



Nils Björkenstam

Förhistorisk och medeltida järnframställning
Reaktionsförlopp vid reduktion av järnmalmer
i låga schaktugnar

Sven Fornander

Diskussionsinlägg

Karin Calissendorff

Skriftliga källors vittnesbörd om järn

H 27

**JERNKONTORETS
BERGSHISTORISKA
UTSKOTT**

JERNKONTORETS FORSKNING

Serie	Nr.	Datum	Forskningsuppgift nr.
H	27	1983-09-20	EK91

Nils Björkenstam
FÖRHISTORISK OCH MEDELTIDA JÄRNFRAMSTÄLLNING.
REAKTIONSFÖRLOPP VID REDUKTION AV JÄRNMALMER I LÅGA SCHAKTUGNAR

Sven Fornander
DISKUSSIONSINLÄGG

Karin Calissendorff
SKRIFTLIGA KÄLLORS VITNESBÖRD OM JÄRN

F Ö R E T A L

På Jernkontoret hölls i november 1981 ett glädjande välbesökt seminarium om förhistorisk och medeltida järnframställning. Seminariet ordnades av Bergshistoriska utskottets Expertkommitté 91.

Direktör Nils Björkenstam började dagen med en beskrivning av reaktionsförlopp vid reduktion av järnmalmer i låga schaktugnar. Föredraget ledde till en livlig diskussion. Ett sammanfattande diskussionsinlägg av fil.dr Sven Fornander bifogas här. Förstekonservator Irmelin Martens' redogörelse för ugnarnas typologi finns publicerad på annat håll. Den intressanta filmen om bälernas järnframställning i sydvästra Sahara illustrerade föredragen på ett utmärkt sätt. Dagen avslutades med fil.lic. Karin Calissendorffs översikt av skriftliga källors vittnesbörd om järn.

Jag ber att här varmt få tacka föredragshållarna, alla deltagarna och arrangörerna på Jernkontoret för ett givande och trevligt seminarium.

Gunnar Pipping
ordförande

FÖRHISTORISK OCH MEDELTIDA JÄRNFRAMSTÄLLNING

REAKTIONSFÖRLOPP VID REDUKTION AV JÄRNMALMER I LÅGA SCHAKTUGNAR

All framställning av järn genom reduktion av järnmalmer med kol har skett i schaktugnar, antingen schaktet utformats som en grop i marken eller helt eller delvis rest sig över marknivån. Avsikten är att här ge en översiktlig bild av reaktionsförloppet i små och låga eller förhållandevis låga schaktugnar från förhistorisk tid fram till och med masugnsprocessens uppträdande med kontinuerlig tillverkning av flytande tackjärn. Även dessa senare ugnar måste betraktas som låga i förhållande till vår tids mycket höga masugnar.

Tyvärr vet vi ännu alldeles för litet om detta viktiga, tidiga skede i vår järnhanterings utveckling för att i detalj kunna beskriva processtekniken under denna period. Allt för länge har intresset enbart knutits till den primitiva järnframställningen till förfång för studier av den egentliga, industrialiserade och alltjämt använda järnframställningsmetoden, masugnsprocessen, som ju ändå funnits till sedan sen medeltid, men sannolikt har sitt ursprung förlagt långt tidigare. De historiska källorna är mycket förtegrna, då det gäller tekniska beskrivningar av ugnar och ugnsutrustning samt av processens praktiska genomförande och i de fall där sådana beskrivningar förekommer är de som regel mycket svårtolkade. Arkeologiska utgrävningar kan å andra sidan i många fall uppvisa så gott som intakta ugnar med tillhörande råmaterial, malm och kol, samt produkterna järn och slagg. Inte heller här kan man dock ur ett aldrig så rikligt fyndmaterial klart utläsa hur reduktionsprocessen i praktiken genomfördes eller hur den gick till. Strängt taget är emellertid förhållandet i viss mån likartat också då det gäller den moderna masugnsprocessen, ty även om man här känner alla ingående variabler, är järnoxidernas reduktion till järn endast så tillvida definierad som att förloppets begynnelse- och slutstadium är kända (Linder s 865). Den nutida utvecklingen av masugnen till en högproduktiv och synnerligen energisnål enhet är baserad på i laboratorier vetenskapligt studerade delreaktionsförlopp samt modern termokemi och detsamma gäller givetvis även utvecklingen av olika metoder för reduktion av järnmalmer i fast tillstånd till järnsvamp. Med denna kunskap och ett detaljerat studium av processförloppet i industriella ugnar har nutida tillverkning av tackjärn och järnsvamp utvecklats till effektivt styrda och kontrollerbara processer.

