerlund (2012) undersöker prisvolatiliteten på olika sekundära material, och visar bland annat att i fallet med metallskrot finns ingen tendens till ökad prisvolatilitet över tid.

⁵⁵ Tillväxtanalys (2021, Figur 6).

⁵⁶ Naumov (2008).

undvika de kraftiga prisfluktuationer som har observerats för de primära alternativen.⁵⁷ Detta argument faller dock på empiriska grunder; de sekundära metallpriserna är ofta minst lika volatila.

Avslutningsvis är det meningsfullt att kommentera det långsiktiga priset på metaller. På lång sikt är den primära och sekundära produktionen substitut och priset på t ex stålskrot kommer att vara direkt relaterat till priset på järnmalm men justerat för såväl bearbetnings-kostnader samt kvalitetsskillnader. Inte minst kvalitetsaspekten är viktig i de flesta fall. Vi ser t ex en trend mot ökade prisskillnader mellan sekundärt och primärt aluminium; större delen av aluminiumskrotet innehåller legeringsämnen vilket leder till ett 30–40 procent lägre pris jämfört med den jungfruliga råvaran (se vidare kapitel 3).⁵⁸

2.4 Konkurrensen mellan primär och sekundär produktion

I avsnitt 2.2 påpekade vi att utbudet av metallskrot kommer att påverkas av bland annat den ekonomiska tillväxten under tidigare perioder, samt av karaktären på denna i termer av metallintensitet samt de olika produkternas och konstruktioners livslängd. Dessa faktorer påverkar därmed även marknadsandelarna för sekundär respektive primär produktion. Vi inleder detta avsnitt med att diskutera denna dynamik närmare med hänvisning till dagens situation samt utsikterna för metallåtervinning under de kommande decennierna. Därefter följer en diskussion om andra faktorer som påverkar konkurrensen mellan sekundär och primär produktion av metaller, t ex möjligheterna att dra nytta av skalfördelar samt effekter av prisvolatiliteten på marknaderna.

2.4.1 Tillgången på metallskrot vid olika tidsperioder

En viktig barriär för ökad återvinning av inte minst bulkmetaller är idag att tillgången på återvinningsbart material är betydligt lägre än nuvarande användning av metaller. Under de senaste 20 åren har efterfrågan på t ex stål och aluminium varit mycket hög, främst i Kina.⁵⁹ Men de metaller som återvinns idag kommer många gånger från primär produktion som skedde på 1900-talet. Ett exempel är stål där omkring 85 procent av det uppkomna stålskrotet återvinns idag, men där likväl mer än 60 procent av stålproduktionen baseras på jungfrulig järnmalm. Detta är även tydligt i Kina. I Kina har ökad återvinning av inte minst stål varit enormt viktigt för att möta den höga efterfrågan i ekonomin.⁶⁰ Denna efterfrågan har till stor del varit baserad på användning i byggnader, infrastruktur, och maskiner, dvs konstruktioner med långa livslängder. Detta innebär således att det kommer att dröja innan den metallen kommer att vara tillgänglig för återvinning.⁶¹ 2014 gjordes bedömningen att cirka 58 procent av den totala stock av stål som då lagrades i det kinesiska samhället – t ex i byggnader, järnvägar, flygplatser, etc. – adderades under tidsperioden 2000–2010.⁶²

⁵⁷ Se exempelvis Meshram m fl (2019).

⁵⁸ Tillväxtanalys (2021).

⁵⁹ Humphreys (2015).

⁶⁰ Wübbecke och Heroth (2014).

⁶¹ Reuter och Kojo (2012) noterar att uppbyggnaden av en stock av metaller i kinesiska konstruktioner liknar motsvarande utveckling i USA under tiden efter andra världskriget. Drygt 70 procent av den årliga globala produktionen av koppar kanaliseras då till användning i relativt sett långlivade konstruktioner i USA.

⁶² Wübbecke och Heroth (2014).

Men detta för dock också med sig – allt enligt den dynamik som kännetecknar de flesta marknader för metallsrot – att förhållandet mellan utbud och efterfrågan kan komma att se annorlunda ut i framtiden, dvs om cirka tre–fyra decennier då dagens konstruktioner nått sin fulla livslängd. I en studie gör forskare bedömningen att under de närmaste decennierna kommer utbudet av stålsrot att överstiga efterfrågan.⁶³ Stålsrot av något sämre kvalitet används i mycket hög utsträckning i nya byggnader och infrastruktur, och idag kan denna sektor suga upp det mesta av detta skrot. Samma forskare menar samtidigt att inom några decennier kan utbudet av stålsrot komma att överstiga denna efterfrågan. Det kan till och med bli så att utbudet av stålsrot omkring år 2050 överstiger den *totala* efterfrågan på stål i bland annat västra Europa samt Kina.

Detta innebär dock inte per automatik att det återvunna stålet kommer att helt konkurrera ut den primära stålproduktionen. För att detta ska kunna ske måste bland annat skrotet i betydligt högre utsträckning användas för andra ändamål, t ex i nya maskiner samt i biltillverkning, och detta innebär stora utmaningar givet dagens teknologi. Att producera högkvalitativt stål från sekundära källor är svårt eftersom olika spårelement (t ex koppar och tenn) ackumulerats i det återvunna materialet, något som i sin tur sänker kvaliteten på detta.⁶⁴ Inte minst för bilindustrin är det viktigt med tillgång till högkvalitativt specialstål. I kapitel 3 återkommer vi till dessa utmaningar, inklusive vilka incitament de industriella aktörerna har att adressera dessa. Baserat på tidigare studier och egna bedömningar drar Material Economics slutsatsen att 2050 kommer cirka hälften av den globala användningen av stål att kunna baseras på sekundär produktion av stål.⁶⁵ Världsbanken gör liknande bedömningar, och kommer bland annat fram till att omkring 60 procent av den globala användningen av aluminium kan komma att vara baserad på sekundär produktion (jämfört med cirka en tredjedel idag).⁶⁶

2.4.2 Skalekonomi och produktivetsförbättringar

En viktig ekonomisk barriär för ökad metallåtervinning kan också kopplas till att primär metallproduktion gynnas av ekonomiska skalfördelar, dvs låga styckkostnader till följd av produktion i stor skala. Den sekundära produktionen har däremot historiskt dominerats av små, decentraliserade företag, skrothandlare. I de flesta utvecklingsländer, inklusive Kina, står denna småskaliga produktion (insamling) fortfarande för en stor del av den inhemska marknaden.⁶⁷ Trenden är dock att denna nackdel för den sekundära produktionen minskar över tid, bland annat på grund av teknisk utveckling. Denna utveckling är i hög grad på gång sedan decennier. Under stora delar av 1900-talet var återvinningsbranschen överlag arbetsintensiv och low-tech, även i industrialiserade länder som Sverige.⁶⁸ Teknologisk utveckling och politiska styrmedel har dock gradvis lett till investeringar i ny teknologi, stordriftsfördelar och en konsolidering av skrotmarknaden i många länder.⁶⁹ En viktig anledning till att denna trend sannolikt kommer att fortsätta, och kanske till och med förstärkas, är att den stock av potentiellt

⁶³ Pauliuk m fl (2013).

⁶⁴ Savov m fl (2003).

⁶⁵ Material Economics (2021).

⁶⁶ Världsbanken (2020).

⁶⁷ Wübbeke och Heroth (2014) noterar att många av de kinesiska aktörerna på marknaden för stålsrot utgörs av oregistrerade privata företag, som ofta inte lever upp till de nationella myndigheternas miljö- och hälsokrav.

⁶⁸ Bergquist m fl (2019).

⁶⁹ Se även Jones (2017) samt Stokes m fl (2013).

återvinningsbart material som lagrats i samhället under lång tid har vuxit i snabb takt under de senaste decennierna. Detta gör det mer ekonomiskt lönsamt med storskaliga investeringar i återvinningsanläggningar.⁷⁰ Ett exempel på en modern, storskalig återvinning av såväl ädelmetaller som en rad olika innovationskritiska metaller från elektroniska produkter är Umicores anläggning i Belgien. Totalt cirka 8 miljarder kronor har investerats i denna,⁷¹ och årligen återvinns exempelvis 30 ton guld, 37 ton av platinagruppens metaller, 1000 ton silver och totalt 68 000 ton av andra metaller.⁷² Denna produktion av guld motsvarar den årliga volym som den tredje största guldgruvan i världen genererar.

Den teknologiska utvecklingen utgör också en viktig drivkraft till en ökad konkurrenskraft för sekundär metallproduktion. Inte minst det ökade fokuset på att stödja framväxten av miljövänligare, framför allt koldioxidfria, produktionsprocesser gynnar den sekundära produktionen av metaller. Såsom diskuteras i mer detalj i avsnitt 3.1 är utsläppen av inte minst koldioxid generellt sett betydligt högre i den primära produktionen jämfört med den sekundära.

Konkurrensen mellan primär och sekundär produktion kommer på lång sikt att vara starkt avhängig möjligheterna att dra fördelar av skalekonomi i produktionen, men även av produktivetsförbättringar i stort. Historiskt sett har dessa varit omfattande i den primära produktionen, och de har på så sätt bidragit med lägre produktionskostnader trots överlag lägre malmhalter i t ex koppar- och järnmalmsfyndigheter.⁷³ Förutsättningarna för en hög framtida produktivitet i den sekundära produktionen är sannolikt goda, men det finns utmaningar. En del av dessa handlar om att det kan vara svårt att skapa ett kontinuerligt lärande i produktionen; det hänger i sin tur ihop med att utformningen av och innehållet i olika produkter med korta livslängder förändras, och ibland i mycket snabb takt.⁷⁴ I kapitel 4 återkommer vi till utmaningarna med att åstadkomma teknologisk utveckling inom den sekundära metallproduktionen.

2.4.3 Volatila metallpriser

Det ekonomiska värdet av metallåtervinning är naturligtvis viktigt för industrins incitament att investera i sekundär produktion, och detta värde bestäms i sin tur av marknadspriset samt av kostnaderna för att samla in, demontera och förädla metallen. I ett uttjänt fordon utgör t ex stål, aluminium och koppar upp emot 90 procent av det totala metallvärdet,⁷⁵ och relativt stora volymer av dessa metaller kan återvinnas förhållandevis enkelt. För andra metaller är dock det ekonomiska värdet lägre och demonteringen är mer komplex; därför är det i regel ett fåtal ytterligare metaller som återvinns från uttjänta fordon, främst sådana som betingar höga priser, t ex guld, silver, platina och palladium.

Förutsättningarna för investeringar i metallåtervinning kommer dock även att påverkas av osäkerheten om den framtida metallprisutvecklingen. Den prisvolatilitet som karakteriserar de flesta marknader för metallskrot kan verka hämmande på investeringar

⁷⁰ Ayres (1997). Det bör samtidigt noteras att långsiktiga investeringar i metallåtervinningsanläggningar tar tid, t ex på grund av utdragna tillståndprocesser, och detta kan begränsa användningen av metallskrot.

⁷¹ Hagelüken och Corti (2010).

⁷² Fizaine (2020).

⁷³ Tilton (1999).

⁷⁴ Tillväxtanalys (2021).

⁷⁵ Andersson m fl (2019).

i den sekundära produktionen,⁷⁶ speciellt om dessa investeringar är kapitalintensiva och storskaliga. I ljuset av detta förekommer det att prisvolatiliteten tas som intäkt för att marknaderna fungerar ineffektivt och att det behövs en ökad politisk styrning för att stabilisera priserna.⁷⁷ På marknaderna för sekundära metaller finns historiska exempel på sådana interventioner. Ett exempel är hur USA införde priskontroller på stålskrot under andra världskriget samt i samband med Koreakriget.⁷⁸ Det finns även flera exempel på prisstabiliseringsmekanismer kopplade till primära råvaror (t ex tenn).

Det är dock osannolikt att en sådan politisk styrning skulle förbättra dessa marknadens funktionssätt. Ett viktigt skäl till detta är att en hög prisvolatilitet utgör en dålig indikator på marknadseffektivitet; även om en rad olika marknadsmisslyckanden (se kapitel 3) i princip kan bidra till ökade prisfluktuationer är det rimligt att först och främst hänföra dessa pris-svängningar till den interaktion mellan utbud och efterfrågan som ofta sker på i huvudsak transparenta och starkt konkurrensutsatta marknader. Det bör också noteras att i den mån som det finns marknadsmisslyckanden av sådan karaktär som diskuteras i kapitel 3, är dessa produkt- snarare än materialspecifika. Att stabilisera prisnivån på en viss metall blir därför ett alldeles för trubbigt politiskt instrument; eventuella marknadsmisslyckanden bör hanteras mer direkt. Ett annat skäl till att avstå från prisstabiliseringsmekanismer är att erfarenheterna av sådana avskräcker. Ett centralt problem har varit kopplat till svårigheten att bestämma den jämviktsnivå kring vilken priserna borde stabiliseras över tid.⁷⁹ Snarare bör marknadsaktörerna kunna nyttja de olika möjligheter till prissäkring som de finansiella marknaderna redan erbjuder.

Vi har ovan noterat att även priserna på de primära metallerna kan vara volatila, inte minst gäller det de olika innovationskritiska metaller som idag produceras som biprodukter (se exemplet med rutenium i avsnitt 2.2.1). I en framtid är det dock fullt möjligt att vissa av dessa blir så viktiga ekonomiskt för de olika råvaruproducenter att de inte längre utgör biprodukter. I stället kanske de produceras gemensamt med andra metaller (*co-products*). Detta kommer sannolikt att bidra till en reducerad prisvolatilitet då utbudet torde bli mer känsligt för prisförändringar. Detta betyder dock inte per automatik att konkurrenskraften för den sekundära produktionen stärks, detta eftersom produkterna då också behöver bära en större del av det aktuella företagens fasta kostnader.

Den höga prisvolatiliteten som kännetecknar många av de innovationskritiska metaller som produceras som biprodukter kan även bidra till att stärka konkurrenskraften för återvunnen metall. I avsnitt 3.5 beskrivs exempelvis hur användare av industriella katalysatorer (t ex oljeraffinerier, kemifabriker, etc.) tillämpar en affärsmodell där de behåller äganderätten över metallerna i katalysatorerna, främst platina, rodium och palladium, efter att dessa nått sin slutliga livslängd. På så sätt, och givet de stora prisfluktuationerna för dessa metaller, har dessa aktörer starka incitament att bibehålla metallernas ekonomiska värde över tid.⁸⁰

⁷⁶ Se t ex Ackerman (1997) och Watts m fl (2001).

⁷⁷ För en sådan argumentation, se exempelvis Stromberg (2004) samt Lavee m fl (2009).

⁷⁸ Se exempelvis Campbell (1948). Pearce och Grace (1976) diskuterar de planer på en stabiliseringsmekanism (lagerhållning) som fanns för stålskrot i Storbritannien under 1970-talet.

⁷⁹ Radetzki och Wårell (2016).

⁸⁰ Se även Hagelüken (2020).

3. Metallåtervinningens marknadsmislyckanden

I kapitel 2 diskuterade vi metallmarknadernas ekonomiska funktionssätt, och med fokus på några omständigheter som påverkar konkurrensen mellan primär och sekundär produktion. Fokus var på de välfungerande, transparenta och ofta globala marknader på vilka de flesta bulkmetaller, inklusive de som baseras på sekundära källor, handlas. Även marknaderna för vissa av de innovationskritiska metallerna, t ex litium och kobolt, är förhållandevis väl etablerade. Den globala produktionen domineras samtidigt i dessa fall av enstaka länder, och de innovationskritiska metallerna utgör inte sällan biprodukter till olika bulkmetaller. Överlag är dessutom återvinningsgraderna för de flesta innovationskritiska metaller låga, och marknaderna där de sekundära metallerna handlas med är ofta omogna och relativt sett ineffektiva.

I detta kapitel riktar vi uppmärksamheten mot de marknadsmislyckanden som riskerar att underminera förutsättningarna för framväxten av effektiva metallåtervinningsmarknader. En sådan analys är viktig för att förstå behovet av politisk styrning. I kapitlet ger vi några exempel på styrmedel som har använts för att adressera de olika marknadsmislyckandena, men vi ger även exempel på hur marknadens aktörer ibland kan klara av att hantera vissa barriärer på egen hand. Marknaderna för återvinning av bulkmetaller har historiskt stått inför liknande utmaningar som många av de innovationskritiska metallerna står inför idag, och det finns därför en del viktiga lärdomar att dra från framväxten av dessa marknader.

I diskussionen om metallåtervinningens marknadsmislyckanden är det meningsfullt att skilja på två övergripande kategorier av marknadsmislyckanden: (a) negativa externa miljöeffekter där åtgärder för att öka materialåtervinningen – under vissa förutsättningar – kan utgöra ett sätt att internalisera olika miljökostnader (se avsnitt 3.1); samt (b) icke-miljörelaterade mislyckanden som utöver miljöargumentet kan försvåra framväxten av effektiva marknader för sekundära metaller (se avsnitten 3.2–3.5).⁸¹

Det bör även noteras att marknadsmislyckanden även kan hindra marknadsformeringen i samband med utvecklingen av nya hållbara teknologier för återvinning. Den utvecklingen kan vara transformativ. Den kännetecknas med andra ord av en *socioteknisk* förändring där utvecklingen ny teknologi i hög grad sker parallellt med framväxten av nya aktörsnätverk, samverkansformer, och värdekedjor, samt därtill även ackompanjeras av institutionell förändring (t ex ny och reviderad lagstiftning). Förutsättningarna för att åstadkomma en sådan socioteknisk förändring diskuteras separat i kapitel 4.

