

Koppartillgångarna — en fallstudie i resursuttömning

Romklubbens rapport och energikrisen har återuppväckt människornas urgamla fruktan för att det skall bli allt svårare att tillgodose världens behov av naturtillgångar. Metallerna är därvid en nyckelgrupp av varor som man påstår hotar att ta slut tidigt.

De minst sofistikerade debattörerna har jämfört den nuvarande produktionen av metaller med kända reserver, för att få fram det antal år under vilka produktionen kan fortsätta innan råvaran tar definitivt slut. I en del fall har tidigare utvecklingstendenser för råvaruproduktionen ingått i beräkningarna, varigenom slutdatum flyttas betydligt närmare för sådana metaller som haft en snabb produktionsökning.

På grundval av allmänt tillgängliga data påstås det i en nyutkommen skrift från Världsbanken att de för närvarande kända reserverna av järnmalm skulle räcka för mindre än 50 års produktion, om tidigare produktionstillväxt förblev oförändrad under kommande år. Motsvarande siffror är 20 år för koppar

och bauxit (det mineral ur vilket man utvinner aluminium), 50 år för nickel och mellan 15 och 20 år för malmerna för sådana nyckelmetaller som zink, bly och tenn. Sammanställningar av siffror i stil med de som presenterats här, utgör grunden för otaliga journalistiska och politiska förutsägelser om den industriella civilisationens snart förestående sammanbrott.

Den mer sofistikerade iakttagaren anmärker att det är troligt att ytterligare reserver av malm kommer att hittas. Ekonomisk analys tyder också på att uttömningen kommer att fördröjas av gradvisa prishöjningar och en därav följande minskad efterfrågan, då allt fattigare malmer kommer att brytas. Även under dessa omständigheter sägs situationen vara allvarlig nog. Det hävdas att det blir allt dyrbarare att vidmakthålla och utveckla människans materiella kultur och att denna snart står inför mer eller mindre oöverkomliga gränser, när vi stöter på fysiska eller ekonomiska hinder för tillgången på väsentliga material.

Syftet med denna artikel är att uttrycka en avvikande och mycket mera optimistisk åsikt i fråga om de långsiktiga utsikterna för världens metalltillgångar. Följande analys är koncentrerad till koppar, den metall jag råkar känna till bäst. Denna begränsning tillåter en mera djupgående, detaljerad och specifik framställning. Naturligtvis är inte omständigheterna alldeles de samma för alla metaller. Men likheterna är enligt min mening så betydande, att angreppsmetoden i vår kopparanalys i stort sett går att tillämpa på andra metalliska mineral. De grundläggande slutsatserna verkar vara giltiga inte bara

Fil dr MARIAN RADETZKI är chefsekonom vid CIPEC, de kopparexporterande ländernas samarbetsorgan med säte i Paris. De åsikter som framförs i denna artikel är hans egna och återspeglar inte nödvändigtvis CIPECs officiella syn. Radetzki har tidigare varit verksam bl a vid KF och SIDA och doktoretrade 1972 på en avhandling om bistånd och utveckling.

för koppar utan också för de flesta viktiga metaller i människans tjänst.

Koppars ställning bland metallerna

Koppar var den första metall som användes i större omfattning av människan [Cordero-Tarring 1960]. Redan omkring 8000—9000 år f Kr användes ren koppar av stenåldersfolken i Nilens och Eufrats dalar. Omkring 3500 f Kr blev kopparn mera lättillgänglig då man lärt sig tekniken att smälta kopparmalm. Järnet kom i bruk mycket senare, men framstegen inom järnhanteringen var snabbare och redan 700 f Kr sågs järn ha varit billigare än koppar. Sedan många århundraden har järnet varit den ojämförligt viktigaste metallen i människans tjänst. Under det nuvarande århundradet har den snabba tekniska utvecklingen inom aluminiumproduktionen flyttat ned koppar från andra till tredje plats i fråga om total konsumerad kvantitet. Mätt i värde, fortsätter dock koppar att vara nummer två efter järn. *Tabell 1* ger en grov uppskattning av volym och värde för produktionen av de viktigaste metallerna i världen under 1973.

Flera egenskaper gör koppar till en mycket användbar metall. Den förenar egenskaperna korrosionsbeständighet och utomordentlig smidighet med förstklassig förmåga att leda både elektrisk ström och värme. Koppars främsta användningsområde var tidigare inom sådana områden där korrosionen var ett problem. Utvecklingen av rostfritt stål och minskade kostnader för aluminium har minskat koppars betydelse som korrosionsbeständigt material. Under de senaste decennierna har mer än hälften av all kopparkonsumtion legat inom den elektriska industrin men även här har koppar i betydande utsträckning ersatts av aluminium, en mindre effektiv men billigare elektrisk ledare. Ett annat av den röda metallens viktiga användningsområden är byggnadsindustrin (rör av olika slag). Hållbarheten och lätthanterligheten gör där kopparn överlägsen sådana ersättningsmaterial som plast och aluminium. Transportindustrin är en annan stor kopparkonsument. Försök att

Tabell 1. Viktigare metaller under 1973

Metall	Världsproduktion, tusen ton	Pris dollar per ton	Världsproduktionens värde, miljoner dollar
Järn	460 000	84	39 000
Koppar	7 500	1 780	13 300
Aluminium	12 500	580	7 200
Zink	5 650	850	4 800
Nickel	640	3 310	2 100
Bly	3 550	430	1 500
Tenn	230	4 850	1 100

Källor: World Bureau of Metal Statistics, Metallgesellschaft och *Metals Week*.

ersätta koppar i bilbatterier med något annat har inte haft någon kommersiell framgång. Koppars goda formbarhet och dess överlägsna värmeledningsförmåga har gjort att den hittills har kunnat behålla en obestrid position på detta område.

Vår beskrivning av koppars användning på olika områden tillåter en viktig slutsats: Trots sin betydelse är koppar ingalunda outhärligt på något av sina användningsområden. Om av något skäl dess relativpris skulle öka kraftigt på lång eller kort sikt, kan vi vänta oss att ersättningsmaterial snabbt kommer att accepteras på de flesta områden, med en kraftigt minskad efterfrågan som följd. Denna slutsats är förvisso lika giltig för de flesta metaller med industriell användning. Direkt fysisk knapphet på någon metall vilken som helst skulle bara tillfälligt ge upphov till ekonomiska och tekniska svårigheter. Den tekniska utvecklingens allt större flexibilitet skulle snart åstadkomma de anpassningar som behövs för att klara av problemet.

Kopparreserverna

Mineralreserver är ett synnerligen vagt och tånjbart begrepp. Definitionerna på reserver varierar, variationer i metallpriserna kan leda till betydande tillskott till eller minskning i vad som betraktas som brytvärda reserver, och gruvbolagen, som har den mest detaljerade informationen om mineralernas tillgänglighet, är ofta ovilliga att avslöja vad de vet.

År 1960 beräknades de uppmätta och

påvisade¹ kopparreserverna i världen uppgå till omkring 190 miljoner ton, vilket skulle räcka för 45 års utvinning i den då rådande takten på 4,2 miljoner ton per år. Under de tretton år som följde, steg kopparproduktionen, så att den nådde 7,2 miljoner ton under 1973. Sammanlagt togs mer än 70 miljoner ton koppar upp ur jorden. Trots detta hade 1973 års kopparreserver ökat till 340 miljoner ton, vilket ger 47 års produktion vid nu rådande utvinningstakt.² Reservernas stabila tillväxt i harmoni med produktionsökningen är anmärkningsvärd.

Data för Förenta staterna, som går längre tillbaka i tiden, presenteras i tabell 2. De bekräftar intrycket att reserver skapas under hand i samma takt som produktionstillväxten.