Likartade tankar har legat bakom de många försök som gjorts med att framställa järn i rekonstruktioner av äldre, väl undersökta ugnar, nämligen att en äldre järnframställningsteknik skulle kunna förstås och efterliknas med hjälp av vid tiden för respektive försök känd teknik och processkunskap. Tyvärr måste man konstatera att de flesta av dessa undersökningar endast omfattar ett eller ett par försök vardera och att man således i regel ej systematiskt förändrat ingående variabler för att uppnå något område för praktiskt och ekonomiskt optimum i processen för ifrågavarande ungstyp. Resultaten från huvudparten av hittills utförda försök måste nog betraktas som ganska nedslående, i varje fall om man jämför med den uppenbarligen mycket rationella drift, som våra förfäder kunnat upprätthålla. Då man studerar genomförda försök och debatten kring olika tolkningar av försöksresultaten finner man att denna forskning ofta synes ha fastnat i äldre och föråldrade föreställningar om reduktionsförloppet. Endast i få fall synes man ha tagit hänsyn till moderna studier av förloppet vid järnets reduktion ur sina malmer och ännu sällsyntare synes vara att man i någon nämnvärd grad utnyttjat den från 1900-talets mitt omfattningsrika litteraturen rörande processgången vid järnsvampsframställning och i masugnen samt den mängd av termokemiska uppgifter, som numera föreligger. I en modern masugn genomlöper järnmalmens oxider samtliga i reduktionsprocessen ingående delreaktioner fram till en så gott som fullständig utreducering av allt järn. Med detta "ideala" processförlopp som bakgrund kan man sedan studera likheter och avvikelser i processen i allt lägre schaktugnar och med annan processgång som t ex kontinuerlig eller diskontinuerlig drift, kallbläster i stället för varmläster etc. Här nedan kommer därför först en redogörelse i stora drag för den moderna masugnsprocessen och sedan följer en genomgång av fyra försök gjorda i mindre ugnar, där även beskickningsgodsets förändring vid processen studerats. Avslutningsvis följer så en tolkning av processförloppet vid låga schaktugnar, baserad på dessa fyra försök ställda i relation till dagens kunskaper om reduktion av järnmalmer.

De fyra undersökningar, som skall behandlas är:

- 1) Ivar Bohms studie av masugnsprocessen i den endast 6 m höga övningsmasugnen, som drevs av fackavdelningen för bergsvetenskap vid Kungl. Tekniska Högskolan. (Bohm 1927).
- 2) Harald Straubes, Bruno Tarmanns och Erwin Plöckingers reduktionsförsök i rekonstruktioner av två 1,5 resp 0,75 m höga ugnar från den gamla Noricum. (Straube et al. 1964.)

- 3) Wilhelm Schusters försök baserade på egna erfarenheter vid utgrävningar i Steiermark-Kärnten i en ugn 1,6 m hög. (Schuster 1969).
- 4) Hans Hagfeldts försök i en endast 0,4 m hög ugn. (Hagfeldt 1966).

Järnframställningens allmänna förutsättningar

Järn har man redan i tidig förhistorisk tid erhållit som en biprodukt vid framställning av andra metaller, framförallt vid kopparframställning. De flesta kopparmalmer håller även järn och i det processteg där råkopparn, som även innehåller det medföljande järnet, garades till ren koppar, bildades även kopparhaltiga järnrusor framför blästemynningarna. Det finns också belagt, att man i tidig förhistorisk tid avsiktligt tillsatt järnmalmer i det första steget i processen, där man överför kopparn till en svavelförening, eller rättare sagt koncentrerar malmineralet - koppar-sulfid - till en smälta och avskiljer medföljande bergart som slagg. Denna smälta kallas skärsten och en viss halt av järn i beskickningen befördrar skärstensbildningen. Trots att den erhållna järnprodukten var rödskör på grund av kopparhalten, har detta järn använts. (Se t ex Waldbaum s.59),