3.1 Negativa miljöexternaliteter

Det viktigaste motivet till miljöpolitisk styrning i en marknadsekonomi är förekomsten av *negativa externa effekter*, dvs bieffekter av konsumtion eller produktion som drabbar en tredje part och som inte reflekteras i existerande marknadspriser. Sådana effekter uppstår i regel längs hela värdekedjan, dvs såväl uppströms som nedströms. Utvinningen av primära råvaror, inklusive efterföljande bearbetning, kan ofta ha en betydande påverkan

⁸¹ Nicolli m fl (2012) samt Söderholm och Ekvall (2020).

på miljön. Gruvindustrins användning av fossila bränslen, t ex stenkolk, eldningsolja och diesel, leder till koldioxidutsläpp. Utsläpp av kväveoxider är en följd av de sprängämnen som används för att lösgöra malmen och gråberget.⁸² En annan viktig miljöpåverkan är uppkomsten av sura, metallhaltiga lakvatten i gruvavfall som innehåller järnsulfider, vilket kan finnas kvar i hundratals år eller ännu längre i ett visst avfallsupplag. De utvinna metallerna används sedan i andra industrier och i konsumentprodukter med medföljande miljöpåverkan. Vissa konsumentprodukter klassas exempelvis som farligt avfall vilket innebär att de behöver hanteras på ett visst sätt. Utsläpp av miljöfarliga ämnen från avfallsdeponier, inklusive vissa metaller, utgör också ett exempel på negativa miljöexternaliteter.

Sådan miljöpåverkan leder till en situation där de privata kostnaderna (för t ex deponi) är lägre än de samhällsekonomiska kostnaderna. En central uppgift för miljöpolitiken är därför att internalisera – ”synliggöra” – de externa kostnaderna för de enskilda aktörerna genom exempelvis skatter på utsläpp och avfall eller andra former av regleringar (t ex gränsvärden för utsläpp). Dessa styrmedel bör så träffsäkert som möjligt styra bort från den aktuella miljöskadan; en skatt bör exempelvis läggas på varje kilo utsläpp snarare än på produktionsvolymen och gränsvärden för utsläpp vid en enskild industrianläggning bör så långt som möjligt ta hänsyn till den miljöskada som just den anläggningen åsamkar miljön. I Sverige och de flesta andra länder finns redan ett betydande inslag av sådan politik, både i form av skatter samt olika regleringar (t ex sådana som följer av miljöbalksprövningen).

I många situationer är dock kunskapen om olika aktörers effekter på miljön begränsad, och det gör det svårt att implementera en träffsäker miljöpolitik. Det finns många exempel på denna problematik. Ett sådant är då den ekologiska statusen i en vattenförekomst påverkas av beslut tagna av många aktörer i det närliggande området (t ex privata företag, bilister, kommunala reningsverk, och jordbrukare).⁸³ Hur mycket var och en av alla dessa aktörer påverkar miljökvaliteten samt hur deras beteenden kan komma att förändras över tid, är svårt för myndigheterna att kontrollera samt följa upp. Ett annat exempel, med direkt relevans för metallåtervinningens förutsättningar, är hanteringen av uttjänta produkter som innehåller miljöfarliga substanser och material, inklusive metaller. Den miljöpåverkan som orsakas av produkter som blir avfall samt även det beteende som genererar utsläpp i naturen (t ex nedskräpning), bland såväl hushåll som företag, kan ofta vara diffusa och svåra att kontrollera och reglera.⁸⁴ Många produkter, t ex elektronik, produceras i andra länder, och ökad återvinning av material från sådana kan även vara ett sätt att (indirekt) adressera de externa miljökostnader som uppstår i samband med produktion och transport av dessa.

Detta skapar ett behov av att – i varje fall delvis – göra avsteg från principen om teknikneutralitet, dvs att miljöpolitiken ska låta bli att förhålla sig till specifika tekniska lösningar och åtgärder. Ett viktigt exempel på ett sådant avsteg är EU:s sk avfallshierarki (Direktiv 2008/98/EG). Denna anger att avfall i första hand ska förebyggas. I andra hand bör avfallet återanvändas eller materialåtervinnas och i tredje hand energiåtervinnas. Deponi utgör den sista utvägen om inget annat miljömässigt rimligare alternativ kan

⁸² Lindeström (2012).

⁸³ Segerson (1988).

⁸⁴ Walls och Palmer (2001).

identifieras. Tidigare studier visar att denna rangordning utgör en rimlig tumregel,⁸⁵ och Sverige har infört en rad styrmedel som styr i enlighet med avfallshierarkin. År 2000 infördes exempelvis en deponiskatt och 2018 en skatt på avfallsförbränning. Det är samtidigt viktigt att notera att avfallslagstiftningen öppnar upp för avsteg från avfallshierarkin, och i Sverige finns en rad undantag från t ex deponiskatten. Vissa av dessa undantag har mött kritik, bland annat av Naturvårdsverket,⁸⁶ som dock också noterar att andra undantag (t ex för gruvavfall i form av bergrester) är motiverade eftersom deponi då är det mest miljövänliga alternativet.

Ett annat skäl till att stödja sekundär metallproduktion och användning är att mer träffsäkra styrmedel ibland är svåra att implementera – inte nödvändigtvis praktiskt utan – politiskt. Ett relevant exempel är svårigheterna att etablera en effektiv prissättning av utsläppen av koldioxid på global nivå, och på grund av farhågor för sk koldioxidläckage kan enskilda nationer vara obenägna att beskatta sin industri för högt. Studier visar att de globala subventionerna till fossilbaserade industrier har varit – och är fortfarande – betydande.⁸⁷ Detta blir speciellt framträdande om man inte bara tar hänsyn till direkta subventioner utan även till indirekta subventioner i form av skattenedsättningar som fossilindustrin i många länder gynnas av. Internationella valutafonden (IMF) argumenterar exempelvis för att en effektiv prissättning av fossila bränslen skulle leda till 50-procentiga ökningarna i priserna på petroleumprodukter och naturgas.⁸⁸

Den sekundära produktionen av metaller har överlag en lägre klimatpåverkan än den primära, inte minst på grund av en lägre användning av fossilbaserade energikällor. Utsläppen av koldioxid från produktionen av återvunnet stål motsvarar exempelvis enbart cirka 10–38 procent av utsläppen från primär stålproduktion, och motsvarande andel för sekundärt aluminium är 4–20 procent.⁸⁹ Att åstadkomma en effektiv (global) prissättning skulle med andra ord innebära en tydligt ökad konkurrenskraft för den sekundära metallproduktionen jämfört med den primära. Om inte detta kan åstadkommas på politisk väg kan en politik för ökad metallåtervinning utgöra ett intressant och förhållandevis effektivt alternativ.

Även om det finns goda miljömässiga skäl att med politiska medel stödja ökad återvinning av material, inklusive metaller, finns en utmaning i att utforma specifika styrmedel på ett ändamålsenligt sätt. Detta diskuteras närmare i kapitel 5. I korthet visar dock forskningen bl a att en politik som t ex kombinerar en skatt på råvaror eller produkter uppströms med en subventionerad återvinning nedströms (t ex via tillhandahållandet av en infrastruktur för insamling) skapar effektiva incitament för marknadens aktörer.⁹⁰ Producentansvars- och pantsystem ger – rätt utformade – liknande effekter (se vidare avsnitt 5.2).⁹¹ Den forskning som lett fram till dessa slutsatser antar dock (oftast implicit) att existerande marknader för de återvunna materialen fungerar effektivt, dvs utan någon förekomst av andra former av marknadsmisslyckanden.

⁸⁵ Se exempelvis Moberg (2006).

⁸⁶ Naturvårdsverket (2013).

⁸⁷ Se exempelvis Coady m fl (2015), Bast m fl (2015) samt Hogg m fl (2018).

⁸⁸ Coady m fl (2015).

⁸⁹ IRP (2019). De exakta andelarna i dessa intervall kommer att bero på vilka energikällor som använts för att producera den elektricitet som krävs i produktionsprocesserna för såväl primär som sekundär produktion.

⁹⁰ Se exempelvis Walls och Palmer (2001) samt Fullerton och Kinnaman (1995).

⁹¹ Palmer och Walls (1999).

Resterande avsnitt i detta kapitel identifierar och diskuterar ett antal icke-miljörelaterade marknadsmisslyckanden, samt hur dessa kan adresseras – ibland av marknadsaktörerna själv på egen hand men ibland med stöd av politiken.

3.2 Transaktionskostnader

Transaktionskostnader är de kostnader som marknadsaktörerna måste bära för att kunna genomföra transaktioner, t ex bristande pristransparens, kostnader för att identifiera en motpart samt teckna och upprätthålla ett avtal.⁹² Sökkostnaderna kopplade till köpare som vill identifiera potentiella säljare (och vice versa) kan också vara höga. Sådana kostnader finns på alla marknader och skapar ”friktion” i marknadsmekanismen. Det finns samtidigt tecken på att dessa kan vara förhållandevis höga för vissa avfallsfraktioner, och ofta nog höga för att göra den sekundära produktionen mindre attraktiv jämfört med den primära. Det är inte helt enkelt att identifiera förekomsten och storleken på transaktionskostnaderna; de kan ibland vara inbäddade i de priser som betalas för andra tjänster. Studier pekar dock på att höga transaktionskostnader kan vara viktiga barriärer för framväxten av effektivare marknader för sekundära material.⁹³ På många marknader är det svårt att identifiera köpare och säljare på grund av höga sökkostnader. Ett bra exempel är utbudet av byggnads- och rivningsavfall, som typiskt sett är irreguljärt och geografiskt spritt, och där det därför är svårt för köpare och säljare att mötas. Dessa sökkostnader kan vara speciellt höga i återvinningsmarknader som domineras av många små aktörer.⁹⁴ För den mer omfattande återvinningen av de flesta bulkmetaller är dessa kostnader med all sannolikhet mycket låga i förhållande till det totala försäljningsvärdet, och pristransparensen är hög (se avsnitt 2.3). Dessa kostnader kan dock vara betydligt högre för en del mindre frekvent förekommande innovationskritiska metaller (t ex i viss hemelektronik).⁹⁵

Kostnaderna för att genomföra transaktioner försvåras vidare av att det aktuella avfallet ofta är heterogent. Även om båda parterna har goda kunskaper om avfallets egenskaper kan de kostnader som är kopplade till förhandlingen bli höga eftersom varje transaktion är mer eller mindre unik. Allt annat lika leder dessa transaktions- och sökkostnader till en högre marknadsandel för de jungfruliga materialen där motsvarande kostnader normalt är signifikant lägre.

Olika åtgärder kan vidtas för att reducera transaktionskostnaderna. En åtgärd som privata aktörer ofta väljer är att teckna långa kontrakt med leverantörer av metallskrot. På vissa marknader etableras intermediärer, som t ex kan fungera som en inköpsorganisation för ett större antal återvinnare (se t ex om JBF i avsnitt 2.3). Ibland kan dessa intermediära aktörer vara viktiga för säljare och köpare som kanske endast deltar i marknaden temporärt.⁹⁶ De aktiviteter som dessa intermediärer utför sänker inte nödvändigtvis storleken på de totala transaktionskostnaderna; de indikerar att det finns tydliga skalfördelar i sökverksamheten. Relaterat till detta noterar vi nedan (i kapitel 4), att ibland kan statliga aktörer behöva ta sig an rollen som temporära ’nätverksledare’ i

⁹² Coase (1937).

⁹³ Se bland annat OECD (2006) samt Europeiska Kommissionen (1998).

⁹⁴ OECD (2003).

⁹⁵ Se bland annat OECD (2006) för en sådan argumentation.

⁹⁶ Nystrom m fl (2001).

syfte att etablera eller stärka de aktörsnätverk som är centrala för att utveckla ny teknologi inom metallåtervinningsområdet.⁹⁷

Standardisering, ofta med stöd från statliga myndigheter, har också spelat en viktig roll för att reducera de kostnader som är förknippade med förhandlingar på skrotmarknader.⁹⁸ För de flesta bulkmetaller är olika klassificeringar etablerade sedan länge, och dessa utgör en viktig utgångspunkt för prisöverenskommelser (avsnitt 2.3). På den internationella arenan finns exempelvis Institute of Scrap Recycling Institute (ISRI), som utfärdar olika leverans- och klassificeringsbestämmelser för metallskrot och annat återvunnet material.⁹⁹ Denna är viktig men det finns ingen uniform internationell standard. I Sverige dominerar t ex den så kallade *Skrotboken*,¹⁰⁰ som getts ut av JBF under 70 års tid. Den anger bl a bestämmelser för stålskrot rörande föroreningar i skrotet, kontrakt, lastning, och fastställande av skrotklass och vikt, och innehåller en klassificering av stålskrotet i 24 olika kvaliteter. Motsvarande detaljerade klassificering existerar inte för de innovationskritiska metallerna.

3.3 Informationsmisslyckanden: utbudet

Medan marknaderna för flertalet återvunna metaller är effektiva med hög pristransparens och många aktörer, är motsvarande marknader för andra mer komplexa material betydligt tunnare. Information är en väsentlig nyttinghet för etablerandet av effektiva marknader, och marknaderna för återvunna metaller kan hämmas av sk informationsmisslyckanden. När det gäller utbudssidan av marknaden knyter dessa misslyckanden an till att det finns en osäkerhet om det utbudna materialets innehåll, kvalitet och därmed värde.¹⁰¹ Kvaliteten på metallskrot har normalt en mycket högre variation än de metallflödena som är baserade på primär (malmbaserad) produktion. Ibland kan denna osäkerhet vara så pass omfattande att miljöriskerna kopplat till metallåtervinning blir höga. Ett sådant exempel är återvinningen av metall från nedlagda avfallsdeponier; i detta fall har Naturvårdsverket avrått från att främja materialåtervinning på grund av den osäkerhet som är förknippad med exakt vilka material som finns i deponierna.

En viktig problematik är förekomsten av *asymmetrisk information*, det vill säga då en aktör inför en potentiell marknadstransaktion har ett informationsövertag gentemot en annan. Ett exempel är då en köpare inte fullt ut kan bedöma egenskaperna i en given materialström.¹⁰² De ursprungliga tillverkarna har ofta inte heller några incitament att delge information om produkternas egenskaper, bland annat eftersom detta kan gynna deras konkurrenter. Ett exempel är hemelektronikindustrin som kännetecknas av globala värdekedjor, och där information om produkternas metallinnehåll normalt sett inte alls delges de aktörer som verkar nedströms.¹⁰³ Det kan noteras att när handeln med metallskrot utvecklades i Sverige under första halvan av 1900-talet präglades

⁹⁷ Se även Söderholm m fl (2019).

⁹⁸ Under det senaste decenniet har dessutom en rad webbtjänster utvecklats, och dessa har gjort det enklare för köpare och säljare att identifiera varandra och mötas.

⁹⁹ Se den årliga publikationen ISRI (2020) samt Hall m fl (2021).

¹⁰⁰ JBF (2020).

¹⁰¹ Guide m fl (1998) och Compañero m fl (2021).

¹⁰² Nicolli m fl (2012) och OECD (2006), som i sin tur baseras på Akerlof's (1970) banbrytande studie.

¹⁰³ Wilts m fl (2018).

återvinningsmarknaderna, såsom påpekats ovan, av ett stort antal små företag – skrothandlare – som samlade in och sålde metallskrot. Dessa aktörer utnyttjade sitt kunskapsövertag gentemot köparna rörande metallinnehållet i olika legeringar för att göra ekonomiska vinster.¹⁰⁴

Det finns en viktig effektivitetsaspekt på informationsasymmetrier. Då dessa förekommer på marknaden riskerar vi ett utfall där företrädesvis produkter/material med lägre kvalitet bjuds ut på marknaden. Även om köparna har en hög betalningsvilja för material med hög kvalitet kommer säljarna inte att kunna ta ut ett högt pris på grund av det informations-underläge som köparna har.¹⁰⁵ För köparna innebär det ofta en ökad kostnad att bekräfta kvaliteten i det material som säljs, och även små orenheter i utbudet kan i betydande omfattning komma att reducera värdet på materialet. Vad som kännetecknar god kvalitet kommer naturligtvis att variera beroende på material och produkt, och det kan bland annat kopplas till materialets uthållighet, förekomsten av spårämnen och föroreningar, samt hur och för vilka syften det är tänkt att återvinnas (se även avsnitt 3.4).

Historiskt har detta främst varit ett problem i marknaderna för bland annat glas, plast och pappersförpackningar, men inte i lika hög grad för metaller.¹⁰⁶ Den ökade komplexiteten vad gäller metallinnehåll i olika produkter – t ex mobiltelefoner, bilar, och hemelektronik – innebär dock att problematiken ökar även för dessa material. Förekomsten av spårelement, bl a koppar och tenn i stålskrot, kan t ex reducera den återvunna metallens duktilitet, dvs dess förmåga att utsättas för plastisk deformation utan att sprickbildning uppstår.¹⁰⁷ Sådana orenheter kan inte alltid hanteras metallurgiskt.¹⁰⁸ Ett annat exempel på ökad komplexitet är återvinningen av stål baserat på chassin från uttjänta fordon. Dessa innehåller fosfor, titan och niob för att göra dem lättare, men detta försvårar återvinningen.¹⁰⁹

Sannolikheten att säljarna bjuder ut sämre kvaliteter på marknaden kommer att variera, och den beror bland annat på kostnaden för att gömma negativa egenskaper och/eller för att åtgärda dessa. Problemet med "ogynnsamma urval" (adverse selection) på marknader för återvunna material kan vara speciellt omfattande om möten mellan samma köpare och säljare inte är ofta förekommande (och där således inget förtroendekapital mellan dessa har byggts upp). Det är också sannolikt att problemet är mer omfattande på

¹⁰⁴ Bergquist m fl (2019).

¹⁰⁵ Detta illustrerades teoretiskt av Akerlof (1970). Hans resultat kan förklaras med ett förenklat exempel. Ett smältverk vill köpa metallavfall från olika skrotgårdar som erbjuder metallskrot av antingen "hög" eller "låg" kvalitet. Smältverkets ägare kan teckna ett leveranskontrakt med en specifik skrotgård, men vet inte säkert vilken kvalitet som detta kontrakt kommer att leda till. En konsekvens av denna informationsasymmetri är att priset på offerten tenderar att landa någonstans mellan priset på ett kontrakt som leder till "hög" kvalitet och ett som leder till "låg" kvalitet. De skrotgårdar och återvinnare som investerat i bra sortering och fragmentering, och därmed kan erbjuda kontrakt av "hög kvalitet, kommer därmed inte att erhålla ett pris som motsvarar denna höga kvalitetsnivå. Eftersom dessa skrotgårdar då riskerar att inte kunna bära sina egna kostnader kommer de att undvika framtida investeringar i modern sorterings- och fragmenteringsteknologi. På detta sätt finns det en risk att marknaden i slutändan domineras av metallskrot av företrädesvis "låg" kvalitet.