Ett utmärkt hjälpmedel för att förstå dynamiken i mineraltillgångarna är *figur 1*, som först presenterades av Mc Kelvey [1972]. De existerande tillgångarna på ett mineral kan klassificeras på ettdera av två sätt. Längs den vågräta axeln har tillgångarna ordnats i fallande skala enligt säkerheten i den geografiska informationen om varje fyndighet. Längs den lodräta axeln har fyndigheterna ord-

¹ Härmed avses reserver vars befintlighet är fastställd men ej uppmätt.

² De data som presenteras här är en sammanställning av siffror ur dokument som publicerats av *US Bureau of Mines* och ur den månatliga publikationen *World Metal Statistics*.

Tabell 2. Trenden i uppskattningar av de amerikanska kopparreserverna

År	Reserver, miljoner ton	Brytning i USA, tusen ton	Reservernas återstående livslängd, år
1931	16,9	540	31
1936	21,3	650	33
1945	26,3	720	37
1960	29,2	990	30
1973	74,7	1 570	48

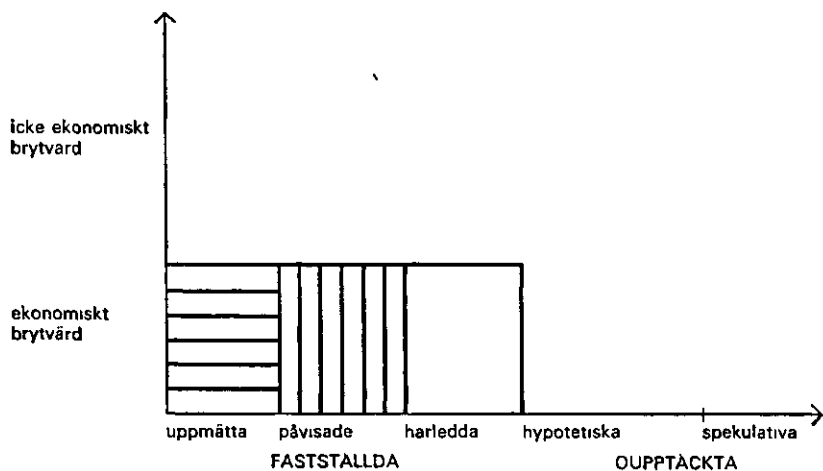
Källa: A. D. McMahon, *Copper, a Materials Survey*, US Bureau of Mines Information Circular 8225, Washington DC 1965, US Bureau of Mines Commodity Data Summaries 1974, och *World Metal Statistics*.

nats efter möjligheterna till ekonomiskt lönsam utvinning. Normalt klassificeras endast de ekonomiskt mätta och de påvisade fyndigheterna (skuggade i diagrammet) som reserver. Ibland ingår också härledda³ tillgångar i de uppskattade reserverna. Det bör betonas att skillnaderna mellan resurskategorierna — prydliga linjer i vårt diagram — i verkligheten är oklara. De olika kategorierna går ofta om lott.

Gruvdriften gör efter hand slut på de uppmätta brytvärda reserverna. Ständiga

³ Med härledda avses reserver vars existens fastställts med indirekta metoder (information om geologiska förhållanden o dyl) medan malmkropparnas belägenhet och utsträckning inte studerats.

Figur 1. Klassificering av mineraltillgångar



nyupptäckter uppväger denna reservutömning genom ny kunskap om ofullständigt fastställda malmkroppar som kan läggas till de uppmätta eller påvisade kategorierna. Man kan uppfatta processen som en långsam rörelse åt vänster i vårt diagram i de olika kategorierna av ekonomiskt brytvärda mineraltillgångar.

Malmletning för med sig betydande utgifter. Den kan uppfattas som en investeringsprocess varigenom kapital i form av uppmätta malmkroppar skapas genom gradvis fastställande av spekulativa eller hypotetiska mineraltillgångar. Två slutsatser följer av detta sätt att betrakta malmletningsprocessen. För det första kommer prospekteringen inte att fullföljas till det påvisade eller uppmätta stadiet om inte mineralfyndigheten visar sig vara brytvärd. Tillgångarna tenderar att lämnas ofullständigt fastställda så snart det står klart att de inte är ekonomiskt brytvärda. Den andra slutsatsen är att utforskningen inte kommer att fortsätta utöver vad som behövs för att man skall vara säker på en stabil mineralutvinning. Givet investeringarna i en viss förädlingskapacitet för att bearbeta mineralen, blir det inte ekonomiskt att investera i en ökning av malmreserverna utöver en multipel av vad som kan förädlas varje år. Endast om förädlingskapaciteten utökas, blir det ekonomiskt att påskynda utforskning och reservökningen, så att multipeln hålls konstant. Tankegången gäller både för privata gruvbolag och för nationer

En kvot mellan reserver och årlig produktionstakt på omkring 30 är vanlig för många mineral. Med oförändrad produktion kommer reserverna att räcka i 30 år. De kommer att räcka i 18 år om produktionen växer med 5 procent om året och i 14 år om den årliga produktionsökningen är 10 procent. Följaktligen finns det föga skäl för producenten att investera i reserver (betraktade som en form av produktionsutrustning) som han inte kommer att använda förrän efter 15—30 år. Med en diskonterings-sats på 10 procent kommer den extra kostnaden för producenten av att investera i dag för att skapa kapitaltillgångar som skall ligga oanvända i 15 år att motsvara mer än 300 procent av

investeringsutgifterna. Från en ekonomisk synpunkt framstår till och med en kvot mellan reserver och årlig produktions-takt på 30 som ganska hög.

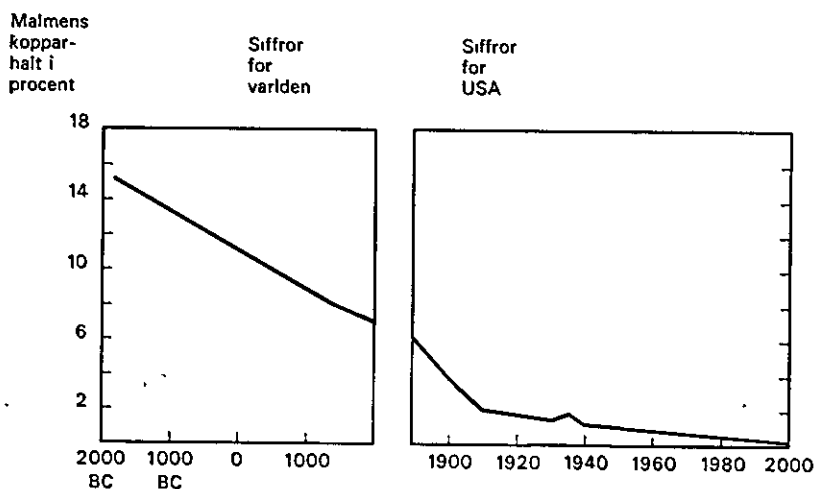
Kopparmalmernas försämring och nationell konkurrenskraft

Det har funnits en allmän tendens att allt fattigare malmer har blivit brytvärda efter hand. Detta är också sant när det gäller koppar. I slutet av 1800-talet måste kopparmalmen innehålla minst 5—6 procent koppar för att betraktas som brytvärd. I början av 1970-talet hade gränshalten för vad som betraktades som brytvärd mineral sjunkit under 0,5 procent.

Figur 2 belyser den långsiktiga historiska nedgången i det genomsnittliga metallinnehållet i brutna kopparmalmer. Minskningen under de två senaste århundradena var främst ett resultat av den väldiga produktionstillväxten under denna period. De metallkvantiteter som krävdes i industrialiseringsprocessen översteg kraftigt de kända och hypotetiska tillgångarna på högprocentig kopparmalm.