Det är känt och tändligen självklart att man mycket tidigt försökt utvinna metall ur järnmalmer. Att man lyckats dåligt eller kanske inte alls med då kända metoder för annan metallutvinning sammanhänger med skillnaden i järnets affinitet till syre jämfört med övriga då kända metaller. Bortsett från guld har de tidigast kända metallerna silver, koppar, antimon, bly och tenn högre affinitet till svavel än till syre och förekommer vanligen som sulfidmalmer. Genom rostning överföres dessa malmer till oxider och metallerna kan då lätt utreduceras genom upphettning med kol. Detta beror på att de nu uppräknade metallernas oxider har en högre smältpunkt än själva metallen, som i sin tur har en förhållandevis låg smältpunkt. Järnmalmerna förekommer i naturen huvudsakligen som oxider eller kan överföras till oxider genom rostning. I hämatiter eller blodstenar har malmineralet sammansättningen Fe_2O_3 , i magnetiter eller svartmalmer är sammansättningen Fe_3O_4 . Alla rostade malmer innehåller den trevärda järnoxiden Fe_2O_3 . Alla järnmalmer håller även en viss mängd bergart, vilket leder till att de har en lägre smältpunkt än det rena järnet. Vid liten koltillsats och svag bläster, som kunde användas vid annan metallframställning, händer i stort sett inget annat än att

malmen smälter och lägger sig på botten av ugnen utan att någon järnlupp utskiljes, eller i bästa fall att man får mycket obetydliga kvantiteter av ett lågkolhaltigt och mycket mjukt järn.

Det är fem faktorer, som är av avgörande betydelse att känna till, om man skall kunna tillverka ett järn, som är överlägset kallhamrad brons för verktyg och vapen. Först då järnet har dessa egenskaper kan man säga att den egentliga järnframställningen har tagit sin början. Detta ägde rum i östra medelhavsländerna i perioden 1200 - 900 f Kr, då bristen på tenn, som inte längre kunde införas p g a att fenicierna stängde handelsvägarna under dessa oroliga tider, tvingade dåtidens metallurger att vidareutveckla järnframställningsmetoderna i samtliga delar av området. (Waldbaum s 67 ff).

De fem faktorerna är följande:

- 1) Träkol ger vid förbränning större hetta än ved, vilket ju var uppenbart redan i förhistorisk tid.
- 2) Träkol krävs i överskott i förhållande till malmens syrehalt, därför att utreduktionen av järn ur järnoxider till viss del måste ske via koloxid i gasfasen, vilket ju ingalunda var lätt att inse.
- 3) Kol spelar även en annan roll i processen. Vid överskott av kol i beskickningen får man sådana reducerande förhållanden, att järnet tar upp kol, och ju mer kolhalten stiger i järnet desto lägre blir smältpunkten. Rent järn har en smältpunkt över 1500° , medan tackjärn med en kolhalt på 4% smälter redan vid ca 1150° .
- 4) Träkol i överskott i ugnen utgör också en förutsättning för att man skall kunna få en så kolrik slutprodukt, att den är hårdbar. Det är möjligt att uppnå detta resultat även genom att upphetta mjukt järn tillsammans med träkol. Inte heller detta var lätt att inse. Kolets roll i järnmetallurgin blev inte känd förrän 1780, då svensken Torbern Bergman på analytisk väg kunde fastställa att det var kol, som hade denna verkan. Innan dess var man alltså hänvisad till att finna ut detta på empirisk väg.
- 5) Även om man sovrar malmen, d v s efter krossning sorterar bort så mycket ofyndigt berg som möjligt, finns alltid kvar en viss mängd bergart, som

Faktorer som påverkar järnmalmens reduktion

<u>Malmegenskaper</u>	<u>Driftsfaktorer</u>
Fe-halt	Drivning
Oxidationsgrad	Temperaturförlopp
Basicitet	Gastillgång
Styckestorlek	Gasfördelning
Makroporositet	
Mikroporositet	
Reduktionshållfasthet	
Temperaturkänslighet	
Mjukningstemperatur	

(Efter Linder 1960)

ger slagg. Denna bergart kan i sig själv hålla SiO_2 , CaO och Al_2O_3 i sådan proportion att slaggen får en låg smältpunkt. Har man ej tillgång till en sådan skengående malm, måste man anpassa beskickningen på ugnen, så att slaggen får lämplig sammansättning. I äldre tid skedde detta främst genom att kvartsrika (sura) malmer - torrstenar - blandades med CaO-MgO -haltiga (basiska) malmer, som kallades blandstenar. Mera sällan torde kalksten ha tillsatts för att kompensera SiO_2 -halten i sura malmer.

Processens förlopp påverkas sedan av en rad andra faktorer, vilket framgår av tabellen ovan.