¹⁰⁶ Se exempelvis RDC/PIRA (2003), en studie som utfördes för knappt två decennier sedan på uppdrag av den Europeiska kommissionen.

¹⁰⁷ Pauliuk m fl (2013).

¹⁰⁸ Yellishetty m fl. (2011).

¹⁰⁹ Compañero m fl (2021).

marknader där olika material blandas vid insamlingsstadiet, såsom tenderar att vara fallet med bygg- och rivningsavfall.¹¹⁰

Denna problematik kan hanteras på olika sätt; vissa åtgärder kan ibland initieras spontant av marknadsaktörerna själva medan andra kan behöva involvera statlig inblandning. En möjlig åtgärd är tester och provtagningar (ibland med stöd av standardiserade protokoll). Sådan kvalitetssäkring baseras i hög grad på erfarenhet, som byggts upp under längre tid. I fallet med stålskrot räcker det t ex ofta med visuell inspektion samt kännedom om källan. Om det finns osäkerheter kan prov tas ut för kemisk analys, bland annat bedömningar av skrotets legeringsinnehåll. Såsom påpekas ovan finns det dock sammanhang där sådana test på plats kan vara opraktiska och dyra, speciellt om avfallets innehåll av farliga ämnen behöver undersökas. Komplexiteten i materialet är med andra ord avgörande. Provtagning av rostfritt stålskrot är t ex mer komplext; det är inte homogent och innehållet av krom, molybden samt nickel kommer att påverka priset på detta skrot.¹¹¹

En annan åtgärd är vertikal integration där en återvinnare kan köpa upp det företag som ansvarar för insamling och sortering. Denna strategi har bl a varit vanlig på marknaderna för återvunnet aluminium.¹¹² Även långa kontrakt kan utgöra en effektiv åtgärd eftersom sådana reducerar säljarens incitament att dölja materialets verkliga egenskaper. En aktörs trovärdighet på marknaden byggs ofta upp gradvis över tid; studier har visat att marknaden för stålskrot till viss del har varit uppdelad mellan tillfälliga säljare och de säljare som agerar reguljärt på marknaden.¹¹³ Stålverk har t ex inte möjlighet att minutiöst kontrollera alla skrotleveranser utan förlitar sig på att skrothandlarna med vilka man har långsiktiga kontrakt klarar av att leverera skrot enligt de specifikationer som är överenskomna.¹¹⁴

Det bör även noteras att ibland är osäkerheten om materialens kvalitet lika hög bland alla aktörer; det är med andra ord inte alltid säkert att säljaren vet mer om detta än köparen. Denna situation kan t ex uppstå i de fall där metallerna har varit i användning under lång tid, ibland flera decennier, och är blandade med andra material.¹¹⁵ Ett exempel är återvinning från byggnads- och rivningsavfall, dvs materialströmmar som har varit lagrade i samhället under lång tid och där det vid tiden för byggnadernas konstruktion togs liten hänsyn till framtida återvinning och återanvändning. I Sverige har därför Naturvårdsverket, Boverket samt branschorganisationen Sveriges byggindustrier lanserat gemensamma sk vägledningskampanjer och olika utbildningsåtgärder i syfte att förbättra inventeringarna av material inför rivningar.¹¹⁶ Detta underlättar materialåtervinningen men förbättrar även möjligheterna att identifiera samt omhänderta farligt avfall på ett miljömässigt godtagbart sätt.

¹¹⁰ Se exempelvis European Environment Agency (2019) som framhåller att bristen på rena material försvårar såväl återvinning som återanvändning av byggnads- och rivningsavfall.

¹¹¹ Ekerot (2003).

¹¹² OECD (2006) och Ecotec (2000).

¹¹³ Adant och Gaspart (2002).

¹¹⁴ Compañero m fl (2021).

¹¹⁵ Nordic Council of Ministers (2018) och Graedel (2017).

¹¹⁶ Tillväxtanalys (2021).

3.4 Informationsmisslyckanden: efterfrågan

I det föregående avsnittet diskuterade vi de informationsbrister som är kopplade till materialets egenskaper och förekomsten av spårelement och andra orenheter, men här ska vi lyfta fram betydelsen av ofullständig information om materialets användbarhet för givna syften.¹¹⁷ Det är en sak att känna till kvaliteten på en metallskrotleverans, men en annan sak om detta skrot fungerar för att producera vissa slutprodukter. Betydelsen av detta problem skiljer sig typiskt sett beroende på vilken produktionsprocess som t ex en metall används i; vissa sekundära metaller är så gott som perfekta substitut till de jungfruliga materialen i vissa applikationer men inte alls för andra marknadssegment.

Ett exempel är användningen av stålskrot, som i normala fall handlas på en effektiv och global marknad där material av mycket hög kvalitet kan återvinnas. I vissa tillämpningar uppstår dock osäkerheter om såväl materialets kvalitet som användbarhet. Stål förekommer ofta i legeringar tillsammans med små mängder (högvärdiga) metaller. Dessa legeringar bidrar till att ge produkter önskvärda attribut, men det leder också, som vi påpekat ovan, till ett problem då stålet ska återvinnas efter produkterna har nått sin fulla livslängd. Stålets värde sjunker. Ett exempel är koppar som ofta blandas med stål i återvinningsprocessen. Det kan t ex handla om koppar i elektriska kablar som finns kvar då metallerna från en bil ska återvinnas.¹¹⁸ Vissa kunder har krav på kopparhalten som ibland kan vara svåra att nå. Detta är ett skäl till att en del stålskrot framförallt har använts i relativt sett lågvärdiga applikationer, t ex för konstruktionsändamål. I framställningen av vissa stålprodukter, t ex svetstråd och en del tunnplåtsapplikationer, är dock kraven på kopparinnehåll speciellt strikta, och denna produktion är därför baserad på primär produktion.¹¹⁹ Även tenn och aluminium förekommer i olika legeringar, och i dessa fall kan metallerna inte alltid återvinnas för samma ändamål. I stället tenderar det mer lågvärdiga aluminiummaterialet att användas i produktionen av motorblock medan de rena aluminiumströmmarna kan ha betydligt bredare användningsområden.

Ofta minskar osäkerheten om metallskrotets användbarhet över tid, detta i takt med att återvinnarna lär sig mer om hur materialen fungerar i deras produktionsprocesser. Detta har i hög grad skett i exemplen med stål och aluminium ovan. I vissa andra fall kan dock informationsproblemen underminera etablerandet av nya återvinningsmarknader. Tidigare studier visar exempelvis att informationsmisslyckanden på användarsidan har varit vanligt förekommande då det gäller t ex bygg- och rivningsavfall.¹²⁰ Vissa materialströmmar är orena och kanske även innehåller farliga substanser som kan vara dyra att avlägsna på ett säkert sätt.¹²¹ Även stålskrot kan skapa osäkerheter på användarsidan; vissa spårelement är önskvärda i viss tillverkning kan inte tolereras alls i andra.¹²² Överlag kan en relativt liten osäkerhet om ett materials värde få stora effekter även på efterfrågan. En del konsumenter kan vara ovilliga att ta risker, och emellanåt kan produkter som är tillverkade av återvunnet material felaktigt uppfattas som opålitliga.

¹¹⁷ Nicolli m fl (2012) och OECD (2006).

¹¹⁸ Material Economics (2020).

¹¹⁹ Det skrot som används i masugnsprocessen behöver också vara av hög kvalitet (se t ex Hall m fl, 2021).

¹²⁰ Reid (2003).

¹²¹ European Environment Agency (2019).

¹²² Rod m fl (2006) och Compañero m fl (2021).

Bland de åtgärder som kan vidtas för att hantera denna form av informationsmisslyckande finns möjligheten att införa olika generiska produktstandards, dvs standards som är lika oavsett om produkten är tillverkad av jungfruligt eller återvunnet material. Detta är en åtgärd som rekommenderas i EU:s Construction Products Directive.¹²³ Erfarenheterna från stålskrotmarknaden illustrerar i sin tur hur skrotklassificeringarna kan utformas som en direkt följd av stålproducenternas erfarenheter av skrotanvändning i tillverkningen av olika produkter. Om en stålproducent är bekymrad över hur specifika spårelement och legeringar påverkar kvaliteten på dess slutprodukt, kan denna information inkorporeras i klassifikationerna av olika skrotkvaliteter (se ovan om den sk *Skrotboken*). På den svenska marknaden har t ex information om innehåll av koppar, fosfor och mangan inkorporerats på detta sätt.¹²⁴

De erfarenheter som återvinnare bygger upp kring olika material kan utgöra en kollektiv nytthet, dvs andra användare kan delvis tillgodogöra sig dessa och dra fördel av dem i sin egen verksamhet. Detta kan t ex motivera statligt stöd till pilot- och demonstrationsprojekt som testar användbarheten för olika skrotkvaliteter. Sådant stöd har tillämpats i ett flertal europeiska länder (t ex England, Holland och Danmark).¹²⁵

3.5 Negativa externa effekter i produktlivscykeln

Den kategori externa effekter som diskuteras i detta avsnitt uppstår då en produkt tillverkas på ett sätt som ökar kostnaderna för att återvinna materialet i produkten i en annan sektor eller industri. Det existerar i dessa fall inte något sätt för t ex metallåtervinnare att skapa incitament för tillverkarna att ändra produktens utformning och återvinningsbarhet. Det är viktigt att notera att denna typ av externalitet är väsensskild från de externa miljökostnader som de flesta avfallspolitiska styrmedel försöker hantera. Såsom påpekas nedan skapar dock dessa styrmedel, t ex producentansvaret för förpackningsavfall, ofta förhållandevis svaga incitament till förbättrad återvinningsbarhet.

Problemet med bristande återvinningsbarhet är vanligt på metallmarknaderna. En väsentlig del av den metall som samlas in kan inte återvinnas på grund av olika orsaker. I många produkter blandas den huvudsakliga metallen med andra metaller som är svåra eller (med nuvarande teknologier) omöjliga att separera vid återvinningen. På detta sätt reduceras kvaliteten på materialet, och återvinningen försvåras eller omöjliggörs. Det selen som är inbäddat i produkter, t ex i form av glas, gummi eller plast, är idag inte återvinningsbart.¹²⁶ I vissa fall kan även politisk lagstiftning bidra till produkter och byggnadskonstruktioner som försvårar återvinning i senare led. Den Europeiska miljöbyrån (EEA) har exempelvis pekat på hur olika länders lagstiftning kring byggbestämmelser har bidragit till detta.¹²⁷

Det är viktigt att påpeka att det inte alltid behöver vara samhällsekonomiskt försvarbart med en produktdesign som underlättar materialåtervinning i senare; ofta existerar en avvägning mellan en utformning som ökar produktens värde på marknaden å ena sidan

¹²³ Collins and Nixon (2003).

¹²⁴ Compañero m fl (2021).

¹²⁵ OECD (2006).

¹²⁶ Ciacci m fl (2015).

¹²⁷ European Environment Agency (2019).

och en som ökar återvinningsbarheten å den andra. Den viktiga poängen är att ofta finns starka *incitament* att åstadkomma det förstnämnda men mycket få incitament att ta hänsyn till det sistnämnda.¹²⁸

Ofta framhålls att denna brist på incitament för återvinningsbarhet utgör ett "tekniskt" hinder,¹²⁹ och att det därför krävs forskning kring nya teknologier och processer. Statens huvudsakliga roll på detta område skulle då vara att (del)finansiera sådan forskning och demonstration för förbättrad produktdesign och ökad återvinningsbarhet. Även om detta kan vara nog så viktiga statliga åtgärder (se även kapitel 4), hanterar de dock inte det underliggande problemet med negativa externa effekter i produktlivscykeln. Forskningen kan givetvis bidra till att tillhandahålla ny teknologi men tillverkarna av de produkter som innehåller potentiellt återvinningsbara metaller måste också ha incitament att implementera dessa teknologier.

Det finns exempel på hur denna typ av negativa externa effekter kan internaliseras vid en direkt transaktion mellan den som tillverkar produkten och den som ska återvinna den (eller vid en situation där materialflödena sker inom ett vertikalt integrerat företag). Ett svenskt exempel på detta är hur återvinningsföretaget Stena Recycling har samarbetat med biltillverkare. Investeringar i fragmenteringsanläggningar har skett i nära dialog med inte minst Volvo AB.¹³⁰ Detta informationsutbyte har varit viktigt inte bara för utformningen av dessa anläggningar utan även för biltillverkarnas produktionsprocesser och materialval. I en ekonomisk-historisk uppsats påpekas att detta innebar framväxten av en affärsmodell där de samverkande företagens ingenjörer gavs stort utrymme att tillsammans identifiera effektiva lösningar för ökad återvinningsbarhet, inklusive processinnovation.¹³¹

Ett annat relevant exempel är återvinning av metall – framförallt platina, palladium och rodium – från katalysatorer. Katalysatorer används i bilar men även inom processindustrin (t ex raffinaderier) för rening av gaser och vätskor. Tidigare har förbrukade katalysatorer fått sändas iväg för destruktion, en förhållandevis dyr hantering.¹³² Under de senaste decennierna har dock återvinningen av metaller från katalysatorer ökat betydligt och den når ibland återvinningsgrader som närmar sig 90 procent.¹³³ Detta beror, såsom noterades i avsnitt 2.4.3, på framväxten av en affärsmodell där användare av katalysatorer, t ex en kemifabrik, samverkar med ett återvinningsföretag. Detta företag utför återvinningen som en tjänst åt kemifabriken, som dock behåller äganderätten till metallen genom hela denna process. På detta sätt blir metallåtervinningen en integrerad del av affärsmodellen.¹³⁴ En studie från 2019 visar att utav den totala användningen av platina i oljeraffinaderisektorn samt den kemiska processindustrin står den återvunna platinametallen för 83 respektive 72 procent.¹³⁵

¹²⁸ Hagelüken och Corti (2010) hänvisar till en enkätundersökning av globala producenter av halvledare. Den visade att hälften av dessa var omedvetna om att det guld som finns elektroniska produkter representerar en signifikant andel av det värde som kan utvinnas ur elektroniskt avfall.

¹²⁹ Se exempelvis Naturskyddsföreningen (2021).

¹³⁰ Stena Metall (1996).

¹³¹ Bergquist m fl (2019).

¹³² Eriksson (2001).

¹³³ UNEP (2013).

¹³⁴ Hagelüken m fl (2016).

¹³⁵ Rasmussen m fl (2019).

Denna typ av samarbeten illustrerar hur ökad återvinning kan växa fram mer eller mindre på frivillig basis utifrån ömsesidigt fördelaktiga ekonomiska transaktioner mellan företag (så kallad business-to-business, B2B). Detta sätt att internalisera den externa effekten som kan kopplas till återvinningsbarhet är ett exempel på det så kallade Coase-teoremet. Detta teorem anger att i en situation där en parts (t ex ett företags) aktivitet har en negativ extern effekt på en annan part leder frivilliga överenskommelser till effektiva utfall, men endast om: (a) det inte finns några transaktionskostnader (eller att dessa i varje fall är tillräckligt låga); samt att (b) äganderätterna är väldefinierade.¹³⁶ I de ovan nämnda exemplen är dessa förutsättningar förhållandevis väl uppfyllda.¹³⁷

I många andra sammanhang är det dock betydligt svårare för de inblandade parterna att internalisera de negativa externa effekterna, inte minst då det gäller metallåtervinning från produkter som ägs (eller har ägts) av privata konsumenter (business-to-consumer, B2C). Hemelektronik utgör ett viktigt exempel. Den typ av samarbeten som finns mellan olika biltillverkare och återvinningsföretag liknar exemplet med industriella katalysatorer som beskrevs ovan. Metallåtervinningen från bilkatalysatorer är dock mer komplex och svår-kontrollerad; katalysatorerna måste samlas in från ett stort antal användare och de flyttas till nya platser i samband med ägarbyten.¹³⁸ Trots detta har dessa aktörer lyckats med att åstadkomma ökad återvinning av metaller från bilkatalysatorer, inte minst den så kallade platinagruppens metaller, främst palladium och rodium, men även en handfull sällsynta jordartsmetaller.¹³⁹ En viktig förutsättning för återvinningen av dessa innovationskritiska metaller har varit deras höga ekonomiska värden.¹⁴⁰ Detta gäller även guld och silver som, tillsammans med bland annat kobolt, molybden och mangan, återvinns från bl a fordonens smörjmedel och magnetiska komponenter.¹⁴¹

De starkaste incitamenten för återvinningsbarhet kommer att genereras om återvinnaren känner till vilket företag som sålt de produkter som den handhar; men på en marknad för konsumentprodukter är de administrativa kostnaderna för att implementera ett sådant förfarande sannolikt mycket höga. Transparensen i metallflödena är låg (bland annat på grund av internationell handel), och metallen byter ägare vid varje ekonomisk transaktion. I de fall där vi kan förvänta oss en hög återvinningsgrad från konsumentprodukter även i frånvaro av politisk styrning handlar det, såsom påpekas ovan, normalt om metaller med höga ekonomiska värden, t ex guld och silver i smycken.¹⁴² Men höga priser är dock inte alls någon garanti för att produkttillverkarna

¹³⁶ Coase (1960).

¹³⁷ Exempel finns även från andra industrier, t ex då återtillverkare satte press på koptatortillverkaren Xerox att börja återvinna uttjänta bläckpatroner. Företagets arbete med att åstadkomma detta inkluderade förändringar i produktens utformning (Murray, 1995).

¹³⁸ Hagelüken m fl (2016).