Minskningen av metallinnehållet i de brytvärda malmerna har haft en mycket kraftig uppåtriktad effekt på mineralreservernas nivå. Det finns en tumregel som säger att tillskottet av ekonomiskt brytvärd metall i kända fyndigheter växer geometriskt med varje enhets minskning av den accepterade mineralhalten [Adelman 1970, s 137]. Följaktligen var förmodligen det tillskott till de brytvärda kopparreserverna som kom av att gränsen för metallinnehåll i malmerna sänktes med en tiondels procent från 0,6 till 0,5 under ett till två årtionden, större än det som var resultatet av en hel procents minskning från 3 till 2 procents metallinnehåll vid sekelskiftet. Eftersom det är troligt att metallinnehållet i de oupptäckta fyndigheterna är ungefär detsamma som i de kända malmkropparna, kan vi räkna med att ett liknande förhållande också gäller för de mycket större härledda, hypotetiska och spekulativa mineraltillgångarna. Varje minskning av mineralhalten i de brytvärda kopparmalmerna under den nuvarande låga nivån, kommer därför att

Figur 2 Genomsnittliga metallhalter i bruten malm



ge stora tillskott till de faktiska och potentiella brytvärda malmtillgångarna.

Den snabba minskningen av metallinnehållet i vad som betraktas som brytvärda kopparmalmer har fått en del överraskande effekter på reservuttömningsprocessen. El Teniente-gruvan i Chile, som öppnades i början av 1800-talet, stängdes 1897 sedan all dess högprocentiga malm tagit slut. Den öppnades igen 1912 med en mycket större men fattigare malmkropp som underlag. År 1920 svarade denna en gång tömda och nedlagda gruva för 20 procent av Chiles totala produktion [Grunvald—Musgrove 1970, s 167]. El Teniente är i dag en av världens största gruvor, med uppmätta och brytvärda reserver som räcker för åtminstone 50 års produktion och med ännu större härledda och hypotetiska malmtillgångar som återstår att fastställa i detalj.

Historien om El Teniente är inte ett isolerat fall. 1973 införde man i Zambia i stor skala en ny lakningsteknik (en kemisk metod varigenom en 0,5 procentig malm koncentreras till så kallad cementkoppas med 80—85 procents metallinnehåll) som utvecklats i slutet av sextiotalet. I Chingolas lakningsanläggning kommer omkring 100 000 ton raffinerad koppar per år (omkring 14 procent av Zambias totala produktion) att erhållas ur den slagg som samlats under årtionden av gruvdrift. Slaggen innehåller mellan 0,5 och 0,7 procent koppar i en kemisk förening (kopparoxid) som inte

kunde utvinnas ekonomiskt innan den nuvarande tekniken uppfunnits. Det mest anmärkningsvärda är emellertid att koppar därmed kan erhållas ur det som tidigare betraktades som en avfallsprodukt, till en kostnad som ligger avsevärt under kostnaderna för brytning i nya gruvor i Zambia. De totala kostnaderna i lakningsanläggningen inklusive avskrivning men utan avkastning på det investerade kapitalet, är omkring 25 procent lägre per enhet raffinerad koppar än i vanlig gruvdrift. Investeringarna per ton kapacitet ligger också avsevärt under vad som skulle behövas för att utvidga existerande gruvor eller öppna nya. Ändå är både driftskostnaderna och kapitalkostnaderna högre än de skulle behöva vara på grund av projektets karaktär av experiment. Om en liknande anläggning skulle byggas en gång till med tillgång till de nu vunna erfarenheterna skulle kapitalkostnaderna förmodligen minska med ungefär 30 procent och driftskostnaderna med all sannolikhet också bli avsevärt lägre.⁴

De förhållanden som beskrivits här är inte unika för koppar. Det rapporteras från guldgruvdriften att sänkningen av metallinnehållet i brytvärd malm har gett upphov till förädling av slagg från guldgruvor inte bara en gång

⁴ Upplysningar som författaren skaffat sig genom intervjuer vid Tailings Leach Plant, Chingola Division, Nchanga Consolidated Copper Mines Ltd i Zambia i juni 1974.

utan under två på varandra följande perioder [Page 1973]. Nya mineralupptäckter plus sänkt metallinnehåll i brytvärda malmer fortsätter att hålla tidpunkten för mineraltillgångarnas slutliga uttömning på långt avstånd från nu-tiden.

Om man tar efterfrågefunktionen för koppar som given, kommer det långsiktiga priset att bestämmas av kostnaderna i de marginellt ekonomiskt lönsamma nya gruvorna. Dessa kostnader beror i sin tur på många faktorer såsom de nya fyndigheternas storlek, deras läge och därav följande transportkostnader eller skatten på gruvdrift i olika producentländer. Men den främsta kostnadsposten är metallutvinningsprocessen och denna varierar direkt med malmens metallinnehåll. Givet det tekniska kunnandet i varje tidpunkt, blir följaktligen en nyckelfaktor för de långsiktiga marginella tillgångarnas kostnader just utvinningskostnaderna för malmer med ett metallinnehåll strax ovanför vad som är brytvärt. Bortsett från andra produktionskostnader kommer endast länder vars tillgångar har ett metallinnehåll över detta gränsvärde att vara i den situationen att de kan bedriva en konkurrenskraftig kopparproduktion.

I en värld där produktionsfaktorerna kan röra sig fritt för att finna de lönsammaste möjligheterna, skulle man vänta sig att prospekteringen var ganska jämnt spridd över jordklotet. Det skulle då över hela världen finnas en världsomfattande tendens att först lokalisera och skumma av de rikaste fyndigheterna, var de än råkade finnas, och sedan gradvis övergå till sämre malmer för att kompensera för den pågående uttömningen av reserverna och tillfredsställa en växande efterfrågan på metall i världen. Då och då skulle oväntat rika malmer upptäckas, men det normala tillskottet till reserverna skulle bestå i marginella malmer, med ett metallinnehåll som ligger nära gränsen för vad som är brytvärt, oavsett deras läge.⁵

De verkliga förhållandena i världen stämmer inte alls överens med bilden ovan. Historiskt har malmletning varit

⁵ Vad som är brytvärt skulle naturligtvis variera en smula för att motverka skillnaderna i transportkostnader.

starkt koncentrerad till de utvecklade delarna av världen medan de underutvecklade länderna har försumrats. Världsbanken säger i en mycket grov uppskattning att u-länderna år 1970 utgjorde omkring hälften av världens sammanlagda yta och svarade för mindre än 40 procent av de globala mineralreserverna. Detta är inte ett naturens resultat utan en följd av prospekteringens ojämn spridning. Malmletning har haft mycket lägre prioritet i u-världen. De privata multinationella gruvbolagen, som till helt nyligen har svarat för större delen av malmletningen, har föredragit att arbeta i utvecklade länder med stabila regeringar och lagar och med en väletablerad infrastruktur vari ingår offentligt finansierade geologiska undersökningar. Bortsett från en del av de gamla gruvområdena har u-världen tills helt nyligen varit i stort sett jungfrulig mark för malmletaren.

Som ett resultat av den relativt noggranna prospekteringsverksamhet som Nordamerika, Västeuropa och Japan varit föremål för under långa tidsperioder är det inte troligt att nyupptäckta stora kopparfyndigheter där skall innehålla mycket mer än låt oss säga 0,5 procent metall. Detta gäller inte u-länderna. Ökande kunskaper om hittills utforskade områden i dessa länder avslöjar efter hand betydande fyndigheter som är mycket rikare i fråga om metallinnehåll.⁶

Malmletning i u-länderna sker fortfarande i långt mindre grad än som är geologiskt motiverat. Givet deras yta och potentiella tillgångar skulle det krävas en årlig utgift på 200 miljoner dollar för att det skulle motsvara prospekteringsutgifterna i den utvecklade världen.