Olika malmer kan ha vitt skilda egenskaper och följaktligen har processgenomförandet och ugnarna i varje tidsskede måst anpassas härtill. Enbart av denna anledning kan man alltså förvänta sig, att det skall förekomma stora variationer i ugnstyp, sammanhängande med den tillgängliga malmens sammansättning och egenskaper. Det kan vidare inte nog understrykas, att den driftsfaktor, som är helt avgörande för processens förlopp, är hur mycket kol man förbränner per tidsenhet, d v s vid överkott på kol i beskickningen, hur mycket luft, som blåses in per tidsenhet. Detta har i tabellen markerats med faktorerna drivning och gastillgång.

Masugnprocessen

Masugnen kan betraktas som en motståndsreaktor, där de nedåtgående beskickningsmaterialen möter en uppstigande, i blästerzonen bildad het reduktionsgas. På sin väg ner genomlöper beskickningsmaterialen en serie olika kemiska reaktioner, fram till att tackjärn och slagg bildas. Reduktionen av malmens järnoxider sker nu via ett antal delreaktioner, vilkas jämviktslägen vid olika temperaturer framgår av fig. 1.

Dessa delreaktioner brukar indelas i två huvudgrupper:

Indirekt reduktion, där malmens järnoxider reduceras av CO eller H₂ med slutprodukterna CO₂ och H₂O.

Direkt reduktion, där malmens oxider reduceras under förbrukning av C. Denna kan antingen vara förmedlad direkt reduktion, då gasreduktionen följes av en reaktion mellan kol i beskickningen och bildad CO₂ och H₂O, eller sann direkt reduktion, då smälta järnoxider kommer i kontakt med kol i masugnspipan.

Reduktionsprocessen kan schematiskt beskrivas som stegvis på varandra följande reaktioner från hämatit Fe₂O₃ över magnetit Fe₃O₄ till wüstit

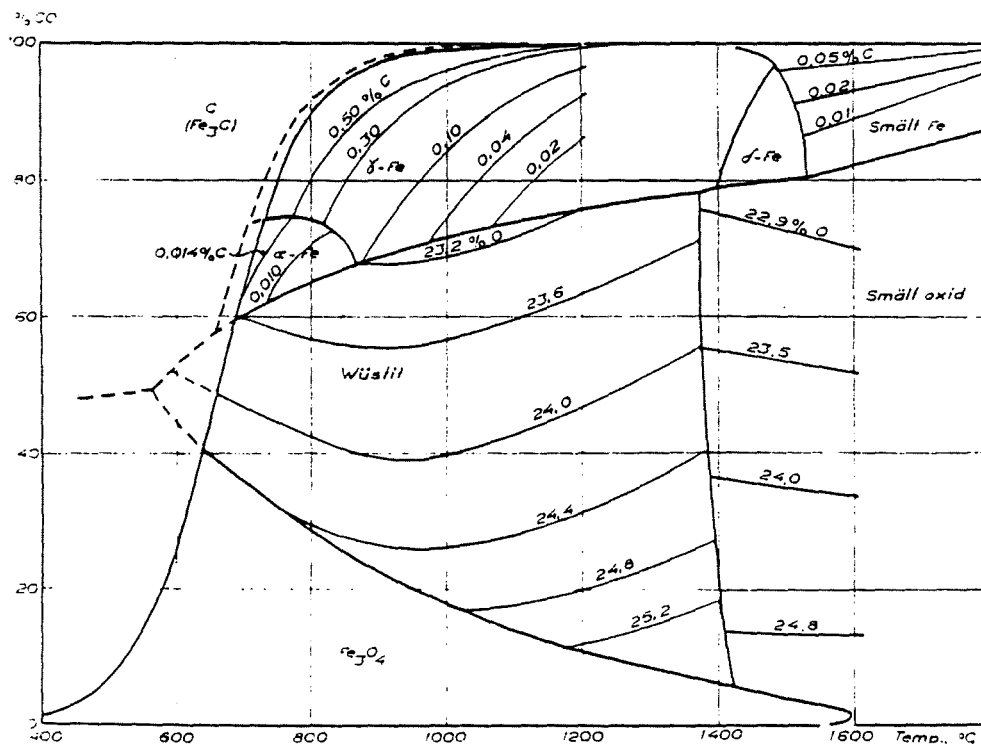


Fig. 1. Systemet Fe-C-O vid 1 at. (Linder 1960)

(FeO) och järn. I verkligheten förlöper dessa reaktioner delvis samtidigt i masugnspipan, och i mikroskala - i de enskilda malmstyckena - alltid samtidigt i vissa temperaturzoner. I en stor modern masugn kan man dock bortse från detta vid termokemiska beräkningar av processen och ändå få tillfredsställande noggrannhet i beräkningen.