¹³⁹ Hagelüken (2014), UNEP (2013) och Andersson m fl (2017).

¹⁴⁰ Det bör dock noteras att även i fallet med platinagruppens metaller i bilbatterier sker korrosionsförluster på grund av nötning, vibrationer och otillräckligt underhåll (Ciacci m fl., 2015). Detta reducerar det ekonomiska värdet av metallåtervinning. Det finns även en problematik kopplat till att många bilar som i praktiken nått sin livslängd lämnar Europa, vilket ofta innebär en mindre effektiv (och ofta hälso- och miljöfarligare) återvinning (European Parliament (2017) (se även kapitel 5 angående den rättsliga dimensionen av detta problem).

¹⁴¹ Andersson m fl (2017).

¹⁴² Hagelüken m fl (2016).

har tillräckliga incitament att ta hänsyn till återvinningsbarhet av de metaller som ingår i produkterna.

3.6 Avslutande kommentarer

I detta kapitel har vi identifierat och diskuterat ett antal marknadsmisslyckanden som potentiellt kan försvåra framväxten av mer omfattande och effektivare marknader för metallskrot. För många bulkmetaller som handlas i stora volymer har en del av dessa hinder överkommit, ibland som ett resultat av marknadsaktörernas egna initiativ men även ofta som ett resultat av politiska styrmedel. Återvinningsgraderna är idag mycket låga för de innovationskritiska metallerna, och dessa aktörer samt politiken behöver finna vägar för att i högre grad än idag adressera och överkomma dessa marknadsmisslyckanden på ett träffsäkert sätt. Ett viktigt medskick från kapitlet är att förekomsten av misslyckanden samt förutsättningarna för att överkomma dessa skiljer sig sannolikt åt beroende på metall och – inte minst – produkt. Detta gäller även den roll som politiska styrmedel kan – och bör – ha.

I många fall krävs även teknologisk utveckling som gör det enklare att sortera ut metaller från olika uttjänta produkter likväl som att tillverka produkter som underlättar återvinning i senare led.¹⁴³ I nästa kapitel diskuterar vi de specifika hinder och marknadsmisslyckanden som påverkar förutsättningarna för sådan teknologisk utveckling, samt den roll som staten kan spela för att överkomma eventuella marknadsmisslyckanden.

¹⁴³ Nicolli m fl (2012) samt Wilts m fl (2018).

4. Teknisk utveckling och förutsättningar för transformativ förändring

Att återvinningen av innovationskritiska metaller, t ex litium från bilbatterier, fortfarande är på en låg nivå beror bland annat på att det idag saknas effektiva teknologier för t ex demontering och separering av dessa metaller.¹⁴⁴ Ett exempel är avsaknaden av en automatiserad och kommersiellt gångbar teknologi för demontering av elektroniska komponenter. Här behövs fortfarande därför manuell demontering. Den teknologiska utvecklingen är också viktig för att underlätta framtida metallåtervinning från komplexa produkter och materialflöden. Ytterligare ett område där det behövs mer forskning och innovation handlar om möjligheterna att kunna spåra produkter över livscykeln och koppla detta till en databas av produkternas innehåll och egenskaper. I detta kapitel diskuteras en del förutsättningar för att åstadkomma sådan utveckling.

En viktig utgångspunkt är att det finns en rad barriärer och marknadsmisslyckanden även på detta område. Den marknadsdrivna teknologiska utvecklingen kan t o m ibland försvåra de ekonomiska förutsättningarna för ökad återvinning av innovationskritiska metaller. De nya produkterna innehåller ett stort antal metaller i komplexa legeringar, även kombinerat med andra material, och dessa sammansättningar kan ibland förändras snabbt i samband med produktinnovation.¹⁴⁵ I elektronik- och mobiltelefonindustrin finns t ex en stark drivkraft att introducera mindre och mindre komponenter (bl a baserat på nanoteknologi). Detta illustrerar ett dilemma i den cirkulära ekonomin. Strävan efter att sänka kostnaderna och öka produkternas prestanda kan t ex göra att företagen investerar i förbättrad material-effektivitet, något som i sin tur leder till tunnare, lättare och mer komplexa produkter men på bekostnad av lägre metallkoncentrationer och högre kostnader för återvinning.¹⁴⁶ Vissa studier har, bl a baserat på analyser av patentdata, pekat på en vikande innovationsaktivitet inom återvinnings- och avfallssektorn.¹⁴⁷

Detta kapitel inleds med att kort beskriva förutsättningarna för s k *socioteknisk* förändring på hållbarhetsområdet, dvs där utvecklingen av ny grön teknologi i hög grad sker parallellt med framväxten av nya aktörsnätverk, samverkansformer, och värdekedjor, samt därtill även ackompanjeras av institutionell förändring (t ex ny och reviderad

¹⁴⁴ Hall m fl (2021), Ljunggren Söderman och Ingemarsdotter (2014), van der Have (2017) och Arab (2017).

¹⁴⁵ Ciacci m fl (2015).

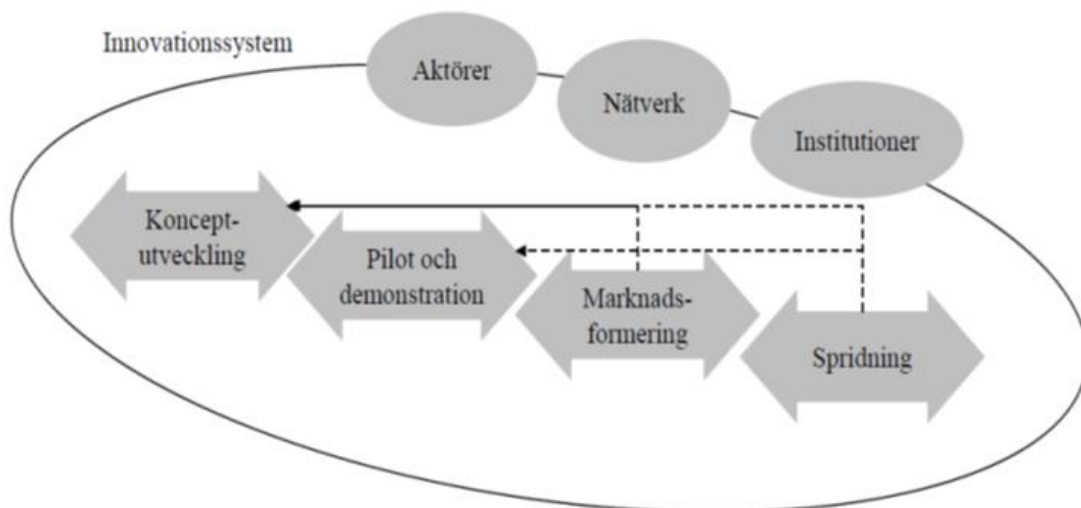
¹⁴⁶ Se exempelvis Hagelüken m fl (2016) samt Adie m fl (2017) som gör en analys av detta i anslutning till produktionen av tryckta kretskort. Denna problematik uppmärksammas även av Söderholm och Tilton (2012) samt Söderholm (2016), som också pekar på riskerna med ett för ensidigt fokus på materialeffektivitet. Då resurseffektivitet är ett mått på graden av hushållning med knappa resurser bör det definieras som material- och energiproduktivitet, det vill säga på samma sätt som vi definierar arbetsproduktivitet (SOU 2001:2). Sådana mått – såsom produktion per ton insatsmaterial – är samtidigt partiella, och en produktivitetssökning för material eller energi innebär inte nödvändigtvis en mer effektiv hushållning totalt sett (s k total faktorproduktivitet). Höga målsättningar för materialproduktiviteten kan t ex innebära stora insatser av fysiskt kapital och energi.

¹⁴⁷ Se exempelvis Wilts m fl (2018).

lagstiftning). Detta representerar med andra ord mer genomgripande förändringar av marknaderna än de som beskrevs i kapitel 3, och det innebär i sin tur att gränsdragningen mellan vilka roller staten respektive marknadens aktörer bör ta för att åstadkomma sådana förändringar är svår. I kapitlet diskuteras sedan vilka potentiella marknadsmisslyckanden och barriärer (ibland av politisk och institutionell karaktär) som kan leda till bristande incitament till teknologisk utveckling bland de privata aktörerna. Kapitlet avslutas med en *generell* diskussion om behovet av styrmedel, samt några av de utmaningar som politiken behöver adressera.

4.1 Ett innovationssystemets framväxt: utgångspunkter

Figur 4.1 är en enkel illustration av hur utvecklingen av ny teknologi sker i flera iterativa steg, från grundläggande kunskapsutveckling (via FoU), optimering, uppskalning och vidareutveckling (t ex i pilotanläggningar), marknadsformering samt slutligen kommersiell spridning och användning på marknaden. Marknadsformering syftar i detta sammanhang på att marknader för ny, radikal teknologi inte existerar från början utan måste skapas i samspel mellan kunder, leverantörer, forskning och utveckling samt institutioner i termer av lagar och regler.¹⁴⁸ Centralt i denna modell är utöver teknologiutvecklingsprocessens olika faser även de återkopplingarna som ofta sker mellan dessa faser.



Figur 4.1 Den teknologiska utvecklingens faser och förutsättningar

Källa: Baserad på IEA (2015).

Viktiga återkopplingar finns mellan alla steg, inte minst mellan marknadsformering, pilot och demonstration samt grundläggande FoU (konceptutveckling). De problem som uppstår i uppskalningen och användningen av den nya teknologin kan exempelvis ge upphov till ett behov av FoU. En viktig komponent i detta är det lärande som kunder, teknikleverantörer och forskare bidrar till utvecklingen på olika sätt. Två specifika

¹⁴⁸ Grunderna för denna modell lades bl a i Rosenberg (1983) samt Nelson och Winters (1982) arbeten som bidragit till att öka förståelsen för hur innovationsprocesser ofta utgör iterativa processer mellan forskning, utveckling och marknaden. Dessa arbeten har i sin tur lagt grunden för den s k innovationssystemslitteraturen samt det som idag ofta benämns transitionsforskning (se t ex Markard m fl (2012) samt Köhler m fl (2019) för översikter).

lärprocesser som ofta lyfts fram i litteraturen är "learning by doing" och "learning by using". Den förstnämnda avser det lärande som uppstår i produktionen allteftersom den skalas upp; större volymer innebär större investeringar i allt effektivare processer och att skalfördelar kan utnyttjas. "Learning by using" avser det lärande som i samband med användandet av slutprodukterna, dvs då kunder ger sin feedback och kommer på nya sätt att förbättra dessa och/eller integrera dem i sin vardag och/eller i existerande produktionsprocesser. Sådana lärprocesser leder bl a till att pris/prestanda-relationen för nya teknologier kan förbättras, och att det skapas bättre förutsättningar för en vidare spridning genom att nya marknader och applikationsområden öppnas upp.¹⁴⁹

En annan central komponent i den enkla modell som illustreras i Figur 4.1 är den täta interaktionen som ofta sker mellan de aktörer, nätverk, institutioner som är involverade i processen. För etablerade teknologier har dessa interaktioner i regel hunnit etablerats under lång tid men, som antyds ovan, är motsvarande interaktioner betydligt mindre utvecklade i fallet med nya teknologier. Detta riskerar att snedvrider konkurrensen mellan de etablerade och de nya teknologierna och industrierna, t ex mellan primär och sekundär produktion av metaller. Utvecklingen blir "stigberoende" eftersom den existerande industrins incitament för inkrementell (stegvis) innovation ofta är hög, och de existerande institutionerna, dvs såväl formella som informella regler, ofta kan ha utvecklats i syfte att gynna just dessa industrier.¹⁵⁰ I avsnitt 4.3 kommenterar vi kort detta i anslutning till förutsättningarna för en expanderande sekundär produktion av metaller.

För att undvika den ibland snedvridna konkurrensen mellan existerande och framväxande teknologier behöver innovationer av mer radikal natur behöva få "ta fäste" i olika typer av "nischmarknader". Dessa fyller en viktig funktion genom att de skapar ett skyddat utrymme där teknologiutvecklarna kan få återkoppling på hur teknologin fungerar i ett kommersiellt sammanhang. Med andra ord skapas en möjlighet att för denna att utvecklas i samspel med ett begränsat antal kunder.¹⁵¹ Nischmarknader kan uppstå naturligt, t ex genom att vissa kunder har specifika behov som inte kan lösas på annat sätt; ett välkänt exempel är användningen av solenergilösningar i rymdfarkoster. Andra nischmarknader uppstår i stället som ett resultat av en medveten politik, som t ex har som mål att ge ny grön teknologi en chans att växa sig konkurrenskraftig gentemot de etablerade alternativen.

I de två kommande avsnitten diskuteras olika marknadsmisslyckanden och barriärer som kan försvåra utvecklingen samt introduktionen av – framförallt grön – teknologi. Först diskuteras detta utifrån de ekonomiska incitament som möter industriella aktörer som vill göra sådana investeringar medan avsnittet därefter fokuserar på institutionella barriärer. I båda avsnitten diskuterar vi i vilken utsträckning dessa problem existerar då det handlar om framväxten av teknologier som möjliggör en ökad och mer effektiv återvinning av metaller (även från mer komplexa produkter).

¹⁴⁹ Se exempelvis Thompson (2010).

¹⁵⁰ Denna problematik med så kallade "incumbent industries" beskrivs inom ramen för flera forskningsfält, bl a nationalekonomi (t ex Acemoglu m fl, 2012), företagsekonomi (t ex Smink m fl, 2015), samt transitionsforskning (t ex Geels, 2004).

¹⁵¹ Kemp m fl (1998).

4.2 Marknadsmislyckanden och teknologitveckling

Styrmedel som syftar till att öka materialåtervinningen, t ex producentansvar, leder inte nödvändigtvis enbart till ökade återvinningsnivåer utan kan även stimulera till teknisk utveckling som bidrar till att möjliggöra och underlätta sådan återvinning. Forskningen har t ex visat att nationella styrmedel har haft positiva effekter på teknologiska innovationer kopplat till hanteringen av uttjänta fordon i Europa.¹⁵² Ett exempel på ett sådant styrmedel är det svenska producentansvaret för uttjänta bilar som infördes i begränsad form 1998 och sedan i utökad form 2007. Såsom påpekats ovan finns dock marknadsmislyckanden som kan hänföras specifikt till förutsättningarna för teknologisk utveckling, och i detta avsnitt diskuteras två potentiella mislyckanden.

Det *första* har att göra med att ny teknologisk kunskap ofta utgör en s k kollektiv nyttighet. En kollektiv nyttighet kan efter att den väl tillhandahållits användas samtidigt av flertalet aktörer till en låg kostnad. Ett företag som utvecklar sådan ny kunskap kan med andra ord inte tillgodogöra sig alla fördelar av sin investering i t ex FoU, utan dessa "spiller över" till andra aktörer. Den privata avkastningen av investeringar i ny kunskap blir därför lägre än den samhällsekonomiska avkastningen, och incitamenten att generera sådan kunskap blir därmed för låga. Sådana positiva externa effekter kan uppstå som ett resultat av FoU under konceptutvecklingsfasen men även som ett resultat av olika lärandeprocesser under den s k marknadsförmeringsfasen (se ovan). Detta lärande leder till en kontinuerlig effektivisering och prestandaökning i exempelvis nya produktionsprocesser och produkter.

Denna typ av "kunskapsläckage" existerar naturligtvis i många industrier, och en viktig fråga för oss är huruvida dessa är speciellt framträdande i metall- och mineralindustrin, inklusive återvinningsföretagen.¹⁵³ Ett antal faktorer talar för att denna industri generellt har underinvesterat i ny kunskapsutveckling. Överlag har mineral- och metallbranschens FoU-intensitet varit låg, t ex jämfört med andra industrisektorer såsom olja, gas, papper och massa.¹⁵⁴ Ett skäl är att kunskapsläckage ofta är framträdande i fallet med komplexa teknologier och produktionsprocesser, t ex sådana som bygger på ett stort antal komponenter med tillhörande expertis. Detta gör det i sin tur mindre meningsfullt att patentera nya innovationer i processindustrier. Ett annat skäl till de svaga incitamenten till FoU är att för de flesta företag i metallindustrin är potentialen för produktdifferentiering låg.¹⁵⁵

Det är givetvis svårt att generalisera utifrån de förutsättningar som gäller i metall- och mineralindustrin i sin helhet; i en framtid med betydligt högre återvinningsgrader för de innovationskritiska metallerna kan möjligen förutsättningarna för kunskapsläckage komma att se annorlunda ut. På samma gång är det svårt att se varför detta skulle bli fallet. Såsom påpekats ovan är även en effektiv sekundär metallproduktion beroende av komplexa och storskaliga produktionsprocesser, och där det ofta krävs affärsmodeller som bygger på täta samarbeten mellan flera aktörer med olika kompetens. En möjlig förändring är att andelen små företag med specialistkompetens (t ex kopplat till specifika

¹⁵² Nicolli m fl (2012).

¹⁵³ Att den samhällsekonomiska avkastningen på investeringar i teknologisk utveckling är hög innebär även att *alternativkostnaden* för att stödja en viss utveckling i en viss sektor också blir relativt hög.

¹⁵⁴ Filippou och King (2011) och Hitzman (2002).