⁶ Till stöd för detta har vi ur olika källor sammanställt data om stora kopparmalmkroppar (över 100 miljoner ton) som fått publicitet på senare år, antingen därför att man förbereder exploatering eller därför att produktionen expanderar. Denna lista är ingalunda fullständig. I allmänhet bekräftar den textens tes att stora kopparfyndigheter i länder med en lång prospekteringsstradition och gruvdrift tenderar att vara fattigare än annorstädes. Men den antyder också att det kan finnas viktiga undantag från regeln, som de väldiga rika kopparfyndigheterna som nyligen fastställts i Polen. (Se nästa spalt.)

Faktiska utgiftsnivåer på senare år har inte överstigit 50 miljoner dollar [Freyman 1974].

Men till och med denna låga utforskningsnivå utgör en ganska stor ökning jämfört med läget för bara några år sedan. Prospektering för metalliska mineral i u-länder har ökat kraftigt under de

Land och namn	Malmkroppens storlek, miljoner ton	Kopparinnehåll procent
<i>Kanada</i>		
Gaspe Copper mines	136	0,36
Gibraltar Mines	325	0,37
Lornex	265	0,43
Utah International	255	0,52
<i>USA</i>		
Bagdad Copper	272	0,51
Pinto Valley, Cities	318	0,44
Lakeshore, Hecla	426	0,75
Safford, Phelps Dodge	227	0,92
<i>Australien</i>		
Mount Isa	122	3,00
<i>Chile</i>		
Chuquicamata	490	1,84
	700	1,10
Exotica	155	1,50
	185	1,15
El Teniente	585	1,42
	2 040	0,93
Rio Blanco	155	1,58
El Abra	700	0,90
Los Palambres	470	0,80
<i>Iran</i>		
Sar Chesmeh	400	1,12
<i>Mexiko</i>		
La Caridad	636	0,80
<i>Panama</i>		
Cerro Colorado	2 000	0,80
<i>Polen</i>		
Lublin Legnica		
Glogow	736	1,80
<i>Peru</i>		
Cuajone	450	1,00
Cerro Verde	135	1,10
Quellaveco	180	0,94
Marococha	320	0,76
Michiquillay	570	0,72
<i>Zaire</i>		
Musoshi, Sodimiza	100	2,55
<i>Zambia</i>		
Mufulira	136	3,27
Nchanga	235	3,91

senaste årtiondena, i spåren av tredje världens gradvisa ekonomiska frigörelse. De nya oberoende regeringarna börjar i allt högre grad inse mineraltillgångarnas potentiella rikedom. Nationella institutioner har satts upp i många länder för att genomföra geologisk kartläggning och malmletning. FN:s utvecklingsprogram ger aktiv hjälp i dessa strävanden. En ytterligare stimulans till mineralprospektering i u-världen kom från den rädsla som uppstod i början på sjuttioalet för att naturtillgångarna hotade att ta slut. Som en reaktion på detta har regeringarna i många i-länder börjat ge generösa bidrag till sina nationella gruvbolag för prospektering i tredje världen.

Dessa snabbt ökande utforskningsinsatser har resulterat i en påtaglig ökning av rika mineralfyndigheter av alla slag. Kopparreserverna i de "gamla" kopparproducerande u-länderna har växt betydligt. Flera potentiellt kopparproducerande länder har tillkommit, däribland Indonesien, Iran och Panama, där stora rika kopparmalmkroppar har fastställts på senare år. De nya kopparproducerande länderna kommer otvivelaktigt att ställas inför många svårigheter när de inleder sin produktion, men de kommer gradvis att förbättra sitt konkurrensläge. För det första kommer de att kunna hålla nere produktionskostnaderna när de lär sig att bemästra de tekniska och kommersiella problemen. För det andra kommer de med växande produktion att kunna dra den fulla nyttan av stordrift i produktionen och i gruvdriftens kapitalintensiva infrastruktur. Därigenom kommer deras konkurrenskraft snart att kunna mäta sig med traditionellt kopparproducerande u-länders som Chile och Zambia.

Det är fullt möjligt att den intensifierade mineralutforskningen i u-länderna kommer att hejda eller till och med för en tid vända den långsiktigt nedåtgående utvecklingen av metallinnehållet i brytvärda kopparmalmer. Viktigare är att koppargruvorna i en del utvecklade länder kanske blir olönsamma och måste stängas som ett resultat av den snabbt expanderande utforskningen i Afrika, Asien och Latinamerika.

På detta sätt kan ekonomiskt fördel-

aktiga mineralreserver ta slut på nationell nivå. Förenata staterna, Japan och flera europeiska länder har redan gjort slut på sina bästa koppartillgångar. Noggranna geologiska undersökningar och malmletning under långa perioder gör det allt mindre troligt att nya högprocentiga fyndigheter skall upptäckas. Med ett givet världsmarknadspris på koppar blir produktion i deras återstående lågprocentiga tillgångar allt mindre konkurrenskraftigt [Stewardson 1970] och dessa gruvor måste stängas för att man skall undvika förluster när rikare fyndigheter upptäckts och börjar exploateras i andra delar av världen. Denna slutsats påverkas inte av eventuella tekniska framsteg inom prospektering. Förbättrade prospekteringsmetoder skulle kunna bidra till att avslöja rikare, hittills oupptäckta mineraltillgångar i de utvecklade länderna. Men vinsterna av en förbättrad prospekteringsteknik skulle med all sannolikhet tillfalla u-länderna i samma mått. Följaktligen skulle inte nya prospekteringsmetoder förändra det relativa konkurrensförhållandet mellan de två grupperna av länder.

Innebörden av sinande koppartillgångar

Uttömning i global skala är emellertid ett helt annat problem och får inte blandas ihop med den nationella resursuttömning som just beskrivits. Fysisk uttömning i någon absolut mening är inte något realistiskt påstående eftersom vi redan konstaterat att tillgången på brytvärd malm växer geometrisk med varje aritmetisk minskning i gränshalten för brytvärda fyndigheter. Om bara tillräckligt lågprocentiga malmer kan exploateras kommer det alltid att finnas tillräckligt med koppar.

Om man kunde bortse från kostnaderna skulle vilken malm som helst kunna användas för kopparkopparproduktion. Men kostnaderna är en nyckelfaktor i gruvdrift. Stora ansträngningar har därför lagts ned på tekniska innovationer, varigenom kostnadshöjningarna kunnat hållas nere när allt fattigare malmer tagits i bruk. Kostnadsminskande tekniska framsteg är ett permanent drag i gruvindustrin, men den är ingalunda synkro-

niserad med den press uppåt på kostnaderna som följer av användning av allt fattigare malmer. Produktionskostnaderna tenderar att sjunka under perioder med tekniska genombrott. Men de stiger om de tekniska framstegen inte räcker till för att neutralisera de fattigare malmerernas effekt på kostnaderna. När detta händer, tenderar kopparpriset att stiga, efterfrågan ökar mindre och gränshalten för brytvärda malmer sjunker i långsammare takt. Ju högre produktionskostnader, desto högre blir den långsiktiga prisnivån och desto mindre blir efterfrågan på koppar.

Man skulle kunna tänka sig en situation där kopparkostnaderna och priserna steg så högt att koppar nästan helt prissatte sig själv ut ur marknaden. Koppar skulle bli som en ädelmetall och endast de allra mest lättillgängliga malmfyndigheterna skulle i denna situation omvandlas till metall till kostnader och priser som marknaden skulle acceptera. Detta är den situation med global ekonomisk uttömning som man oroar sig så mycket för i vissa prognoser om framtida resursproblem.⁷

Historiska utvecklingstendenser i reala kostnader och priser för koppar

Vad säger oss historien om de tekniska framstegens möjlighet att motverka den press uppåt på produktionskostnaderna som följer av att man efter hand använder allt fattigare malmer över tiden? Produktionskostnadsdata är svåra att få tag i och deras definitioner varierar kraftigt. Det finns emellertid ett indirekt sätt att uppskatta kostnaderna. Om vi inriktar oss på långa tidsperioder kan det hävdas att prisutvecklingen i en relativt konkurrensbetonad bransch som koppar borde följa förändringarna i de

⁷ Vi bör observera att en metall som koppar kan prissättas ut ur marknaden även om dess reala produktionskostnader och prisnivåer inte steg alls. Detta skulle kunna hända om kostnaderna och priserna för nära substitut till koppar som aluminium, plast och rostfritt stål upplevde en varaktig nedåtgående trend i förhållande till koppar. Trots stabila reala priser skulle koppar då gradvis förlora mark till konkurrerande material.

totala kostnaderna i nya marginella gruvor. Priset skulle då upplysa oss om kostnadsutvecklingen i marginellt brytvärda gruvor som öppnats vid olika tidpunkter.