Linder (1960) har gjort en sådan schematisk framställning av reaktionsförloppet i en modern koksmasugn och denna återges i bild i fig. 2. Hans beskrivning av förloppet återges nedan i sammandrag.

Torkning av beskickningen.

Fukt, som medföljer malm, kol och andra beskickningsmaterial, bortgår i pipans översta zon. Förutom fukt kan vissa malmer och beskickningsmaterial hålla kristallvatten. Vid en temperatur av 200° - 300° är allt vatten borta.

Förreduktionszonen.

Redan vid låga halter av CO reduceras Fe₂O₃ till Fe₃O₄ och detta sker

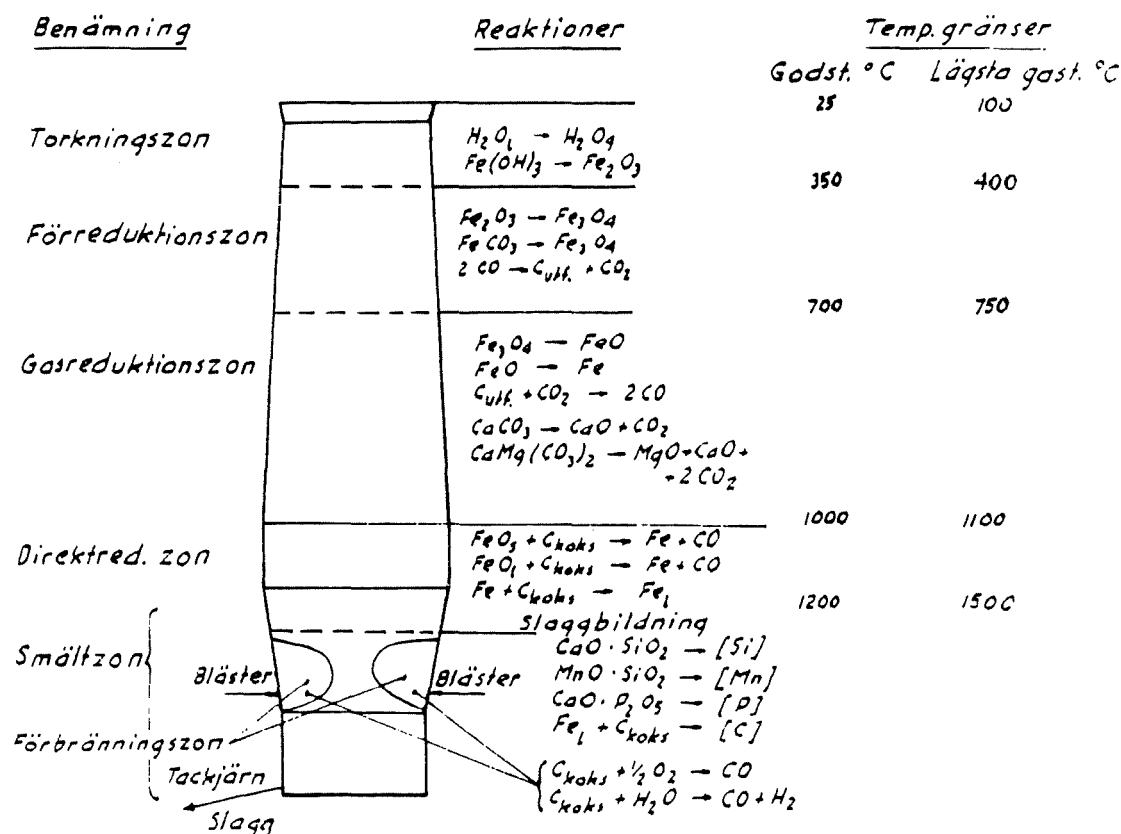


Fig. 2. Reaktioner i masugnens olika temperaturzoner. (Linder 1960)

så snabbt, att det torde ske helt oberoende av malmens art och ursprung. Denna reaktion börjar vid 300° och kan betraktas som avslutad vid 700° . Samtidigt börjar i denna zon en kolutfällning vid ca 400° , som slutar vid 700° och har sin största hastighet i temperaturområdet $500 - 600^{\circ}$. Då temperaturen 700° överskrides omkastas reaktionen så att kolet upplöses.