¹⁵⁵ Här åsyftas naturligtvis inte de produkter i vilka många metaller är inbäddade (där är produktdifferentiering i regel hög), utan t ex på de olika skrotkvaliteter som återvinningsindustrin producerar och säljer.

metallurgiska metoder) ökar. Tidigare forskning visar dock att förekomsten av kunskapsläckage kan vara frekvent för små företag som samverkar med större företag, detta eftersom det mindre företaget kan ha svårt att försvara sina immateriella tillgångar gentemot det större.¹⁵⁶

Det *andra* marknadsmisslyckandet handlar om att privata aktörer är ovilliga att acceptera investeringsrisker av en sådan omfattning som är önskvärd utifrån ett samhällsekonomiskt perspektiv. Flera privata investerare tillämpar normalt avkastningskrav som gör att sådana investeringar blir omöjliga – eller mycket svåra – att räkna hem. Med risk avses här risker kopplad till den teknologi som utvecklas, exempelvis rörande framtida uppskalning och optimering av teknologin. Riskerna kan också vara marknadsrelaterade, och handla om den framtida marknads storlek, vilka produkter som kommer att efterfrågas, samt formerna för arbetsdelningen mellan olika aktörer i värdekedjan. En tredje typ av risk berör politiska målkonflikter och den framtida utformningen av politiska styrmedel och institutioner;¹⁵⁷ dessa risker är typiskt sett framträdande för ny grön teknologi där olika politiska styrmedel är viktiga för att internalisera externa miljökostnader. De finansiella aktörerna på kapital-marknaderna (t ex låneinstituten) kan ha svårigheter att bedöma dessa risker, inte minst på grund av en avsaknad av empirisk information och data baserat på vilka de kan göra adekvata riskbedömningar.¹⁵⁸

Metallåtervinningssektorn har några egenskaper som gör att det kan bli svårt för de privata aktörerna att ta sig an höga långsiktiga investeringsrisker. Det är t ex uppenbart att de risker som möter olika nya teknologier kommer att skilja sig åt, och de är typiskt sett lägre för teknologier som är nära att kommersialiseras än för mer mogen teknologi.¹⁵⁹ Den teknologiska utveckling som krävs för att förbättra de produktionsprocesser som krävs för effektiv metallåtervinning från komplexa produkter, t ex genom automatisk demontering, är ofta på konceptutvecklingsstadiet och behöver verifieras, optimeras och skalas upp.¹⁶⁰ Teknologier med hög komplexitet, t ex sådana som bygger på ett stort antal komponenter med tillhörande expertis, tenderar också att möta relativt höga risker, och effekterna av höga risker kommer i sin tur att vara speciellt negativa i samband med kapitalintensiva investeringar.¹⁶¹

Betydelsen av höga risker inom hållbarhetsområdet understryks ytterligare av den kontext i vilken sådana investeringar sker: en mogen marknad, stor osäkerhet kring teknikval, samt osäkerhet kopplat till de politiska styrmedlen under investeringshorisonten. Forskare pekar också på att förekomsten av *både* miljöexternaliteter och innovationsrelaterade marknads-misslyckanden förstärker behovet av politisk styrning för att stödja teknologiutvecklingen. Detta blir speciellt

¹⁵⁶ Se exempelvis Lerner (2010) och Stern m fl (2013).

¹⁵⁷ Hellsmark m fl (2016).

¹⁵⁸ Se Neuhoff (2005) samt Lehmann och Söderholm (2018) för diskussion om detta kopplat till framväxten av förnybara energikällor. Det finns även forskning som argumenterar för att även i de fall där kapitalmarknaderna fungerar effektivt kan det finnas incitamentsproblem (s k principal-agentproblematik) på företagsnivån (se t ex Stein, 1989). Dessa leder i sin tur till ett för starkt fokus på korta- kontra långa investeringshorisonter.

¹⁵⁹ Popp m fl (2013).

¹⁶⁰ Se exempelvis Reck och Graedel (2012) samt McCarthy och Börkey (2018).

¹⁶¹ Fischer m fl (2012).

viktigt då centrala styrmedel som syftar till att internalisera externa miljökostnader inte finns på plats eller är ineffektivt utformade,¹⁶² t ex avsaknaden av en global koldioxidskatt (se även avsnitt 4.3 om deponiskatten).

4.3 Institutionella utmaningar

Institutionerna utgör "spelreglerna" i en ekonomi, och består av både formella regler i form av lagstiftning och informella regler i form av bl a praxis, normer och uppförandekoder. Betydelsen av institutioner och institutionell förändring för ökad metallåtervinning har t ex betonats av det Nordiska Ministerrådet.¹⁶³

När det gäller de informella institutionerna finns tecken på "stigberoende" och trögheter i gruv- och metallindustrin i meningen att etablerade företag i framförallt primär produktion av metaller baserar sina investeringar på den ackumulerade teknikspecifika kunskapen som byggts upp under lång tid. Detta för med sig att industrin generellt kan ha svårt att anamma och tillämpa ny kunskap inom ramen för mer radikala teknologier. Företagen har en låg s k "mottagningsförmåga" (*absorptive capacity*),¹⁶⁴ bl a som ett resultat av en relativt låg FoU-intensitet.

Såsom påpekats ovan är väl fungerande aktörsnätverk – dvs en effektiv samverkan mellan aktörer med kompletterande kompetens – central för möjligheterna att ta fram ny teknologi inom metallåtervinningen. Även på denna punkt har studier pekat på brister i existerande industris prioriteringar. I Storbritannien finns en brist på samverkan mellan skrothandlare och stålproducenterna, bland annat kopplat till oviljan att delge information om varandras processer (t ex kring specifikationskrav och eventuella problem) eftersom detta kan ge den andra parten ett överläge i prissförhandlingarna.¹⁶⁵ Detta skapar dock dåliga förutsättningar för teknologisk utveckling eftersom det inte förekommer mycket erfarenhetsutbyte mellan parterna. I en annan studie framhålls att innovationsarbetet inom den globala gruvindustrin har historiskt varit förhållandevis inåtvänt ("inward focus"), dvs karakteriserat av ett begränsat samarbete kring utvecklingsfrågor med andra företag.¹⁶⁶ I detta sammanhang har svensk gruvindustri till viss del utgjort ett undantag. De svenska gruvbolagen som LKAB och Boliden har haft en relativt hög nivå på sina FoU-investeringar, och även aktivt samarbete med (framförallt) olika utrustningsleverantörer. Det har dock påpekats att även svensk gruvindustri är i behov av att utveckla sitt innovationssystem, t ex med ett ökat inslag av s k "öppen innovation".¹⁶⁷ Det senare innebär mer konkret att samverka bredare och öppna upp för möjligheten att hämta in nya idéer från många håll.

När det gäller de formella institutionerna har olika studier pekat på en rad problem med nuvarande lagstiftning och policyutformning, som tillsammans riskerar att utgöra barriärer för ökad metallåtervinning. Det är omöjligt att inom ramen för denna rapport att diskutera alla dessa i detalj; i stället ger vi några illustrerande exempel. Flera studier har pekat på att metallåtervinningen inte enbart hålls tillbaka av marknadsmisslyckanden

¹⁶² Jaffe m fl (2005).

¹⁶³ Nordic Council of Ministers (2018).

¹⁶⁴ Se exempelvis Wilts m fl (2018).

¹⁶⁵ Hall m fl (2021).

¹⁶⁶ Bryant (2015).

¹⁶⁷ Bäckblom (2016).

utan även av politikermisslyckanden, t ex i form av ineffektivt utformade styrmedel eller lagstiftning som försvårar etablerandet av effektiva återvinningsmarknader.¹⁶⁸ När det handlar om lagstiftning finns en övergripande utmaning i hur samhället bör reglera hanteringen och användningen av "avfall" och när avfallet kan betraktas som en "produkt" (och därmed kan handlas på en marknad). I detta sammanhang har exempelvis EU:s sk 'end-of-waste' bestämmelser fått en hel del kritik, inte minst eftersom det ofta i praktiken endast är avfall som redan cirkuleras som får klassificeras som en produkt.¹⁶⁹

Ett annat exempel handlar om den lagstiftning som reglerar handeln med avfall och skrot mellan länder. Vi har ovan (se avsnitt 3.5) pekat på att vi inom EU ser tecken på en ökad metallåtervinning från uttjänta fordon. Ett problem är dock den (ibland illegala) export av (äldre) fordon som sker till länder utanför unionen; detta begränsar tillgången på använda katalysatorer för återvinning. Här finns därför ett behov av att reformera lagstiftningen i form av att dels klargöra när ett fordon nått dess slutliga livslängd ('end-of-life') i det EU-direktiv som reglerar hantering av uttjänta fordon (2000/53/EG), dels lägga större ansvar och bevisbörda på exportörerna.¹⁷⁰

Ett sätt att reducera problemen med illegal hantering av uttjänta produkter är även att reducera de administrativa kostnaderna för att leva upp till lagstiftningen, t ex de aktuella EU-direktiven. Som en följd av den sk avfallstransportsförordningen (EG 1013/2006) är det t ex administrativt krångligt att transportera metallavfall mellan länder inom EU och ännu krångligare om handeln sker med icke-OECD länder. De metaller som klassas som "farligt avfall" inbegriper framförallt sådana metaller som är vanliga i legeringar, t ex bulkmetallerna koppar och nickel samt de innovationskritiska metallerna kobolt, volfram och sällsynta jordartsmetaller. De restriktioner som finns kring handel med farligt avfall, inklusive de administrativa kostnaderna som följer av dessa, påverkar möjligheterna att utveckla en konkurrenskraftig återvinning av metaller, inte minst eftersom en begränsad handel reducerar utsikterna att dra nytta av stordriftsfördelar i produktionen.¹⁷¹ OECD:s bedömning är exempelvis att cirka 40 procent av dagens handel med kopparavfall möts av exportbegränsningar medan motsvarande andel för stål är 20 procent.¹⁷²

Det är inte enbart avfallslagstiftningen som är relevant i detta sammanhang. Precis som all industriell verksamhet är även metallåtervinningssektorn beroende av väl fungerande ram-villkor i form av lagstiftning kring kontraktsfrågor, markanvändning, miljöpåverkan, etc. Ett aktuellt ämne i en svensk kontext är miljöprövningen av industriell verksamhet (enligt miljöbalken), som ibland har inneburit utdragna tillståndsprocesser med överklaganden. Denna prövning kan potentiellt bli ett speciellt stort problem för ny verksamhet där det kanske inte finns tidigare erfarenheter av hur olika frågor (t ex hänsynsreglerna i balken) ska hanteras och vägas mot varandra i det enskilda fallet.¹⁷³ En viktig fråga kan komma att handla om hur den globala klimatnyttan

¹⁶⁸ Se exempelvis McCarthy och Börkey (2018), OECD (2021) och Tillväxtanalys (2021).

¹⁶⁹ Johansson och Forsgren (2020).

¹⁷⁰ European Parliament (2017).

¹⁷¹ Tillväxtanalys (2021).

¹⁷² OECD (2021).

¹⁷³ Se även Pettersson och Söderholm (2019) samt Söderholm m fl (2021).

av metallåtervinning (som ersätter malmbaserad produktion) ska vägas mot den lokala miljöpåverkan som uppstår i anslutning till en storskalig återvinningsanläggning.¹⁷⁴

Ett exempel på ett styrmedel som skapat problem för metallåtervinning är deponiskatter, inklusive den svenska. OECD har påpekat att styrmedel som styr bort från deponi riskerar att styra bort metaller från sekundära produktionen, och i Europa har återvinningsindustrin varnat för sådana utfall.¹⁷⁵ Problemet finns även i Sverige där metaller (t ex från bilar) hamnar i avfallsförbränningen, och är därefter svåra att utvinna. Detta exempel är även en bra illustration av avfallshierarkins komplexitet, och behovet av att inte tolka den för strikt.

En del studier har på ett mer systematiskt sätt försökt att undersöka om – och i så fall i vilken mån – existerande styrmedel tenderar att gynna den primära produktionen av metall. OECD konstaterar exempelvis att existerande subventioner till den primära produktionen ofta motiveras utifrån mål om ökad konkurrenskraft (gentemot omvärlden) tenderar eventuellt stöd till sekundär produktion snarare att motiveras utifrån förekomsten av olika marknadsmisslyckanden (se kapitel 3). Överlag skapar detta enligt OECD en ojämn "spelplan" där politiken ofta bidrar till att öka den primära produktionens konkurrenskraft gentemot den sekundära.¹⁷⁶ Liknande argumentation har förts även i svensk kontext, bl a med hänvisning till att den svenska gruvindustrin inte betalar deponiskatt samt har nedsatta energi- och koldioxidskatter.¹⁷⁷ Detta är viktiga observationer men det är viktigt att notera att dessa frågor är komplexa och inbegriper svåra avvägningar. I avsnitt 3.1 diskuterade vi hur syftet med de styrmedel som baseras på den sk avfallshierarkin är att "hämma" sådana styrmedel som mer direkt skulle kunna internalisera de negativa externa miljöeffekterna. Att reducera deponivolymer är därmed inget självändamål. Naturvårdsverket konstaterar också att i fallet med de stora volymer bergrester som kommer från gruvverksamhet är ett undantag från deponiskatten motiverad utifrån miljöskäl.¹⁷⁸

4.4 En politik för grön teknologisk utveckling

Detta kapitel avslutas med en kort diskussion om vilken typ av styrmedel som kan behövas för att stimulera teknologisk utveckling, inte minst i de fall där denna utveckling är mer eller mindre transformativ och radikal, och således hänger ihop med framväxten av nya aktörsnätverk och värdekedjor samt inbegriper institutionell förändring. Denna rapport har inga ambitioner att identifiera specifika styrmedel och styrmedelskombinationer, och för vilken teknologisk utveckling dessa behövs. Sådana val innebär en rad svåra avvägningar, bland annat kopplat till vilka specifika teknikfält som ett land (t ex Sverige) eller en region (t ex EU) skulle kunna satsa på givet vad som redan görs i andra delar av världen.

¹⁷⁴ Se även den sk Klimaträttsutredningens första betänkande rörande denna problematik (SOU 2021:21).

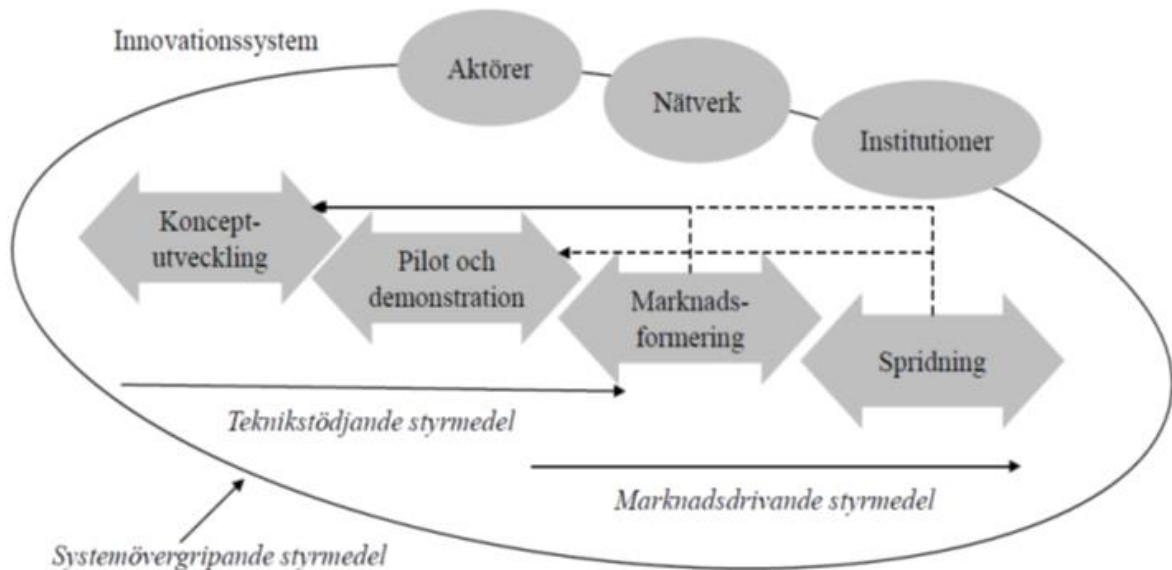
¹⁷⁵ McCarthy och Börkey (2018).

¹⁷⁶ Se framförallt OECD-rapporten av McCarthy och Börkey (2018), men även Tillväxtanalys (2021) som för detta resonemang vidare.

¹⁷⁷ Johansson m fl (2014) och Naturskyddsföreningen (2021).

¹⁷⁸ Se Naturvårdsverket (2013), som bl a konstaterar: "Bergrester genereras i norr där gruvorna finns men har avsettningsmarknaden i söder och eftersom transport på järnvägen är begränsade befaras det att transporten skulle ske med miljömässigt sämre alternativ. Eftersom deponering dessutom sker i princip uteslutande i anslutning till gruvorna bedöms deponi vara en miljömässigt lämplig lösning," (s. 24).

Figur 2.2, som bygger vidare på Figur 2.1, identifierar tre övergripande områden där staten potentiellt kan spela en viktig roll för att stödja utvecklingen av nya hållbara teknologier. För det första behövs *teknikstödjande styrmedel* för att stimulera grundläggande kunskaps-utveckling, t ex i form av forskningsstöd till universitet och institut samt via skattelättnader för privat FoU. Sådana styrmedel kan även inbegripa (del)finansiering av olika pilot- och demonstrationsanläggningar.¹⁷⁹ Ett viktigt syfte är att verifiera, testa och optimera den nya teknologin, samt att undersöka hur den fungerar vid produktion i full skala.



Figur 4.2 Innovationssystemet och styrmedel för teknisk utveckling

Källor: Baserad på IEA (2015) samt Söderholm m fl (2019). 3

För det andra behövs *marknadsdrivande styrmedel* för att bidra till marknadsformering, dvs stödja lärande i produktion och användning genom att skapa en efterfrågan på, och om nödvändigt en nischmarknad för, den nya teknologin. Marknader växer inte alltid fram spontant utan de skapas i ett samspel mellan aktörer med olika kompetens, etc., och ibland behövs därför specifika stöd i form av t ex investeringssubventioner, prispremier eller kvotplikter, det sistnämnda av den typ som är vanliga både inom elproduktionen (i form av elcertifikat) och transportsektorn (i form av inblandningskrav för biodrivmedel).¹⁸⁰

För det tredje kan staten även behöva använda sig av s k *systemövergripande styrmedel* för att stödja olika former av generella funktioner i innovationssystemet, t ex kompletterande åtgärder som syftar till att stärka de aktörsnätverk som behövs för att stödja den nya tekniken (s k nätverksstyrning). Detta kan bli ske genom att skapa nya plattformar för

¹⁷⁹ Hellsmark m fl (2016).