En försiktig tolkning av prisdata är naturligtvis nödvändig. Priserna skulle återspegla kostnaderna på ett riktigt sätt endast under perioder med en någorlunda långsiktig jämvikt på kopparmarknaden. Priserna kan stiga långt över de kostnadsnivåer vi söker fastställa under perioder då kapaciteten anpassar sig till en högre efterfrågenivå, eller då producenterna medvetet skär ner sitt utbud till marknaden. Motsatsen skulle inträffa under tider med överkapacitet till följd av ouppfyllda efterfrågeförväntningar. Kapacitetsexpansionen skulle då hejdas och priset skulle inte ge full kostnadstäckning i de senast öppnade marginellt lönsamma gruvorna. Men med en viss försiktighet borde det vara möjligt för oss att övervinna dessa komplicerade faktorer och fastställa perioder när kopparmarknaden låg acceptabelt nära ett långsiktigt jämviktsläge. Detta skulle göra det möjligt för oss att bilda oss en uppfattning om produktionskostnadernas utveckling i nya marginellt lönsamma gruvor vid olika tidpunkter.

I *figur 3* har de genomsnittliga årliga kopparpriserna i London från 1851 till 1973 deflaterats med en serie kedjade index för parthandelspriserna i Storbritannien med 1970 som basår. Alla kedjeindex ger upphov till tolkningsfrågor. Prisobservationer för äldre tider tenderar också att vara osäkra. Vår kunskap om de reala kopparpriserna i det förgångna är därför mycket mindre klar än vad som framgår av det prydliga diagrammet. Men med denna reservation i minnet vill vi ändå påstå att *figur 3* är en godtagbar indikator på förändringar i det reala kopparpriset under den period det täcker.

En omtolkning av prissiffrorna i diagrammet till kostnadstermer skulle kunna ge följande slutsats: Från 1850 till omkring 1880 gick kostnaderna för att framställa koppar i marginellt lönsamma nya gruvor ned mycket kraftigt, trots en samtidig minskning av den genomsnittliga metallprocenten från kanske så mycket som 6 procent till omkring 4 procent. Detta var en följd av en gradvis

förändring från selektiv till icke selektiv gruvsdrift som möjliggjorts genom sådana uppfinningar som ramförtimringsbrytning och blockrasbrytning [Herfinsdahl 1959, s 210—211, McMahon 1965, s 34]. De omfattande ökningar i produktiviteten som blev följden av dessa framsteg tillät exploatering av malmkroppar med mycket lägre metallnehåll än förut till betydligt lägre kostnad.

Kostnadsutvecklingen under perioden från 1885 till slutet av första världskriget återspeglas inte bra i våra prisdata. Detta beror på att priserna under denna period vid upprepade tillfällen blev konstlat höga genom artificiella kortsiktiga marknadsförhållanden. Sålunda förklaras alla de tillfälliga topparna 1888, 1899—1901, 1905—1907 och 1912—1913 av försök från producenters eller finansierares sida att höja priserna genom att begränsa utbudet på marknaden. Toppen år 1916 återspeglar den efterfrågehausse som första världskriget gav upphov till.

Kostnadssänkande tekniska framsteg fortsatte emellertid under denna period. Två viktiga nyheter infördes i kopparbrytning och -utvinning omkring sekelskiftet. Den första var den snabba spridningen av dagbrytning av ytligt liggande lågprocentiga fyndigheter. Detta var en följd av utvecklingen av stora massflyttningsmaskiner, som gjorde det möjligt för gruvarbetarna att hantera mycket större kvantiteter malm, slagg och gråberg. Den andra kompletterande uppfinningen var flotationsprocessen. Flotation erbjöd ett billigt sätt att koncentrera malm innan den sändes till smältverken. Gränshalten för brytvärda malmer sjönk betydligt under 2 procent som ett resultat av dessa två tekniska landvinningar.

Det kostnadssänkande inflytandet av dessa två nyheter bidrog i hög grad till kopparprisernas kraftiga fall mot slutet av första världskriget. Det är emellertid möjligt att priserna föll mera än som var befogat av förändringarna i kostnadsnivåerna. Under större delen av tjugotalet fanns det helt enkelt inte tillräcklig efterfrågan för den produktionskapacitet som byggts upp under första världskriget. Också under trettioalet hölls kopparefterfrågan tillbaka och kopparpriserna förblev låga som en följd av den

stagnerande industriproduktionen i Europa och Nordamerika. Det är mycket troligt att genomsnittspriset under dessa två årtionden var för lågt för att ge full kostnadstäckning för ett stort antal leverantörer.

De tekniska framstegen har varit mindre framträdande efter de viktiga innovationerna omkring sekelskiftet. Gruvdrift har blivit allt mera kapitalintensivt med tiden, varigenom kostnadseffekten av i-ländernas snabbt stigande löner minskats. Den ökande kapitalintensiteten, som till stor del beror på stora mängder fast utrustning, har gjort att mineralfyndigheternas storlek blivit en mycket viktig faktor för utvinningens lönsamhet. Gränshalten för brytvärd malm blir lägre när malmkroppen är stor nog för att tillåta brytning under hela infrastrukturens och gruvutrustningens livslängd.

Andra världskriget gav en mycket stark stimulans åt kopparefterfrågan, men priserna hölls med hjälp av regleringar nere på så låg nivå att det avskräckte från kapacitetsexpansion.

Den omfattande höjningen av kopparpriserna mellan 1946 och 1955 återspeglar inte en motsvarande ökning i produktionskostnaderna. Det är mera troligt att den reflekterar oförmågan att anpassa produktionskapaciteten på kort sikt till en snabbt växande efterfrågan. Med produktionsenheternas ökande storlek har investeringar i kopparbrytning blivit en mycket utdragen process. Det tar ofta fem år eller mera från investeringsbeslutet till dess produktion kan sätta i gång. Under den aktuella perioden behövdes nio år för att kapaciteten skulle komma i harmoni med efterfrågan.

Det är sannolikt att de prisnivåer som rådde mellan 1957 och 1963 var relativt litet snedvridna och faktiskt gav en riktig bild av produktionskostnaderna i nya marginellt lönsamma gruvor under denna tid. Till denna slutsats kom Herfindahl [1959 kap. 6] efter noggrann genomgång av olika källmaterial. Affärstidningarnas kommentatorer liksom ledande företagsledare ansåg till övervägande del att priserna 1957—58 räckte för att ge nödvändig avkastning både i större delen av de existerande anläggningarna och i de kapacitetsutvidgning-

ar som väntades tillkomma under de närmaste åren. I början av sextioalet vidtog de större kopparproducenterna åtgärder för att hindra priserna från att stiga över den rådande nivån. Avsikten var att förhindra att koppar ersattes med aluminium. Denna producentaktion stöder förvisso påståendet att näringslivet betraktade priserna som tillräckliga för en betydande produktionstillväxt.