Under 570° föreligger en möjlighet för Fe_3O_4 att reduceras till Fe av CO. Denna reaktion förlöper dock så långsamt att man kan bortse från den i en modern masugn. I lägre och icke så hårt drivna ugnar kan denna reaktion dock möjligen vara av betydelse, därför att kolutfällningen katalyseras av utfällt järn, varigenom reduktionen hämmas så länge kolutfällningen pågår.

Gasreduktionszonen

Med stigande temperatur reduceras Fe_3O_4 till wüstit och järn. Så snart det bildats wüstit reduceras denna till järn under de betingelser, som föreligger i alla ugnar med kolöverskott i beskickningen. Sedan mycket länge har man vetat att reduktionen av magnetit går över fasen wüstit till metalliskt järn och intränger mot centrum i malmstycket, så att koncentriskt skikt av de olika faserna uppstår. Wiberg (1940 s 179 ff) och Edström (1954 s 190 ff) har var för sig visat, att detta yttre järnskal kolas upp i proportion till den temperatur, som malmstycket har under reduktionen. Man kan alltså samtidigt som kärnan i malmstycket ännu består av Fe_3O_4 och det mellanliggande skiktet består av wüstit ha ett yttre kolhaltigt järnskal.

Med stigande temperatur ökar gasreduceringen av järn ända tills beskickningen börjar smälta. Vid 900° börjar alstrad CO_2 och H_2O att reagera med beskickningens kol och vid 1100° har all CO_2 och H_2O övergått till CO och H_2 . Genomsnittligt vid 1000° övergår alltså den hittills enbart indirekta reduktionen till förmedlad direkt reduktion. Denna karburering av gasen är starkt värmekrävande och dominerar i området $1000 - 1200^{\circ}$.

Direktreduktionszonen

I 1000° -nivån har således järn till en del utreducerats, men en avsevärd del föreligger ännu som wüstit. Mängden järn ökar med stigande temperatur, men samtidigt uppstår flytande FeO-rika reduktionsprodukter. Man får nu räkna med en succesiv återstelnings och uppsmältning, efter-

som reaktionen, där flytande wüstit i kontakt med kol reduceras till järn är starkt värmekrävande. Någon större temperaturstegring kan därför inte ske förrän huvuddelen av järnoxiden reducerats och smältan - den flytande fasen - närmar sig masugnsslaggens sammansättning.

Orvar Nyquist och Lennart Andreasson (Nyquist-Andreasson 1966) har experimentellt undersökt temperaturen för begynnande smältning i en engående sinterbeskickning. De fann därvid, att gångartsfasen började smälta vid ca 1220° , men att då sintern reducerats till wüstit började slaggsfasen smälta redan vid 1150° . Den erforderliga smälttemperaturen stiger sedan med minskande FeO-halt och en masugnsslagg med sin låga halt av FeO får anses slutligen smälta först vid en temperatur över 1200° eller nära upp mot 1250° . Smälttemperaturer vid olika slaggsammansättningar framgår av fig. 3.

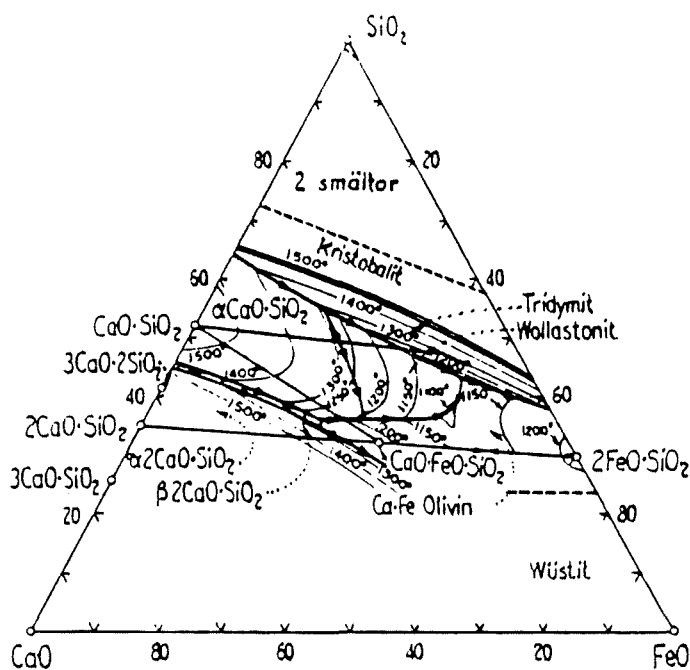


Fig. 3. Systemet CaO-FeO-SiO₂. (Linder 1960)