¹⁸⁰ Utnyttjandet av sådana kvotplikter framhålls i den svenska handlingsplanen för en cirkulär ekonomi (se Regeringskansliet, 2021). Söderholm och Ekvall (2020) argumenterar dock för att det ur samhällsekonomiskt perspektiv är tveksamt att styra med kvantitet snarare än med pris i avfallspolitiken. Ett skäl är den osäkerhet som kommer att finnas om marginalkostnaderna för att uppfylla en given kvot. Se även Hogg m fl (2018).

aktörssamverkan, samt genom att föreslå olika organisatoriska lösningar.¹⁸¹ Olika former av institutionella reformer, t ex rörande rättstillämpningen och genomförandet i samband med tillståndsprocesser, kan som diskuterats ovan också vara viktiga.

Det bör påpekas att den typ av "grön industripolitik" som beskrivs ovan innebär inte bara möjligheter utan även utmaningar och risker. När staten väl börjat stötta en viss bransch, en viss typ av företag, och/eller en viss typ av teknologi, inbjuder den till "privilegiejakt". Detta innebär i korthet att företag försöker öka sina intäkter – inte genom utveckling av nya och bättre produkter och tjänster eller genom mer effektiv produktion – utan genom att manipulera och påverka de institutioner och de politiska beslut som sätter spelreglerna för de ekonomiska marknaderna.

Den ekonomiska litteraturen har därför framhållit att en sådan politik för transformativ teknologisk utveckling bör vila på (åtminstone) tre fundament.¹⁸² Det *första* är att det måste finnas ett tydligt ansvarstagande och en transparens från statens håll i meningen att de politiska beslutsfattarna förbinder sig att stimulera en viss teknologisk utveckling med tillhörande industrier etc. Här ingår tydliga visioner, mål samt idéer om vilken specifik roll staten bör spela för att främja den önskade utvecklingen. Svenska forskare har pekat på att sådana tydliga visioner saknas (t ex i Sverige) eller har haft liten reell påverkan (t ex i EU) i fallen med metallåtervinning från uttjänta bilar samt elektronikskrot.¹⁸³ Bland annat finns en brist på koordinering på myndighetsnivå (t ex mellan olika departement i regeringen).

Ett *andra* viktigt fundament är att det finns disciplin och uthållighet från statens håll, inte minst i meningen att ett visst stöd kan behöva dras in och/eller inte upprepas om de mål som är uppsatta för de industripolitiska satsningarna inte nås. För att detta ska vara möjligt krävs i sin tur att det finns tydliga – och någorlunda entydiga – mål för ett sådant stöd. Eftersom politiken grundas i en ambition att utveckla och sprida ny teknologi bör stödet vara tidsbegränsat och kopplas till tekniska eller ekonomiska mål, t ex kostnadsreduktion och/eller andra prestandamått.¹⁸⁴ Den brist på koordinering på myndighetsnivå som noteras ovan riskerar att göra det svårt att åstadkomma sådan disciplin och uthållighet.

Det *tredje* fundamentet för en ändamålsenlig politik är att besluten kring politikens slutliga utformning och implementering inte sker oberoende av den kompetens och erfarenhet som finns i den berörda industrin. Detta är nödvändigt för att hantera det kunskapsglapp som normalt finns mellan industri och stat, inte minst rörande vilka centrala teknikutvecklings-spår som är mest intressanta.¹⁸⁵ Å ena sidan måste staten vara autonom och stå upp för samhällsintresset men å andra sidan är det viktigt att ge

¹⁸¹ Söderholm m fl (2019).

¹⁸² Se exempelvis Rodrik (2014) samt Lütkenhorst m fl (2014).

¹⁸³ Andersson m fl (2019).

¹⁸⁴ Chan m fl (2017).

¹⁸⁵ Ofta kritiseras statliga satsningar på teknologiutveckling utifrån argumentet att staten "saknar tillräckligt med kunskap för att fatta rätt beslut gällande valet av teknik," (Henrekson m fl, 2021). Samtidigt är det sällan så det fungerar i praktiken. Stora industriutvecklingsinsatser, t ex den pågående satsningen på koldioxidfri stålproduktion bygger ju på finansieringslösningar där staten och privata investerare delar på risken.

utrymme för kunskapsöverföring från industrin till staten utan att industrin tar över (kidnappar) policyutformningen.

5. Avslutning: fem lärdomar för politiken

I kapitel 3 och 4 diskuterades olika former av marknadsmisslyckanden och barriärer, som tenderar att reducera möjligheterna för sekundär metallproduktion att konkurrera med den primära produktionen. Vi har även pekat på att ibland snedvrids konkurrensen mellan de primära och sekundära metallerna av politiker- snarare än marknadsmisslyckanden, t ex i form av en icke-ändamålsenlig utformning av olika styrmedel. Detta avslutande kapitel utgör ett försök att – utifrån den analys som gjorts – identifiera ett antal generella lärdomar för utformningen av en politik som syftar till att främja ökad återvinning av metaller på ett effektivt och ändamålsenligt sätt.

Kapitlet har inga ambitioner när det gäller att identifiera – och/eller utvärdera – specifika styrmedel men pekar på fem generella punkter som politiken bör ta i beaktning. I praktiken finns en rad utmaningar. Vi har redan pekat på flera av dessa, och det är viktigt att här addera den politiska nivån. I vissa fall kan det vara meningsfullt med nationella (och delvis lokala) styrmedel, men ofta finns kanske främst ett behov av politik på (åtminstone) EU-nivå. Helt centralt är också att hantera den komplexitet som präglar de olika marknaderna för återvunnen metall, och anpassa styrmedelsval och utformning till denna komplexitet.

5.1 Det krävs ett produkt- snarare än ett materialperspektiv

Den ökade komplexiteten i moderna produkter har försvårat återvinningen av metaller, och detta skapar ett behov av ett produkt- snarare än materialfokus.¹⁸⁶ Förutsättningarna för återvinning skiljer sig åt mellan olika material, men i än högre grad baserat på i vilka produkter materialen ingår. Trenden är också att många produkter kontinuerligt får bättre prestanda och nya funktioner, och detta åstadkoms genom introduktionen av mindre och mindre komponenter, fler integrerade material och nya metallegeringar. Att gå från ett material- till ett produktfokus innebär inte nödvändigtvis att det finns olika styrmedel för olika produktkategorier; poängen är snarare att först då vi förstår de incitament som möter aktörerna längs hela produktkedjan är det möjligt att utforma lämpliga styrmedel.¹⁸⁷ Att identifiera sådana styrmedel kräver analyser som går mer in i detalj i specifika värdekedjor än vad som har varit möjligt i denna rapport.

Det bör givetvis noteras att till viss del har vi redan idag en politik som baseras på ett produktfokus, t ex i form av EU-direktiven för uttjänta bilar respektive elektronikskrot samt det s k produktdesigndirektivet. Dessa har dock svagheter utifrån ett återvinningsperspektiv. EU:s direktiv för uttjänta fordon föreskriver en 85 procents återvinningsgrad

¹⁸⁶ Se även UNEP (2013).

¹⁸⁷ Det är dock uppenbart att ett styrmedel som passar bra för att främja materialåtervinning av stål i en kontext inte nödvändigtvis är lämplig i en annan kontext.

mätt som vikt, men detta skapar ett för trubbigt incitament för att ta hand om metaller som förekommer i små mängder. På motsvarande sätt har viktbaserade återvinningskrav för batterier inneburit att många företag endast återvinner batteriernas skal av stål eftersom det är den tyngsta delen. På så sätt reduceras incitamenten att t ex försöka återvinna litium och aluminium, inklusive att ta fram och testa ny teknologi som underlättar sådan återvinning.

Ett starkare produktfokus i politiken är givetvis även viktigt för att hantera problematiken med ökad återvinningsbarhet. En viktig uppgift för politiken är att finna en balans mellan åtgärder som förbättrar produktdesignen vid tillverkningssteget och åtgärder som förbättrar sektorns förmåga att ta hand om avfall när produkterna nått sin slutliga livslängd. Om politiken fokuserar på det senare steget i syfte att t ex underlätta för avfallshanterare att ta hand om komplexa material, minskar incitamenten för produkttillverkarna att öka återvinningsbarheten även om detta vore mer kostnadseffektivt. Dagens situation präglas överlag av en obalans i detta avseende; fokus ligger ofta på förbättrad avfallshantering snarare än på produktdesign samt återvinningsbarhet.

Traditionellt har såväl ekonomiska intressen som politiska styrmedel främjat materialsubstitution. Om ett givet material eller grundämne stiger i pris eller att dess användning regleras på grund av miljö- och hälsoskäl, är ofta strategin att byta ut det mot ett annat ämne. Denna strategi har varit viktig för att reducera användningen av farliga substanser och grundämnen (t ex kvicksilver), men ofta har lite hänsyn tagits till hur sådan materialsubstitution påverkar materialförluster samt möjligheterna till återvinning.

Såsom påpekats i avsnitt 3.1 finns en rad styrmedel som syftar till att öka återvinningen av metaller, t ex det svenska producentansvaret som inbegriper metallförpackningar men även elutrustning och batterier. Studier visar dock att denna form av styrmedel generellt sett ger svaga incitament till ökad återvinningsbarhet.¹⁸⁸ Förpackningsproducenterna betalar t ex endast en avgift per kg förpackning; visserligen skapar detta ett incitament att rationalisera bort onödiga förpackningar men återvinningsbarhet är en betydligt mer komplex fråga som inrymmer långt fler aspekter än vikt. Dessutom bygger producentansvaret på ett *kollektivt* ansvar där det ofta inte behöver existera något informationsutbyte mellan det företag som kan producera en förpackning och den aktör som skulle kunna återvinna denna.

Ett första steg för att öka förutsättningarna för förbättrad produktdesign (inte minst ökad återvinningsbarhet) är att ställa krav på ökad information om produkters ursprung och innehåll längs hela värdekedjan. Ett möjligt sätt är införa s k produktpass. Ett sådant kan ge bättre information om de material som ingår i produkter samt om hur de kan repareras och/eller återvinnas.¹⁸⁹ Den svenska regeringen anger i sin handlingsplan för en cirkulär ekonomi att Sverige ska verka för att EU inför produktpass. EU har redan tagit initiativ till att industribatterier och batterier för eldrivna fordon förses med ett unikt och individuellt pass som ska vara tillgängligt digitalt; den s k batteriförordningen träde i

¹⁸⁸ Se bland annat Naturvårdsverket (2020) och Hage (2007).

¹⁸⁹ Regeringskansliet (2021).

kraft i januari 2022. Detta pass ska bidra till att göra produktionen mer öppen och säkerställa en ökad hållbarhet genom hela produktionskedjan.¹⁹⁰

5.2 Det krävs en kombination av olika typer av styrmedel

Ett viktigt budskap från denna rapport är att i många fall kan framväxten av mer effektiva marknader för återvunnen metall hämmas av flera marknadsmisslyckanden på samma gång (se bl a kapitel 3). Detta innebär i sin tur att politiken ofta behöver bestå av en kombination av styrmedel.

För det första är det viktigt påpeka att en politik som syftar till att stödja återvinning (enligt den s k avfallshierarkin) utgör i hög grad ett substitut till en mer träffsäker – men praktiskt ogenomförbar – politik (t ex i form av skatter och regleringar direkt på utsläpp i vatten och luft). Ekonomisk forskning visar att en avfallspolitik som aspirerar på att utgöra ett sådant substitut bör bygga på en kombination av styrmedel.¹⁹¹ Denna styrmedelskombination ska skapa två viktiga incitament: (a) en outputeffekt, t ex genom en skatt på de produkter som genererar avfall; samt (b) en substitutionseffekt, t ex genom subvention av återvinning (bl a i form av tillhandhållande av infrastruktur för återlämning). Detta har stora likheter med pantsystem, som ju också innebär att konsumenter har incitament att först hushålla med den avfallsgenererande produkten, och sedan återlämna denna för återvinning på ett miljö-mässigt acceptabelt sätt. Olika producentansvarssystem har också liknande egenskaper.¹⁹²

Erfarenheter från flera länder visar på de svårigheter som uppstår då avfallspolitiken enbart adresserar ett av dessa incitament. Ett exempel är de skatter som finns på t ex naturgrus,¹⁹³ bl a i Sverige. Skatter på jungfruliga råvaror gör användningen av återvunnet material mer ekonomiskt attraktivt, men på grund av den låga priskänsligheten i utbudet av detta material blir effekterna på återvinningen liten om skatterna inte kan kombineras med åtgärder som stimulerar detta utbud. I Sverige har skatten på naturgrus framförallt inneburit en ökning i användningen av krossad sten och effekterna på mängden återvunnet material har varit liten. Det är inte heller effektivt att uteslutande fokusera på att öka utbudet av sekundära material, t ex genom att subventionera insamling och sortering. Detta leder till en s k rekyleffekt; priset på materialet sjunker och incitamenten att minska efterfrågan på detta försvagas som en följd.¹⁹⁴

Därutöver finns – som vi varit inne på – ett antal styrmedel som inte syftar till att ersätta den traditionella miljöpolitiken utan snarare till att säkerställa framväxten av effektiva marknader för återvunna material. Åtgärder för att t ex överbrygga informationsproblem (bl a genom standardisering), reducera transaktionskostnader (t ex genom mer transparent lagstiftning) samt förbättra produkters återvinningsbarhet (t ex genom att

¹⁹⁰ En utmaning med detta pass är dock att batterimineralerna, t ex koppar, nickel, litium, kobolt och olika sällsynta jordartsmetaller, idag ofta utvinns i t ex Kongo och Kina. Detta försvårar spårbarheten.

¹⁹¹ Walls och Palmer (2001).

¹⁹² Se bl a Fullerton och Wu (1998) samt Hage (2007).

¹⁹³ Söderholm (2011).

¹⁹⁴ van den Bergh (2020).

införa s k produktpass) utgör alla potentiella *komplement* till andra avfallspolitiska styrmedel såsom olika producentansvarssystem. Rapporten har dock visat att det finns en betydande heterogenitet mellan olika marknader och metaller; på marknaderna för flera bulkmetaller har aktörerna t ex till stor del överkommit de informationsrelaterade misslyckandena, t ex på marknaden för stålskrot. Dessa erfarenheter har dock även illustrerat vikten av att finna lösningar på hur aktörerna ska hantera eventuella informationsasymmetrier och reducera transaktionskostnaderna. Detta är sannolikt problem som kommer att behöva hanteras för att öka återvinningen av innovationskritiska metaller.

Som diskuteras i kapitel 4 kommer offentliga insatser för att stödja framväxten av ny grön teknologi och värdekedjor också ofta att kräva en mix av styrmedel; teknikstödjande, marknadsdrivande och systemövergripande. I avsnitt 5.5 nedan återkommer vi kort till denna typ av politik.

5.3 Ibland finns rätt incitament även i frånvaro av styrmedel

Även om politiken spelar en viktig roll för att adressera olika marknadsmisslyckanden på avfallsområdet, inklusive metallskrot, visar rapporten också att det finns många exempel på där marknadsaktörerna själva har klarat av att adressera dessa misslyckanden på ett bra sätt. Vissa skrotklassificeringar och standards (t ex för test av skrotkvaliteter) har initierats av branschorganisationer, och detta har reducerat informationsmisslyckandena på utbuds-sidan. I andra fall har vertikal integration också motverkat denna problematik.

Vi ser också flera exempel på B2B-samarbeten där användare av produkter innehållande metaller (t ex katalysatorer) samverkar med återvinnare och bibehåller äganderätten över metallen. Sådana samarbeten har skapat incitament för förbättrad produktdesign, och gör det även möjligt för företagen att undvika att exponera sig för kraftiga prisfluktuationer på vissa innovationskritiska metaller. Ett viktigt budskap är dock också att i andra situationer är det betydligt svårare för de inblandade parterna att internalisera de negativa externa effekterna kopplade till återvinningsbarhet; det gäller metallåtervinning från produkter som ägs (eller har ägts) av privata konsumenter och dessutom bytt ägare över livscykeln. Forskning visar att förutsättningarna för framväxten av innovativa affärsmodeller där företag samverkar är speciellt gynnsamma om äganderätterna är väl definierade (och oförändrade) samt om de transaktionskostnader som aktörerna möter är tillräckligt låga.

Teknikutvecklingen kan komma att förändra förutsättningarna för mer marknadsdriven återvinning och återvinningsbarhet. Ett möjligt exempel är att en ökad spårbarhet av material genom hela produktlivscykeln kan ge konsumenterna mer makt att driva igenom förändringar i produkters utformning.

Avslutningsvis är det också viktigt att påpeka att vissa barriärer för ökad återvinning är svåra att hantera såväl politiskt som av företagen själva. Det har att göra med karaktären på metallmarknaderna där vissa (inte minst) innovationskritiska metaller produceras som bi-produkter, och utbudet av metallskrot begränsas av tidigare konsumtions- och investerings-mönster. Detta genererar i regel stora prisfluktuationer, som är svåra att trola bort med politiska styrmedel. I stället är det mer effektivt att företagen använder

den finansiella marknadernas möjligheter till prissäkring, alternativt att de (som ovan) identifierar nya affärsmodeller som gör företagen mindre känsliga för den volatila marknadsutvecklingen.

5.4 Ibland är konventionell miljöpolitik det mest effektiva

Vi har ovan pekat på att de styrmedel som dominerar dagens avfallspolitik – t ex en deponiskatt – bygger på att det bedömts svårt att internalisera alla diffusa externa effekter som kan kopplas till olika avfallsströmmar på ett träffsäkert sätt. Detta ställer dock stora krav på avfallspolitiken; det blir bl a viktigt att säkerställa att det återvunna alternativet inte innebär mer negativ miljöpåverkan än det jungfruliga alternativet.¹⁹⁵ Att bestämma i vilka situationer undantag från avfallshierarkin är motiverad ur miljösynpunkt är ingen enkel uppgift.¹⁹⁶ Och även om det kan finnas legitima skäl till att ha styrmedel vars primära syfte är att styra uppåt i avfallshierarkin finns ibland andra styrmedel som också är "trubbiga" men likväl kan vara mer ändamålsenliga än en strikt tillämpning av avfallshierarkin. Det kan exempelvis handla om teknikkraV och förbud av farliga ämnen i produkter.