I ett historiskt perspektiv utmärks perioden från 1964 till 1974 av i genomsnitt extremt höga kopparpriser. Ökningen från nivåerna under 1957—63 var alltför plötslig för att kunna förklaras med en motsvarande förändring i produktionskostnaderna. Vi är böjda att tro att produktionskostnaden i nya gruvor har hållit sig på en i stort sett oförändrad nivå i reala termer sedan början av sextioalet. De enorma jordräntor som tillfallit dem som stått för kopparproduktionen under det senaste årtiondet skulle enligt vår åsikt ha följande två förklaringar. För det första har vi haft en oväntad snabb efterfrågeökning, till följd av de mycket höga tillväxttakterna i de industrialiserade marknadsekonomierna sedan början av sextioalet, en utveckling som fortsatt en god bit in på sjuttioalet. För det andra har perioden bevittnat en mycket långtgående överföring av kontrollen över extraktiva industrier till regeringarna i u-länderna. Denna process har inte varit smärtfri, och har då och då lett till öppen konflikt. Framför allt har den lett till en nästan fullständig frånvaro av tillväxt i kopparproduktionen i u-världen. Ökningen i kopparproduktionen i de icke-socialistiska u-länderna var inte mer än omkring 1,5 procent per år eller sammanlagt 16 procent mellan 1963 och 1973, vilket skall jämföras med 63 procent för hela världen. Kombinationen av dessa två faktorer verkar ha orsakat den iakttagna överskottsefterfrågan och de kraftigt höjda prisnivåerna på kopparmarknaden.

Man skulle naturligtvis ha kunnat vänta sig en anpassning till denna utvidgade överskottsefterfrågan genom en snabbare tillväxt i kopparproduktionen i i-länder som Australien, Kanada eller Förenta staterna. Detta har också ägt rum i viss utsträckning. Produktionen i dessa tre länder steg snabbare än världs-

genomsnittet under den tioårsperiod som slutade 1973. Men det har funnits välgrundad tveksamhet från investerarnas sida att utvidga denna produktion alltför mycket. Detta beror på att man fruktade att många sådana investeringar skulle bli olönsamma sedan u-länderna löst sina problem och inlett produktion ur sina överlägsna tillgångar till lägre kostnader. Anpassningen blev därför inte tillräcklig för att undanröja över-skottsefterfrågan och de höga kopparriserna blev bestående.

Situationen har varit mycket gynnsam för etablerade kopparproducerande u-länder som Zambia och Chile. Deras produktionskostnader låg långt under kostnaderna i de marginella gruvor som öppnades under denna tid. En mycket stor jordränta kunde därför fås ur kopparproduktionen. Denna tillföll statskassan direkt där kopparsektorn hade nationaliserats. Men även där ägandet låg kvar i privata händer, ökade snabbt regeringarna sina kunskaper i hur de skulle kunna ta hem större delen av de uppkomna kopparräntorna genom olika slags skatter och pålagor.

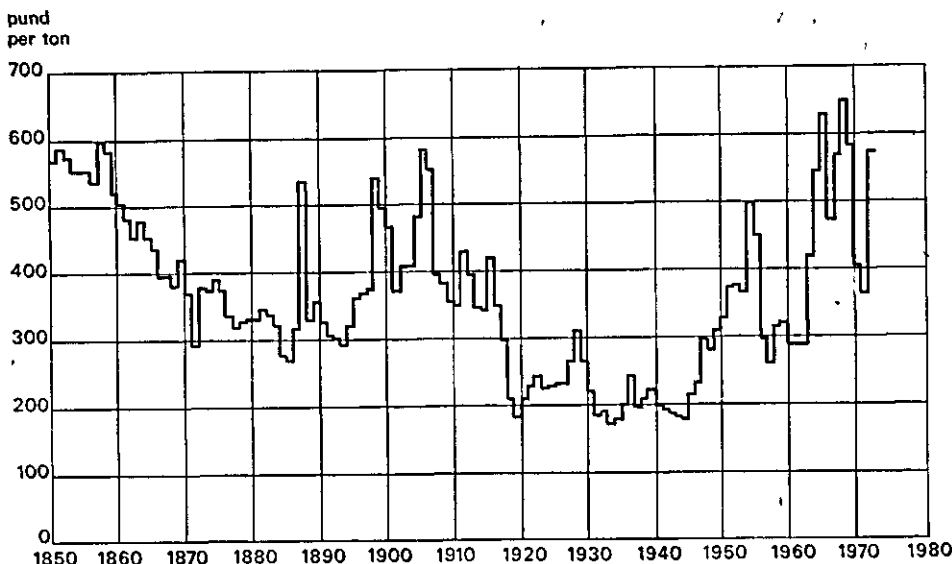
Ovanstående försök att spåra produktionskostnadsutveckling på grundval av prisdata är synnerligen ungefärliga och bygger inte alltid på tillförlitligt empiriskt material. De förklaringar vi ger till förändringar i kostnadsnivån under på varandra följande årtionden är ytterst preliminära. Den kritiske läsaren förblir kanske tveksam om deras pålitlighet i detalj. Men det verkar som om figur 3 plus vår korta redogörelse för de viktigaste utvecklingstendenserna för koppars i världen vederlägger föreställningen om en långvarig pris- och kostnadshöjning till följd av att koppartillgångarna håller på att ta slut. Om man kan urskilja någon långsiktig kostnadstrend så är den definitivt inte uppåt-gående. På 1970-talet kan råkoppar utvunnen ur 0,5-procentiga malmer levereras till kostnader som uttryckt i andra varor och tjänster inte är högre och förmodligen betydligt lägre än på 1850-talet, när metallprocenten uppgick till mellan 5 och 7 procent. Och ändå är dagens efterfrågan på 7—8 miljoner ton per år omkring 150 gånger större än den för 120 år sedan.

Stigande kopparkostnader i framtiden inte troliga

Men vad kommer att hända i framtiden? Har vi kanske nyss nått det stadium varefter de tekniska framstegen inte kommer att kunna neutralisera kostnadshöjningarna av allt sämre kopparmalmer? Dagens förhållanden tyder knappast på en sådan utveckling under den framtid vi kan överblicka. För det första kommer varje ytterligare sänkning av kopparmalmernas lönsamma gränshalter att bli små. Som framhölls tidigare i denna uppsats kan resultaten av intensivare malmletning i u-länderna komma att i praktiken hejda mineralhalternas nedåtgående kurva under de två närmaste decennierna. Med tanke på detta borde det inte vara så stort problem för den tekniska utvecklingen att hålla kostnaderna i schack. Visserligen ligger några av de stora fyndigheter som skall exploateras under kommande år i svårtillgängliga områden. Kostnaderna för transport och infrastruktur blir följaktligen högre. Men detta är inte något nytt problem för kopparindustrin. När kopparbältet i Zambia och Zaire öppnades i stor skala i början på 30-talet var det med den tidens transportteknik en större prestation än att öppna koppargruvor var som helst på jordklotet med de utrustnings- och transportmöjligheter som står till buds i dag. Följaktligen är det synnerligen otroligt att nya kopparsområdets svårtillgänglighet skall vända den långsiktiga kostnadsutvecklingen.

Bergshanteringen fortsätter att utvecklas. Hanteringskostnaderna för allt större malm mängder per ton metall kan hållas nere i framtiden genom införande av kontinuerliga processer, där en enda maskin kan sköta både borrhning, sprängning och transport av malmstycken, samtidigt som den utför olika biuppgifter, t ex länsumpning. Sådan utrustning håller för närvarande på att utvecklas. Lovande försök har också gjorts att med kemiska metoder eller vibrationsteknik mjuka upp det berg som skall brytas [Page 1973, s 39]. Dessa kan också bli till tekniska landvinningar med betydande ekonomiska effekter på gruvdriften. Tekniken att anrika fattigare malmer förbättras också. När det gäller koppar

Figur 3. Reala priser på koppar. Genomsnittliga årliga priser i London, deflaterade med kedjeindex för partihandelspriserna i Storbritannien. 1970 = 100



Källor: se not 8.