Blästerzonen

I en koksasmusugn sjunker beskickningen, förvärmad till en temperatur av ca 1500° , ner i blästerzonen där blästerluften normalt blåses in med en temperatur av $700 - 900^{\circ}$. Temperaturen i blästerzonen kan nu variera från den förvärmade koksens temperatur 1500° upp till teoretisk flamtemperatur, över 2000° . Även om det kan synas självklart, förtjänar det att påpekas att även i de minsta ugnar - om de arbetar med slagg, som flyter ut och stelnar utanför ugnen - måste beskickningen ha varit förvärmad till hög temperatur. Dessa slaggar är FeO-rika och har en låg smältpunkt, $1100 - 1150^{\circ}$ (fig. 3), men för att rinna ut ur ugnen bör temperaturen ligga något högre, säg $1200 - 1250^{\circ}$. Då slaggen sjunkit igenom blästerzonen och kommit ner i smältrummet sjunker temperaturen p g a värmeförlusterna till omgivande väggar. Temperaturen i blästerzonen ligger alltså högre än detta värde. Den förvärmade beskickningen i låga ugnar med slaggavtappning torde således ha en temperatur av minst 1300° och temperaturen i blästerzonen ligger då mellan ca 1300° och teoretisk flamtemperatur. Schuster har vid sitt försök mätt temperaturer på 1700° (Schuster 1969 s 120).

Vid en temperatur av 1200° är slaggen i en masugn delvis smält och vid denna temperatur kan järn i fast form uppta 1,7% C. Vid temperaturer över 1200° blir en slagg, som håller låg halt av FeO flytande och tackjärn med 3,5 - 4% C utskiljes. Den samtidiga närvaron av flytande järn, flytande slagg och koks eller träkol anses vara ett villkor för att en snabb reduktion även av legeringsämnenas oxider skall kunna äga rum.

Som redan framhållits sjunker temperaturen på slagg och järn, som runnit ner i stället. Slaggen, som ligger ovanpå och ovanifrån värms av blästerlågan, har en temperatur som ligger ca $50 - 100^{\circ}$ högre än tackjärnets temperatur.

Såväl vid de stora koksasmusugarna som vid de mindre träkolsasmusugarna har man kunnat iakttaga en högre kiselhalt i det ovanför blästerzonen bildade tackjärnet än i det i stället samlade tackjärnet. En lång kontaktid mellan smälta och koks eller träkol leder till en kraftigare inreduktion av kisel. Detta är sannolikt inte utan betydelse även vid lägre schaktugnar, som arbetat med sura malmer, eftersom kisel vid återoxidationen avger värme under samtidig utreduktion av järn ur slaggen.

Ivar Bohms studie av masugnsprocessen

Från 1864 och fram till 1927 drev eleverna vid Kungl. Tekniska Högskolans bergsavdelning en övningsmasugn under professors och forskningsassistenter ledning, först vid Söderfors och senare vid Hagfors. Även om huvudändamålet var att ge eleverna erfarenhet av praktisk masugnsdrift - de arbetade som hyttarbetare - lades blåsningskampanjerna upp som driftsexperiment, där masugnsprocessen studerades.

År 1927 publicerade Bohm resultatet av undersökningar (Bohm 1927), som gjorts i syfte att klarlägga tackjärns- och slaggbildningen i denna ugn. I uppsatsen ger Bohm en mycket klar och överskådlig bild av reaktionsförloppet vid reduktion av järnmalm i schaktugnar. Genom att undersökningarna anknöt till dåtida svensk masugnsdrift med träkol och endast utgavs på svenska, kom erfarenheterna att utnyttjas endast i Sverige. En engelsk upplaga har därför utgivits som en rapport från Jernkontorets Forskning, eftersom de sammanfattande slutsatserna är av grundläggande betydelse även för förståelsen av äldre järnframställningsprocesser.

Undersökningarna omfattar dels en kampanj där ugnen drevs med en kvartsig malm och kalksten, och dels en kampanj med en engående besickning.

I båda fallen dämades den i full gång varande ugnen, d v s blästern stängdes av och allt lufttillträde förhindrades, varefter ugnen lämnades att kallna. Processen låstes alltså, så att man kunde ta ut prover från opåverkad malm och opåverkat träkol, ner genom succesivt omvandlad besickning fram till färdigutskild slaggbildat tackjärn. Under driftens gång var blästertemperaturen ca 200° och det gick åt 150 respektive 125 hl träkol per ton tackjärn.