Det finns också en utmaning kopplad till att förutsättningarna för en alternativ politik kan förändras över tid, inte minst i takt med teknisk utveckling. Den miljöavgift som Sverige idag lägger på utsläppen av kväveoxidutsläpp blev t ex möjlig först då teknik utvecklades för att mäta dessa utsläpp vid källan. Politiken bör därför också noga följa – och stödja – teknisk utveckling som gör det mer praktiskt och ekonomiskt möjligt att implementera en mer träffsäker miljöpolitik, exempelvis genom att kunna spåra och mäta förekomsten av kemikalier i produkter. Idag är det ofta oklart vilka incitament som egentligen finns för ekonomins aktörer att investera i teknologi som underlättar miljöpolitikens genomförande, inklusive tillsynen.

Även detta innebär dock svåra avvägningar, speciellt om de alternativa styrmedlen också är trubbiga. Den svenska kemalieskatten på hemelektronik är ett intressant exempel. Syftet har bl a varit att minska förekomsten av farliga kemikalier i hemmiljö men i praktiken är skatten en produktskatt; enda sättet för konsumenten att undvika kemikalierna är att inte köpa produkten överhuvudtaget. Skatten har också inneburit att andrahandsvärdet på begagnad elektronik har sjunkit och mer elektronik skrotas eller säljs utomlands. Cirkulära lösningar blir dessutom dyrare. Det är därför långt ifrån självklart att kemalieskatten leder till en totalt sett lägre miljöpåverkan.

5.5 Nya teknologier och värdekedjor kräver en riktad politik

Motiven till att stödja en grön teknologiutveckling och främja framväxten av ny industri och nya värdekedjor kan vara olika, men baseras bl a på förekomsten av höga investerings-risker samt kunskapsläckage.¹⁹⁷ I metallproduktionen är dessa

¹⁹⁵ Zink och Geyer (2017).

¹⁹⁶ Se exempelvis Naturvårdsverket (2013) för en diskussion om de verksamheter och aktiviteter som är undantagna från den svenska deponiskatten.

¹⁹⁷ Tillväxtanalys har i tidigare rapporter konstaterat att statens förmåga att identifiera och karakterisera de risker som möter privata investerare skulle behöva stärkas (Tillväxtanalys, 2019).

marknadsmislyckanden överlag viktiga. Om förutsättningarna är de rätta – t ex att den rätta kompetensen finns i landet – kan det t o m finnas en möjlighet att ”knuffa” den tekniska utvecklingen i en riktning som ligger i linje med det egna landets komparativa fördelar.¹⁹⁸ Vi har ovan identifierat vilken generell styrmedelsmix som typiskt sett behövs för att åstadkomma detta, samt de utmaningar som kan kopplas till en sådan politik.

En grön industripolitik behöver ta fasta på de återkopplingar som finns mellan teknologi- och spridningsprocessernas olika steg, samt på att förutsättningarna för teknikutvecklingen kan se olika ut mellan olika områden. Det sistnämnda handlar t ex om olika institutionella barriärer, förutsättningarna för att undvika kunskapsläckage och komplexiteten i – samt storleken på – de framväxande aktörsnätverken. Teknologisk utveckling förutsätter såväl grundläggande FoU som lärande; offentligt FoU-stöd bör därför inte planeras isolerat från praktiska applikationer utan behöver ske i samklang med det lärande som har genererats av produktion och användning av den nya teknologin/produkten. En framgångsrik teknologisk utveckling för ökad metallåtervinning behöver ofta bygga på nya aktörsnätverk längs hela produktkedjan.

För de länder som väljer att utforma och implementera en grön industripolitik på ett givet område är det viktigt med ett tydligt ansvarstagande och en transparens från statens håll, t ex i form av visioner, en tydlig riktning och att inte ”gömma” detta i den allmänna miljö- och klimatpolitiken. En vanlig kritik mot grön industripolitik är att moderna stater inte är väl utrustade för detta, inte minst då det gäller att peka ut relevanta teknologier. I praktiken behöver dock politiken bygga på såväl teknikneutrala som tekniksufficiera styrmedel, och där beslut kring politikens utformning och implementering inte ska ske oberoende av den kompetens och erfarenhet som finns i den berörda industrin. De tekniksufficiera insatserna bygger dessutom på en samfinansiering mellan industri och stat.

När det gäller den tekniska utvecklingen inom metallåtervinningsområdet är det sannolikt mest relevant att EU – snarare än Sverige – utgör utgångspunkten för en eventuell grön industripolitik. Detta, i kombination med samarbeten med länder även utanför EU, ökar möjligheterna att åstadkomma ett mer omfattande kunskapsutbyte längs produktkedjorna. En av de absolut största utmaningarna kopplat till att åstadkomma en ökad återvinning av såväl bulk- som innovationskritiska metaller är förbättrad produktdesign och ny teknologi för ökad återvinningsbarhet.

5.6 Det fortsatta lärandet

Det huvudsakliga syftet med denna rapport har varit att presentera en konceptuell analys av marknaderna för primära och sekundära metaller, och hur dessa marknaders funktionssätt påverkar konkurrensen mellan primär och sekundär produktion. Rapporten har fokuserat på olika typer av marknadsmislyckanden som kan motverka en ökad metallåtervinning, och framväxten av nya marknader för återvunnen metall där sådana inte finns idag.

De generella budskap och lärdomar som rapporten vill förmedla har illustrerats empiriskt för olika bulk- respektive innovationskritiska metaller. Dessa exempel visar hur utsikterna för en ökad återvinning skiljer sig åt mellan metaller och inte minst mellan

¹⁹⁸ Rodrik (2014).

olika produkter. Vissa marknadsmisslyckanden är därför mer framträdande i vissa fall jämfört med andra. Konkurrensen mellan primär och sekundär metallproduktion kan också yttra sig på olika sätt, bl a eftersom vissa metaller – främst de innovationskritiska – är biprodukter till andra metaller.

Ett viktigt nästa steg för fortsatt lärande är därför att genomföra mer detaljerade fallstudier av förutsättningarna för framväxten av mer effektiva marknader för återvunna metaller. Vilka typer av marknadsmisslyckanden och institutionella barriärer finns i olika specifika fall, och hur ser förutsättningarna ut för att adressera dessa, antingen på frivillig väg av marknadens aktörer eller via politisk styrning? En potentiellt intressant fallstudie är att utgå från Tillväxtanalys undersökningar av olika värdekedjor för innovationskritiska metaller, t ex kopplat till litium-jon batterier.¹⁹⁹ Dessa studier fokuserar i första hand på förutsättningarna för primär produktion (i Sverige), men skulle således kunna breddas och även analysera förutsättningarna för återvinning av metaller (t ex av litium i bilbatterier). En annan intressant fallstudie skulle kunna vara återvinning av sällsynta jordartsmetaller samt andra material från gruvavfall. Sådana fördjupade undersökningar behöver även förhålla sig till de geografiska och politiska förutsättningarna för att stödja framväxten av hållbara värdekedjor kopplat till återvunnen metall. På vilka områden (t ex produkter) kan nationella styrmedel vara viktiga för att åstadkomma detta, och på vilka områden behövs politisk styrning snarare på t ex EU-nivån?

Ett viktigt syfte med denna rapport har varit att ta fram ett analytiskt ramverk som kan utgöra en utgångspunkt för sådana fördjupade studier, dvs ett ramverk som: (a) identifierar potentiella incitamentsproblem på existerande marknader, inklusive bristande incitament för teknologisk utveckling; samt (b) vilken roll som politiken skulle kunna spela för att förbättra incitamentsstrukturen, men även de utmaningar som ofta finns för att utforma och implementera en träffsäker och ändamålsenlig politisk styrning.

¹⁹⁹ Se exempelvis Tillväxtanalys (2017).

Referenser

- Acemoglu, D., P. Aghion, L. Bursztyn, och D. Hemous (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review* 102, 131–166.
- Ackerman, F. (1997). *Why do we recycle? Markets, values, and public policy*. Island Press, Washington, DC.
- Adant, L., och F. Gaspart (2002). *Scrapping the surface: lemons, informational institutions and emerging markets in a recycling branch*. CNRS et Ecole polytechnique, Palaiseau.
- Adie, G.U., L. Sun, X. Zeng, L. Zheng, O. Osibanjo, och J. Li (2017). Examining the evolution of metals utilized in printed circuit boards. *Environmental Technology* 38(13-14), 1696-1701.
- Akerlof, G. (1970). The market for lemons: quality uncertainty and the market mechanism. *Quarterly Journal of Economics* 84, 488-500.
- Albertson, K., och J. Ayles (1996). Modeling the Great Lakes freeze: forecasting and seasonality in the market for ferrous scrap. *International Journal of Forecasting* 12, 345-359.
- Alonso, E., T. Wallington, A. Sherman, M. Everson, F. Field, R. Roth, och R. Kirchain (2012). An assessment of rare earth element content of conventional and electric vehicles. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing* 5(2), 473-477.
- Andersson, M., M. Ljunggren Söderman, och B. Sandén (2017). Lessons from a century of innovating car recycling value chains. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 25, 142–157.
- Andersson, M., M. Ljunggren Söderman, och B. Sandén (2019). Challenges of recycling multiple scarce metals: the case of Swedish ELV and WEEE recycling. *Resources Policy* 63, Artikel 101403.
- Arab, N. (2017). The challenges of aluminium recycling from end-of-life vehicles. *Journal of Environmentally Friendly Materials* 1(1), 19-25.
- Ayles, J., och K. Albertson (2006). Markets in ferrous scrap for steelmaking. *Ironmaking & Steelmaking* 33(3), 203-212.
- Ayres, R. U. (1997). *Metals recycling: economic and environmental implications*. Working Paper 97/59/EPS/TM, INSEAD's Centre for the Management of Environmental Resources, Fontainebleau Cedex, Frankrike.
- Barnett, D. F., och R. W. Crandall (1986). *Up from the ashes: the rise of the steel minimill in the United States*. The Brookings Institution, Washington, D.C.
- Bast, E., A. Doukas, S. Pickard, L. van der Burg, och S. Whitley (2015). *Empty promises: G20 subsidies to oil, gas and coal production*. Overseas Development Institute, London.
- Baumol, W. J. (1977). On recycling as a moot environmental issue. *Journal of Environmental Economics and Management* 4, 83-87.
- Bergquist, A-K., M. Lindmark, och N. Petrusenko (2019). The growth of the Swedish recycling industry in comparative perspective, 1970s-2010s. Uppsats presenterad vid Nordic Environmental Social Science (NESS) conference, Luleå, 10-12 juni

- Bielwas, D. I. (2010). *Byproduct mineral commodities used for the production of photovoltaic cells*. Circular No. 1365, U.S. Geological Survey, Reston, USA.
- Blomberg, J., och S. Hellmer (2000). Short-run demand and supply elasticities in the West European market for secondary aluminium. *Resources Policy* 26, 39-50.
- Blomberg, J., och P. Söderholm (2009). The economics of secondary aluminium supply: an econometric analysis based on European data. *Resources, Conservation and Recycling* 53, 455–463.
- Bohm, P. (1996). *Samhällsekonomisk effektivitet*. SNS förlag, Stockholm.
- Bonczar, E. S., och J. E. Tilton (1975). *An economic analysis of the determinants of metal recycling in the United States: a case study of secondary copper*. Department of Mineral Economics, Pennsylvania State University, USA.
- Bryant, P. (2015). *The case for innovation in the mining industry*. Clareo.
- Bäckblom, G. (2016). Forskning och framtid. Svensk gruvindustri i perspektiv. Bilaga till S. Gylesjö m fl, *Slutrapportering: uppdrag att utföra en ämnesöversikt och kartläggning inom gruv- och mineralforskningsområdet*, N2015/2162/FOF, Vinnova, Stockholm.
- Campbell, R. F. (1948). *The history of basic metals price control in World War II*. Columbia University Press, New York.
- Carlsen, E. H. (1980). Aluminium recycling coefficients. *Business Economics*, January, 41-46.
- Chan, G., Goldstein, A. P., A. Bin-nun, L. Diaz Anadon, och V. Narayanamurti (2017). Six principles for energy innovation. *Nature* 552. 25–27.
- Ciacchi, L., B. K. Reck, N. T. Nassar, och T. E. Graedel (2015). Lost by design. *Environmental Science and Technology* 49, 9443-9451.
- Clagett, N. (2013). A rare opportunity: streamlining permitting for rare earth metals within the United States. *Journal of Energy and Environmental Law* 4, 123-138.
- Coady, D., I. Parry, L. Sears, och B. Shang (2015). *How large are global energy subsidies?* International Monetary Fund (IMF), Washington, DC.
- Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. I O. E. Williamson, och S. E. Maston (Red.), *The economics of transaction costs*. MPG Books Ltd., Cornwall, 1999.
- Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *The Journal of Law and Economics* 3, 1-44.
- Collins, R. J., och P. J. Nixon (2003). *Implications of the harmonisation of construction product standards for the use of recycled and secondary aggregates*. WRAP Research and Development Report: Aggregates. Storbritannien.
- Compañero, R. J., A. Feldmann, och A. Tilliander (2021). Circular steel: how information and actor incentives impact the recyclability of scrap. Artikel accepterad för publicering i *Journal of Sustainable Metallurgy*.
- Cramer, J. (2018). Key drivers of high-grade recycling under constrained conditions. *Recycling* 3, Artikel 16.

- Evans, M. (2006). A study of the relationship between regional ferrous scrap prices in the USA, 1958-2004. *Resources Policy* 31, 65-77.
- Densley Tingley, D., S. Cooper, och J. Cullen (2017). Understanding and overcoming barriers to structural steel reuse: a UK perspective. *Journal of Cleaner Production* 148, 642-652.
- Ecotec (2000). *Policy instruments to correct market failure in the demand for secondary materials*. Ecotec Research and Consulting Ltd., Birmingham.
- Ejdemo, T., och P. Söderholm (2008). Steel scrap markets in Europe and the USA. *Minerals & Energy* 23(2), 57-73.
- Ekerot, S. (2003). *Stålets kretslopp*. Rapport i Jernkontorets Forskning Nr D 792, Jernkontoret, Stockholm.
- European Environment Agency (2019). *Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy*. Briefing No. 14/2019, Copenhagen.
- European Parliament (2017). *Supporting the market for secondary raw materials in a circular economy*. IP/A/ENVI/2016-17, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, Brussels.
- Europeiska Kommissionen (1998). *Återvinningsindustrins konkurrenskraft*. KOM(1998) 463 slutlig, Bryssel.
- Europeiska kommissionen (2015). *Att sluta kretsloppet – en EU-handlingsplan för den cirkulära ekonomin*. KOM(2015)614, Bryssel.
- Fenton, M. D. (2007). *Mineral commodity summaries*. U.S. Geological Survey, Reston, USA.
- Filippou, D., och M. G. King (2011). R&D prospects in the mining and metals industry. *Resources Policy* 36, 376-284.
- Fischer, C., A. Torvanger, M. K. Shrivastava, T. Sterner, och P. Stigson (2012) How should support for climate-friendly technologies be designed? *Ambio* 41, 33-45.
- Fisher, F. M., P. H. Cootner, och M. N. Baily (1972). An econometric model of the world copper industry. *The Bell Journal of Economics and Management Science* 3(2), 568-609.
- Fizaine, F. (2020). The economics of recycling rate; new insights from waste electrical and electronic equipment. *Resources Policy* 67, Artikel 101675.
- Fullerton, D., och T. C. Kinnaman (1995). Garbage, recycling and illicit burning or dumping. *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 78-91.
- Fullerton, D., och W. Wu (1998). Policies for green design. *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 78-91.
- Geels, F. (2014). Regime resistance against low-carbon transitions: introducing politics and power into the multi-level perspective. *Theory, Culture and Society* 31, 21-40.
- Geyer, R., och T. Jackson (2004). Supply loops and their constraints: the industrial ecology of recycling and reuse. *California Management Review* 46(2), 55-73.
- Graedel, T. E. (2017). Grand challenges in metal life cycles. *Natural Resources Research* 27(2), 181-190.

- Guide, V. D. R., V. Jayaraman, R. Srivastava, och W. C. Benton (1998). Supply chain management for recoverable manufacturing systems. *Interfaces* 30(3), 125-142.
- Hage, O. (2007). The Swedish producer responsibility for paper packaging: an effective waste management policy? *Resources, Conservation and Recycling* 51, 314-344.
- Hagelüken, C. (2014). Recycling of (critical) metals. I Gunn, G. (Red.), *Critical Metals Handbook*, Wiley, Oxford.
- Hagelüken, C. (2020). Die Märkte der Katalysatormetalle Platin, Palladium und Rhodium – Teil 2. *Metall*, 32-39.
- Hagelüken, C., och C. W. Corti (2010). Recycling of gold from electronics: cost-effective use through 'design for recycling'. *Gold Bulletin*, Vol. 43(3), 209-220.
- Hagelüken, C., J. U. Lee-Shin, A. Carpentier, och C. Heron (2016). The EU circular economy and its relevance to metal recycling. *Recycling* 1, 242-253.
- Hall, R, W. Zhang, och Z. Li (2021). *Domestic scrap steel recycling – economic, environmental and social opportunities*. University of Warwick, Storbritannien.
- Hellsmark, H., J. Frishammar, P. Söderholm, och H. Ylinenpää (2016). The role of pilot and demonstration plants in technology development and innovation policy. *Research Policy* 45, 1743-1761.
- Henrekson, M., C. Sandström, och C. Alm (2021). Investeringar i Norrland, vätgasstålet och hur EU:s nya miljöpolitik leder till miljönationalism. *Ekonomisk Debatt* 49(6), 50-55.
- Hickey, S. W., och C. Fitzpatrick (2008). Combating adverse selection in secondary PC markets. *Environmental Science and Technology* 42, 3047-3052.
- Hitzman, M. W. (2002). R&D in a declining industry (mining): support for the development of evolutionary technologies. *Technology in Society* 24, 63-68.
- Hogg, D., C. Durrant, A. Thomson, och C. Sherrington (2018). *Demand for recycled: policy options for increasing the demand for post-consumer recycled materials*. Report for the Resource Association and WWF UK, Eunomia Research & Consulting Ltd., Bristol.
- Humphreys, D. (2015). *The remaking of the mining industry*, Palgrave MacMillan, Hampshire.
- IEA (2015). *Energy technology perspectives 2015*. International Energy Agency, Paris.
- ISRI (2020). *ISRI scrap specifications circular*. Institute of Scrap Recycling Institute, Washington, DC.
- IRP (2019). *Global Resource Outlook 2019: natural resources for the future we want. A report of the International Resource Panel*. United Nations Environmental Program, Nairobi.
- Jaffe, A. B., R. G. Newell, och R. N. Stavins (2005). A tale of two market failures: technology and environmental policy. *Ecological Economics* 54, 164-174.
- JBF (2020). *Skrotboken 2020*. AB järnbruksförmödenheter, Stockholm.
- Johansson, N., och C. Forsgren (2020). Is this the end of end-of-waste? Uncovering the space between waste and products. *Resources, Conservation and Recycling* 155, Artikel 104566.