är den ovannämnda lakningen ett modernare alternativ till flotation och smältning, med betydande ekonomiska fördelar för vissa typer av malm. Det är troligt att biologiska metoder, där bak-

s 474: The Sauerbeck — Statist Prices Indices 1846—1938. Källa: A. Sauerbeck, *Prices of Commodities and the Precious Metals*,

Dessa index är baserade på partihandelspriser och enhetspriser på importen

1871—1920: *Abstract of British Historical Statistics*, 1962 s 476: Board of Trade partiprisindex 1871—1938. Källa: *18th Abstracts of Labour Statistics* (sammansättad ur *Board of Trade Journal* och reviderad). Dessa index är baserade på marknadspriser och enhetspriser på import och export

1921—1934: *Abstract of British Historical Statistics*, 1962 s 477: Board of Trade, partiprisindex 1871—1938. Källa: *Board of Trade Journal*. Dessa index är baserade på marknadspriser

1935—38: *Abstract of British Historical Statistics*, 1962 s 477: Board of Trade, partiprisindex 1871—1938. Källa: *Board of Trade Journal*. Dessa index är baserade på marknadspriser

1939—1960: *British Political Facts 1900—1960* av David Butler och Jennie Freeman, London och New York, 1963 s 222: statistiska data 1900—1960

1960—1970: *Main Economic Indicators, Historical Statistics 1954—1971* (OECD) s 460 partihandelspriser: tillverkade varor (hemmamarknaden)

1971—1973: *Main Economic Indicators*, mars 1974 s 106: partihandelspriser: tillverkade varor (hemmamarknaden). Utesluter tillverkade varor som sålts och råvaror som köpts av livsmedelsindustrin

⁸ Märk: de nominella genomsnittliga årliga kopparpriserna har deflaterats med ett kedjeindex (1970 = 100) av partihandelspriserna i Storbritannien.

Källor till kopparpriserna:

1850—1869: *Metal Statistics 1961—1971*, Metallgesellschaft, 59 uppl, 1972, s 315

1870—1956: *Babylon to Birmingham*, sammanställd och utgiven av H. G. Cordero och L. H. Tarring, London 1960, s 467—468

1939: LME-genomsnitt bara för jan—aug 1939: *The Metal Bulletin* — genomsnitt för jan—15 dec. Den 18 dec infördes kontroll av leveranspriset för koppar

1953: Genomsnitt av officiella priser fram till 4 aug och LME:s avslutspriser från och med 5 aug 1953

1957—1971: *Metal Statistics 1961—1971*, Metallgesellschaft, 59 uppl, 1972, s 292

1972—1973: *Metals Week*

Källor till partihandelspriserna i Storbritannien:

1850—1870: *Abstract of British Historical Statistics*, av B. R. Mitchell i samarbete med Phyllis Deane, Cambridge 1962

terier används för att skilja ut den metallbärande substansen i lågprocentiga malmer, kommer att användas i stor skala i slutet av detta århundrade, vid framställningen av både koppar och andra metaller.

Att hämta upp sk noduler av mineral från havsbotten har nyligen blivit möjligt. Dagens teknik ger löfte om en lönsam produktion som kanske skulle tillfredsställa 1 procent av världens efterfrågan på koppar och mycket mera för mangan, nickel och kobolt i början av 1980-talet ur denna först nu tillgängliga mineralkälla.

Mineraltillgångarna på havsbotten har ännu inte blivit ordentligt uppmätta, men de första tecknen tyder på att denna tillgång skulle kunna räcka för att tillfredsställa nuvarande konsumtionsnivåer av de fyra ovannämnda metallerna i tusentals eller till och med tiotusentals år [Radetzki 1974]. Den nuvarande utvinningstekniken befinner sig i sin linda. Den kommer förvisso att förbättras genom praktiska erfarenheter, vilket kommer att göra fyndigheterna på havsbotten allt mera konkurrenskraftiga jämfört med mineral på land. Noduler skapas hela tiden genom utfällningar ur havsvattnet. Under kommande årtionden, när man lärt sig behärska kemien i denna process, kan man vänta sig försök att påskynda den eller utveckla den, vilket skulle möjliggöra en ökande användning av de nästan obegränsade mängder metall som finns lösta i havsvatten.

Kopparframställningens teknik fortsätter att utvecklas. Det är mycket troligt att ytterligare tekniska framsteg kommer att hindra de reala produktionskostnaderna att stiga under kommande decennier. Denna uppmuntrande slutsats är inte unik för koppar. Med all sannolikhet gäller den i lika hög grad för många metaller.

Återvinningens roll i den totala koppartillgången

Våra positiva förutsägelser om framtiden kan naturligtvis vara felaktiga. Teknologin kanske misslyckas med att lösa sin uppgift och produktionen av råkoppar skulle då bli gradvis dyrare i för-

hållande till andra varor och tjänster. Även då skulle det dock finnas en gräns för de stigande kopparpriserna. Detta skulle bero på den roll som återvinning av kopparskrot spelar.

I Förenta staterna har sedan början av detta århundrade gammalt kopparskrot svarat för mellan en fjärdedel och en tredjedel av den totala kopparkonsumtionen [McMahon 1965, s 77]. Andelen har förmodligen varit ungefär densamma också i andra i-länder. Omkring 75 procent av all kopparkonsumtion sker i former där koppar mycket lätt kan återvinnas. Stocken återvinningsbar koppar i bruk har vuxit under årens lopp för att vara uppe i omkring 74 miljoner ton 1966 och 110 miljoner ton 1972.⁹ Man kan jämföra detta med att de uppmätta och härledda kopparreserverna i världen i början av sjuttioalet uppskattades till omkring 310 miljoner ton (kopparinnehåll) [US Bureau of Mines], dvs mindre än tre gånger så mycket som den potentiella tillgången på skrot.

De kopparhaltiga produkter vilka slutligen blir tillgängliga som skrot har mycket varierande livslängd, från så litet som några få år i bilarnas startmotorer och lokomotivgeneratorer, till 50 år eller mera för underjordiska kablar, vattenledningsrör eller hängrännor och stuprör. Den takt i vilken kopparprodukter skrotas tycks visserligen inte ha samvarierat med ändringar i kopparpriserna, men det finns ändå sannolikt en positiv priselasticitet i skrotutbudet på lång sikt. En färsk ekonometrisk studie har uppskattat den till omkring 0,3 [Fisher m fl 1972]. När priserna stiger blir det lönsamt att göra skrotutvinningsprocessen mera fullständig.

Kopparpriserna skulle säkerligen öka om de reala produktionskostnaderna i nya marginella gruvor efter hand skulle stiga. Men en sådan prishöjning skulle inte kunna fortgå i det oändliga. Vid högre priser skulle mindre koppar efterfrågas. En större andel av tillgången skulle också kunna fås från skrot. Slutligen skulle man uppnå ett jämviktsläge där stocken koppar i mänskligt bruk slu-

⁹ Siffran för 1960 kommer från McMahon [1965, s 78]. Siffran för 1972 har räknats fram med samma metod med hjälp av data från *Metal Statistics* [1970 och 1972].

tar att växa. Produktionen av råkoppar blir ur stånd att konkurrera i detta läge och all efterfrågan på kopparmetall skulle tillfredsställas med skrot.

Hur stor skulle den prishöjning vara som krävs för att den totala kopparefterfrågan skall väga jämnt med skrotutbudet? Svaret är att vi inte vet på grund av osäkerheten om de långsiktiga priselasticiteterna. Den ovannämnda ekonomiska studien kommer fram till att efterfrågans långsiktiga priselasticitet i världen skulle kunna ha ett värde på omkring $-0,35$. Denna siffra skulle användas tillsammans med skrotutbudets långsiktiga priselasticitet ($+0,3$) som nämndes ovan, för att få en ungefärlig indikator på de tänkbara prishöjningar som krävs för att nå en sådan jämvikt. Om man antar att elasticiteten gäller i alla prislägen och börjar i dagsläget där skrotet tillfredsställer en tredjedel av den totala efterfrågan skulle priset behöva stiga med 150 procent för att skrotutbudet skulle tillfredsställa en total efterfrågan, som minskats genom prisstegringarna till omkring hälften av sitt ursprungliga värde. En prishöjning i denna storleksordning svarar förvisso inte mot de katastrofscener som målats upp av Romklubben och andra. Inte heller skulle den nolltillväxt för koppar konsumtionen som denna situation innebär vara något oöverstigligt problem. I mogna ekonomier finns det en tendens till att råvaruefterfrågan växer i långsammare takt än BNP eller industriproduktionen. Med ytterligare ekonomisk utveckling kan man emotse en maximal konsumtionsnivå för många råvaror, där den efterfrågan som uppstår vid rådande priser skulle mötas av ett konstant utbud. Tenn är ett ämne som verkar vara mycket nära denna situation. Dess världskonsumtion uppgick 1927/31 till i genomsnitt 160 000 ton. 40 år senare var den 175 000 ton. Tillväxten över 40 år var mindre än 10 procent. Och denna obetydliga tillväxt förklaras inte av stigande priser. Priserna på tenn steg under denna period en smula mindre än kopparriserna. Men koppar konsumtionen växte med mer än 200 procent.

Den hypotetiska situation när alla koppargruvor har blivit olönsamma kan förvisso inte komma att inträffa under den

närmaste framtiden. Den mängd koppar som finns i människans bruk och utgör en potentiell skrottillgång kommer att ha vuxit betydligt innan dess. Den kan väl tänkas vara så stor vid den tidpunkten att återvinning räcker för en total efterfrågan långt över dagens nivåer. Men vi bör återigen understryka att hela föreställningen om att gruvbrytning av koppar skulle bli allt dyrare och mindre konkurrenskraftigt inom den närmaste framtiden är ytterst osannolik.

Slutsatser och generaliseringar

Vår slutsats om den framtida tillgången på koppar och dess pris är på det hela taget positiv. Så långt förutsägelser är möjliga kan vi inte urskilja någon ökande knapphet på kopparmalm. Intensifierad malmetning i u-länderna kan till en tid hejda den traditionellt nedåtgående utvecklingstendensen för metallhalten i brytvärda malmer. Det finns alla skäl att tro att tekniska framsteg inom kopparframställningen kommer att neutralisera de tendenser till stegring i de reala produktionskostnaderna, som följer av kommande sänkningar av metallprocenten i de bearbetade malmerna och av de framtida gruvornas allt mera otillgängliga geografiska belägenhet. Den stock av koppar som finns i bruk utgör en växande källa till utbud i form av skrot. Om det otroliga skulle inträffa att produktionskostnaderna för råkoppar skulle stiga på lång sikt, kan vi se fram emot en situation i den mycket avlägsna framtiden där skrotutbudet är tillräckligt stort och billigt för att återvinning permanent skulle kunna tillfredsställa det totala behovet av koppar.

I vilken utsträckning kan våra optimistiska slutsatser generaliseras till andra metaller än koppar? Många synpunkter som anförts i denna artikel, text om malmreserver ständigt skapas eller den om effekterna av intensifierad prospektering i tredje världen, gäller i lika hög grad för alla metaller. Slutsatsen om fallande reala produktionskostnader på grund av tekniska framsteg, trots att allt sämre malmer används, gäller förmodligen för de flesta metaller. Andelen skrot av det totala utbudet är också ganska stor för de flesta viktiga metaller, men

Tabell 3: Förekomsten av vissa metaller i jordskorpan, gram per ton

Aluminium	83 000	Zink	94
Järn	58 000	Nickel	89
Magnesium	20 000	Koppar	63
Titan	6 400	Kobolt	25
Mangan	1 300	Bly	12
		Tenn	1,7

Källa: US Mineral Resources Geological Survey, Professional Paper 820, GPO/ Washington DC 1973, s 22.

mindre viktigt för "mindre" metaller och för zink och tenn på grund av att deras användningssätt gör återvinning svår.

Ovanstående tabell 3 återger en beräkning av den sammanlagda totala tillgången på de flesta vanliga metaller i jordskorpan. Ju mera koncentrerad den sammanlagda förekomsten är, desto lättare är det att exploatera metallen. Följaktligen ger våra siffror endast ett ofullständigt mått på de relativa mängderna av potentiellt utvinningsbara resurser för varje metall. Dock tillåter de vissa allmänna gissningar om de mycket långsiktiga framtidsutsikterna. För det första finns det fem metaller, aluminium, järn, magnesium, titan och mangan som finns i så stora mängder att det knappast är tänkbart att de skall ta slut. Den kraftigt ökade användningen av basmetaller kommer troligen att koncentreras till dessa fem. De följande sex metallerna finns i mycket mindre mängder i jordskorpan men tillgången är ändå betydande. Koppar hör till denna grupp. Dessa sex metaller kommer säkerligen att fortsätta att användas självständigt i stora kvantiteter på områden där deras egenskaper gör dem särskilt användbara. De elva metallerna på listan har säkerligen tillräckligt varierande egenskaper för att kunna göra dem till en god grund för en avancerad materiell civilisation, där behovet av ytterligare metaller är ganska litet.

Låt oss än en gång använda fallet koppar för att illustrera storleksordningen på siffrorna över tillgångarna för den andra gruppen metaller i vår tabell. Antag att människan med gradvisa tekniska framsteg under århundradenas lopp skulle lyckas utvinna en promille av den kopparmetall som finns i jordskorpan. Detta skulle motsvara ungefär 1 500 000 miljoner ton metall eller 200 000 gånger nuvarande årlig produktion. Med en

världsbefolkning på 10 000 miljoner, skulle detta motsvara 150 ton kopparmetall per capita. Med denna mängd metall i människans tjänst skulle stocken av potentiellt tillgängligt skrot vara 15 000 gånger större än i dag. Om vi räknar med att kopparhaltiga produkter har en livslängd på 50 år skulle det årliga skrotutbudet uppgå till 30 000 miljoner ton eller 4 000 gånger den nuvarande kopparbrytningen. Liknande science fiction-artade beräkningar kan göras för de andra metallerna i vår tabell.

Flaskhalsar och fysisk knapphet kan väl tänkas uppkomma under ekonomisk tillväxt och materiella framsteg. Men analysen i denna uppsats borde ha gjort det ganska klart att det inte är särskilt troligt att sådana flaskhalsar skall uppstå i människans metallförsörjning.

Oversättning: Kerstin Lundgren

Referenser

- Adelman, M. A., [1970], "Economics of Exploration for Petroleum and Other Minerals", *Geoexploration*, 8
- Babylon to Birmingham, [1960], utg H. G. Cordero och L. H. Tarring
- Fisher, F. M., Cootner, P. H. och Baily, M. N., [1972], "An Econometric Model of the World Copper Industry", *Bell Journal of Economics and Management Science*, höstnr
- Freyman, A. J., [1974], "Mineral Resources and Economic Growth", *Finance and Development*, mars
- Grunvald, J. och Musgrove, P., [1970], *Natural Resources in Latin American Development*, Baltimore
- Herfindahl, O. C., [1959], *Copper Costs and Prices 1870—1957*, Baltimore
- McKelvey, V. E., [1972], "Mineral Resource Estimates and Public Policy", *Scientific American*, 60
- McMahon, A. D., [1965], *Copper, a Materials Survey*, US Bureau of Mines Information Circular 8225, Washington DC
- Metal Statistics*, [1970 och 1972] Metallengesellschaft
- Page, W., [1973], "The Non-Renewable Resources System" i *Thinking about the Future, A Critique of the Limits to Growth*, London
- Radetzki, M., [1974], "The Last Great Colonization on Earth", *Cooperation Canada*, nr 13 mars/april
- Stewardson, B. R., [1970], "The Nature of Competition in the World Market for Refined Copper", *Economic Record*, årg 48, nr 2