Johansson, N., J. Krook, och M. Eklund (2014). Institutional conditions for Swedish metal production: a comparison of subsidies to metal mining and metal recycling. *Resources Policy* 41, 71-82.

Jones, G. (2017). *Profits and sustainability: a history of green entrepreneurship*. Oxford University Press, London.

Kelly, T. D., och G. R. Matos (2014). *Historical statistics for mineral and material commodities in the United States*. Data Series No. 140, U.S. Geological Survey, Reston, USA.

Kemp, R., J. Schot, and R. Hoogma (1998). Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management* 10(2), 175–196.

Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Köhler, J., Kern, F., Markard, J., Wieczorek, A., Alkemade, F., Avelino, F., Bergek, A., Boons, F., Fünfschilling, L., Hess, D., Holtz, G., Hyysalo, S., Jenkins, K., Kivimaa, P., Martiskainen, M., McMeekin, A., Susan, M., Nykvist, B., Onsongo, E., Pel, B., Raven, R., Rohrer, H., Sandén, B., Schot, J., Sovacool, B., Turnheim, B, Welch, D., och Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research: state of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 31, 1–32.

Lavee, D. U. Regev, och A. Zemel (2009). The effect of recycling price uncertainty on municipal waste management choices. *Journal of Environmental Management* 90, 3599-3606.

Lehmann, P., and P. Söderholm (2018). Can technology-specific deployment policies be cost-effective? The case of renewable energy support schemes. *Environmental & Resource Economics* 71, 475-505.

Lerner, J. (2010). *Boulevard of broken dreams. Why public efforts to boost entrepreneurship and venture capital have failed – and what to do about it*. Princeton University Press, New Jersey.

Lindeström, L. (2012). *Kväveutsläpp från gruvindustrin. Risker för miljöproblem, krav på utsläpps begränsningar och möjliga åtgärder*, SweMin, Stockholm.

Ljunggren Söderman, M., och E. Ingemarsdotter (2014). *Användning och återvinning av potentiellt kritiska material*. Kunskapsöversikt. Rapport No. 2014:20, Chalmers tekniska högskola.

LKAB (2020). *Frågor och svar. Vår nya strategi*. Luleå.

Lütkenhorst, W., T. Altenburg, A. Pegels, och Vidican, G. (2014). *Green industrial policy: managing transformation under uncertainty*. Discussion Paper 28/2014, German Development Institute, Bonn.

Markard, J., R. Raven, och B. Truffer (2012). Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects. *Research Policy* 41(6), 955–967.

Material Economics (2020). *Preserving value in EU industrial minerals. A value perspective on the use of steel, plastics, and aluminium*, Stockholm.

Material Economics (2021). *Kritiska metaller för klimatomställningen – möjligheter för Sverige och svensk gruvnäring*, Stockholm.

- McCarthy, A., och P. Börkey (2018). *Mapping support for primary and secondary metal production*. OECD Environment Working Papers No. 135, OECD, Paris.
- Mellgren, E. (2021). Gruvavfall gömmer framtidens råvaror. *IVA Aktuellt* 3, 8–13.
- Meshram, P., B. D. Pandey, och Abhilash (2019). Perspective of availability and sustainable recycling prospects of metals in rechargeable batteries – a resource overview. *Resources Policy* 60, 9-22.
- Moberg, Å. (2006). *Environmental systems analysis tools for decision-making: LCA and Swedish waste management as an example*. Licentiatuppsats, Kungliga tekniska högskolan, Stockholm.
- Murray, F. E. S. (1995). Xerox: design for the environment. Harvard Business School Case 9-749-022, Harvarduniversitetet, Cambridge, USA.
- Nassar, N. T., T. E. Graedel, och E. M. Harper (2015). By-product metals are technologically essential but have problematic supply. *Science Advances* 1, Artikel 1400180.
- Naturskyddsföreningen (2021). *Metaller – en ändlig resurs med oändlig potential*. Stockholm.
- Naturvårdsverket (2013). *Översyn av deponiskatten*. Stockholm.
- Naturvårdsverket (2020). *Extended producer responsibility in Sweden. An overview of extended producer responsibility in Sweden for packaging, newsprint and electrical and electronic equipment, batteries, end-of-life vehicles, tires and pharmaceuticals*. Rapport 6944, Stockholm.
- Naumov, A. V. (2008). Review of the world market for rare-earth metals. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* 49(1), 18-27.
- Nelson, R. R., och S. G. Winter (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Neuhoff, K. (2005). Large-scale deployment of renewables for electricity generation. *Oxford Review of Economic Policy* 21, 88–110.
- Nicolli, F., N. Johnstone, och P. Söderholm (2012). Resolving failures in recycling markets: the role of technological innovation. *Environmental Economics and Policy Studies* 14(3), 261-288.
- Nordic Council of Ministers (2018). *Recycling in the circular economy. How to improve the recycling markets for construction materials, biowaste, plastics, and critical metals*. Policy Brief, Köpenhamn.
- Nuss, P., och M. J. Eckelman (2014). Life cycle assessment of metals: a scientific synthesis. *PloS One* 9, 1-12.
- Nystrom, H. E., W. R. Kehr, och J. Pollock (2001). Impediments to refractory recycling decision-making. *Resources, Conservation and Recycling* 31, 317-326.
- OECD (2003). *Environmentally sustainable buildings*. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD (2006). *Improving recycling markets*. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.

- OECD (2012). *Case study on critical metals in mobile phones*. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD (2021). *Resource efficiency, the circular economy, sustainable materials management and trade in metals and minerals*. OECD Trade Policy Papers No. 245, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Palmer, K., och M. Walls (1999). *Extended producer responsibility: an economic assessment of alternative policies*. Discussion Paper 99-12, Resources for the Future, Washington, DC.
- Pauliuk, S., R. L. Milford, D. B. Müller, och J. M. Allwood (2013). The steel scrap age. *Environmental Science and Technology* 47, 3448-3454.
- Pearce, D., och R. Grace (1976). Stabilising secondary materials markets. *Resources Policy* 2, 118-127.
- Pettersson, M., och P. Söderholm (2019). *Miljölagstiftningens betydelse för stora kunskapsintensiva investeringar*. PM 2019:15, Tillväxtanalys, Östersund.
- Popp, D., N. Santen, K. Fisher-Vanden, och M. Webster (2013). Technology variation vs. R&D uncertainty: what matters most for energy patent success? *Resource and Energy Economics* 35, 505–533.
- Radetzki, M., och C. van Duyn (1985). The demand for scrap and primary metal ores after a decline in secular growth. *Canadian Journal of Economics* 18(2), 435-449.
- Radetzki, M., och L. Wårell (2016). *A handbook of primary commodities in the global economy*. Andra upplagan, Cambridge University Press, London.
- Rasmussen, K. D., H. Wentzel, C. Bangs, m fl (2019). Platinum demand and potential bottlenecks in the global green transition: a dynamic material flow analysis. *Environmental Science and Technology* 53, 11541-11551.
- RDC/PIRA (2003). *Evaluation of the costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the packaging and packaging waste directive 94/62/EC*. RDC och PIRA, Leatherhead, Surrey.
- Reck, B. K., och T. E. Graedel (2012). Challenges in metal recycling. *Science* 337, 690–695.
- Regeringskansliet (2021). *Cirkulär ekonomi – handlingsplan för omställning av Sverige*, Stockholm.
- Reid, M. (2003). *A strategy for construction and demolition waste as recycled aggregates*. WRAP Research and Development Report: Aggregates. Storbritannien.
- Reserve Bank of Australia (2007). *The recent rise in commodity prices: a long-run perspective*. Bulletin April 2007, Canberra.
- Reuter, M. A., och I. V. Kojo (2012). Challenges of metal recycling. *Materia* 2, 50-57.
- Rod, O., C. Becker, och M. Nylén (2006). *Opportunities and dangers of using residual elements in steels: a literature survey*. Jernkontoret, Stockholm.
- Rodrik, D. (2014). Green industrial policy. *Oxford Review of Economic Policy* 30(3), 469–491.
- Rosenberg, N. (1983). *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts.

- Savov, L., E. Volkova, och D. Janke (2003). Copper and tin in steel scrap recycling. *Materials and Geoenvironment* 50(3), 627-640.
- Segerson, K. (1988). Uncertainty and incentives for nonpoint pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management* 15, 87-96.
- SGU (2014). *Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar*. D.nr 3114-1368/2013, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.
- SGU (2021). *Bergverksstatistik 2020*. Periodiska publikationer 2021:2, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.
- Sigman, H. A. (1995). A comparison of public policies for lead recycling. *RAND Journal of Economics* 26(3), 452-478.
- Slade, M. E. (1980a). An econometric model of the U.S. secondary copper industry: recycling versus disposal. *Journal of Environmental Economics and Management* 7, 123-141.
- Slade, M. E. (1980b). The effects of higher energy prices and declining ore quality – copper-aluminium substitution and recycling in the USA. *Resources Policy* 6, 223-239.
- Smink, M., M. Hekkert, and S. Negro (2015). Keeping sustainable innovation on a leash? Exploring incumbents' institutional strategies. *Business Strategy and the Environment* 24, 86-101.
- SOU 2001:2. *En effektiv användning av naturresurser*. Betänkande av Resurseffektivitetsutredningen, Stockholm.
- SOU 2021:21. *En klimatanpassad miljöbalk för samtiden och framtiden*. Regeringskansliet, Stockholm.
- Stein, J. C. (1989). Efficient capital markets, inefficient firms: a model of myopic corporate behavior. *Quarterly Journal of Economics* 104, 655-669.
- Stena Metall (1996). *Annual Report 1995/96*, Göteborg.
- Stern, P., E. Arnold, M. Carlberg, T. Fridholm, C. Rosenberg, och M. Terrell (2013). *Long-term industrial impacts of the Swedish competence centres*. Vinnova Analysis VA 2013:10, Stockholm.
- Stokes, R. G., R. Köster, och S. C. Sambrook (2013). *The business of waste. Great Britain and Germany, 1945 to the present*. Cambridge University Press, New York.
- Stromberg, P. (2004). Market imperfections in recycling markets: conceptual issues and empirical study price volatility in plastics. *Resources, Conservation and Recycling* 41, 339-364.
- Söderholm, P. (2011). Taxing virgin natural resources: lessons from aggregates taxation in Europe. *Resources, Conservation and Recycling* 55(11), 911-922.
- Söderholm, P. (2016). Cirkulär ekonomi ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Kapitel 1 i Konjunkturinstitutet, *Miljö, ekonomi och politik 2016*, Stockholm.
- Söderholm, P., och T. Ekvall (2020). Metal markets and recycling policies: impacts and challenges. *Mineral Economics* 33, 257-272.

- Söderholm, P., och J. E. Tilton (2012). Material efficiency: an economic perspective. *Resources, Conservation and Recycling* 61, 75-82.
- Söderholm, P., A-K. Bergquist, M. Pettersson, och K. Söderholm (2021). The political economy of industrial pollution control: environmental regulation in Swedish industry for five decades. Artikel accepterad för publicering i *Journal of Environmental Planning and Management*.
- Söderholm, P., H. Hellsmark, J. Frishammar, J. Hansson, J. Mossberg, och A. Sandström (2019). Technological development for sustainability: the role of network management in the innovation policy mix. *Technological Forecasting and Social Change* 138, 309–323.
- Thompson, P. (2010). Learning by doing. I H. Bronwyn and R. Nathan (Red.), *Handbook of the Economics of Innovation*. North-Holland, 429–476.
- Tillväxtanalys (2017). *Innovationskritiska metaller och mineral från brytning till produkt – hur kan staten stödja utvecklingen?* Rapport 2017:03, Östersund.
- Tillväxtanalys (2019). *Spårbarhet och märkning av hållbara metaller och mineral – insatser för att öka öppenhet, trovärdighet och efterfrågan*. PM 2019:01, Östersund.
- Tillväxtanalys (2021). *Marknadsbarriärer för återvinning av metaller. En omvärldsanalys av vad som hindrar och främjar konkurrensen mellan utvinnings- och återvinningsindustrin*. Rapport AU 2022:03:01, Östersund.
- Tilton, J. E. (1992). Economics of the mineral industries. In H. L. Hartman (red.), *SME Engineering Handbook*, andra upplagan, SME, Littleton, USA.
- Tilton, J. E. (1999). The future of recycling. *Resources Policy* 25, 197-204.
- Tilton, J. E., och J. I. Guzmán (2016). *Mineral economics and policy*. Resources for the Future (RFF) Press, Washington, DC.
- UNEP (2013). *Metal recycling: opportunities, limits, infrastructure – A report of the working group on the global metal flows to the International Resource Panel*. United Nations Environment Program, Paris.
- U.S. Geological Survey (2005). Iron and steel scrap statistics. I T. D. Kelly, och G. R. Matos, *Historical statistics for mineral and material commodities in the United States*. Survey Data Series 140, Reston, USA.
- Yellishetty, M., G. M. Mudd, P. G. Ranjith, och A. Tharumarajah (2011). Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects. *Environmental Science and Policy* 14, 650-663.
- Yuzov, O. V., och A. M. Sedykh (2003). World trends in the formation and use of scrap metal. *Metall* 47(5-6), 201-205.
- van den Bergh, J. C. J. M. (2020). Six policy perspectives on the future of a semi-circular economy. *Resources, Conservation and Recycling* 160, Artikel 104898.
- van den Bergh, J. C. J. M., och M. A. Janssen (Eds.) (2005). *Economics of industrial ecology: materials, structural change, and spatial scales*, MIT Press, Cambridge.
- van der Have, G-J. (2017). ELV recycling challenges and opportunities to recover CRM. Uppsats presenterad vid workshop 'Critical Raw Materials in Nordic Countries –

- Recovery Potential and Opportunities for Removal of Bottlenecks', 18 januari, 2017, Stockholm.
- Världsbanken (2020). *Minerals for climate action: the mineral intensity of the clean energy transition*. Washington, DC.
- Walls, M, och K. Palmer (2001). Upstream pollution, downstream waste disposal, and the design of comprehensive environmental policies. *Journal of Environmental Economics and Management* 41, 94-108.
- Watari, T., K. Nansai, och K. Nakajima (2020). Review of critical metal dynamics to 2050 for 48 elements. *Resources, Conservation and Recycling* 155, Artikel 404669.
- Watari, T., K. Nansai, och K. Nakajima (2021). Major metals demand, supply, and environmental impact to 2100: a critical review. *Resources, Conservation and Recycling* 164, Artikel 105107.
- Watts, B. M., J. Probert, och S. P. Bentley (2001). Developing markets for recycle; perspectives from South Wales. *Resources, Conservation and Recycling* 32, 293-304.
- Westerlund, J. (2012). *Prisvolatiliteten på återvunnet material. En studie av prisvolatilitetens historiska förändring på marknaden för återvunnet material*. Kandidatuppsats i national-ekonomi, Luleå tekniska universitet, Luleå.
- Wilts, H., O. Lah, och L. Galinski (2018). The evolution of Industry 4.0 and its impact on the knowledge base for the circular economy. I Anbumozhi, Venkatachalam, och Kimura (Red.), *Industry 4.0: Empowering ASEAN for the Circular Economy*. ERIA, Jakarta, 106-126.
- Wübbeke, J., och T. Heroth (2014). Challenges and political solutions for steel recycling in China. *Resources, Conservation and Recycling* 87, 1-7.
- Zachrisson, A., och K. Beland Lindahl (2019). Political opportunity and mobilization: the evolution of a Swedish mining-skeptical movement. *Resources Policy* 64, Artikel 101477.
- Zink, T., och R. Geyer (2017). Circular economy rebound. *Journal of Industrial Ecology* 21(3), 593-602.

Bilagor

Vilka lärdomar har vi skaffat oss under arbetets gång?

Har vi under arbetets gång identifierat frågor som vi saknar svar på men vars svar vi tror skulle ha påverkat resultatet?

Utifrån syftet med ramprojektet/den enskilda studien, hur ser vi att framtagen kunskap kan användas för att effektivisera, utveckla och ompröva tillväxtpolitiken?

På vilket sätt statens insatser bidrar till svensk tillväxt och näringslivsutveckling står i fokus för våra rapporter.

Läs mer om vilka vi är och vad nyttan med det vi gör är på www.tillvaxtanalys.se. Du kan även följa oss på LinkedIn och YouTube.

Anmäl dig gärna till vårt [nyhetsbrev](#) för att hålla dig uppdaterad om pågående och planerade analys- och utvärderingsprojekt.

Varmt välkommen att kontakta oss!



Tillväxtanalys

Studentplan 3, 831 40 Östersund

Telefon: 010-447 44 00

E-post: info@tillvaxtanalys.se

Webb: www.tillvaxtanalys.se