De olika delreaktionerna var redan då väl kända och det allmänna reduktionsförloppet överensstämmer med vad som förut angivits. Bohm gör emellertid ett viktigt påpekande: "Då reduktionsprocessen måste förlöpa med en viss ekonomisk hastighet, uppnår masugns gasen aldrig sin jämviktssammansättning". Detta betyder bl a, att gasen innehåller mer CO mellan $700 - 1000^{\circ}$, än vad wüstitens reduktion till Fe kräver och jämvikten mellan CO, CO₂ och C kräver, något som alltså positivt påverkar det utskilda järnets kolupptagning.

Det är dock studiet av beskickningsgodsets förändring i pipan, som tilldrar sig det största intresset.

Den första för blotta ögat iakttagbara förändringen var en begynnande sprickbildning i malmstyckena. Malmens uppluckring är inte enbart beroende på spänningar vid uppvärmningen, utan även reduktionen till järn ökar malmens porositet. På grund av den hastiga ökningen av porositeten kan ugnsgaserna snabbt tränga in malmstyckena och verka reducerande.

På bild 1 kan man se hur metalliskt järn utskilts i kornens yta. Såväl Wiberg (1940, s 179-210) som Edström (1954, s 177-224 samt 1958, s 416-436) har ingående behandlat järnmalmers reduktion och båda visar upp exakt samma förlopp som här vid begynnande reduktion av järnoxider. Bohms prover är hämtade från 3-metersnivån, på halva schakthöjden, där temperaturerna under drift varit 900 - 1000^o, se fig. 5. Man måste emellertid infoga den reservationen, att beskickningen inte kunnat kylas ner momentant till låg temperatur, varför reaktionerna i viss utsträckning fortsatt och att strukturerna i proven förmodligen visar en mer markant förändring i just denna nivå än under pågående drift.

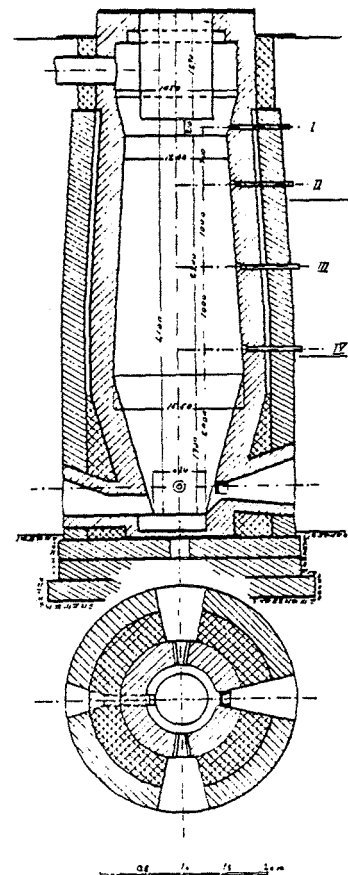


Fig. 4. Bergshögskolans övningsmasugn i Hagfors. Pipans rymd 7,8 m³.

Bild 2 visar ett malmstycke, där wüstiten varit smält; också detta är uttaget i 3-metersnivån. Vid wüstitens reaktion med CO, som inträngt genom det omgivande järnskalet, har ett hålrum uppkommit p g a att wüstit förbrukats och givit järn, som ökat järnskalets tjocklek. Wiberg (1940, s 204) har vid sina försök vid upphettning av malmkorn till 1000° i CO erhållit korn med samma utseende som bild 3, ett järnskal, som omger wüstit och där ett hålrum bildats. Järnet håller vid denna temperatur 0,8% C och han har då beräknat, att övertrycket av i hålrummet befintlig gas uppgår till 40 atm. Vid sådana övertryck sprängs givetvis skalet.

Wüstiten reagerar med malmens bergart och smältpunkten sjunker, så att redan vid 1100° kan en silikathaltig wüstit vara flytande. På bild 3 kan man se hur ett malmstycke sprängts, varvid flytande wüstit runnit ut så att endast ett järnskal återstår av det ursprungliga malmstycket. Detta prov är taget i temperaturzonen 1200° , men Bohm visar upp sådana järnskal redan i 1100° -nivån (Bohm, s 164). På bild 4 kan man se en sammanbygtring av järnskal, där wüstiten runnit ut.

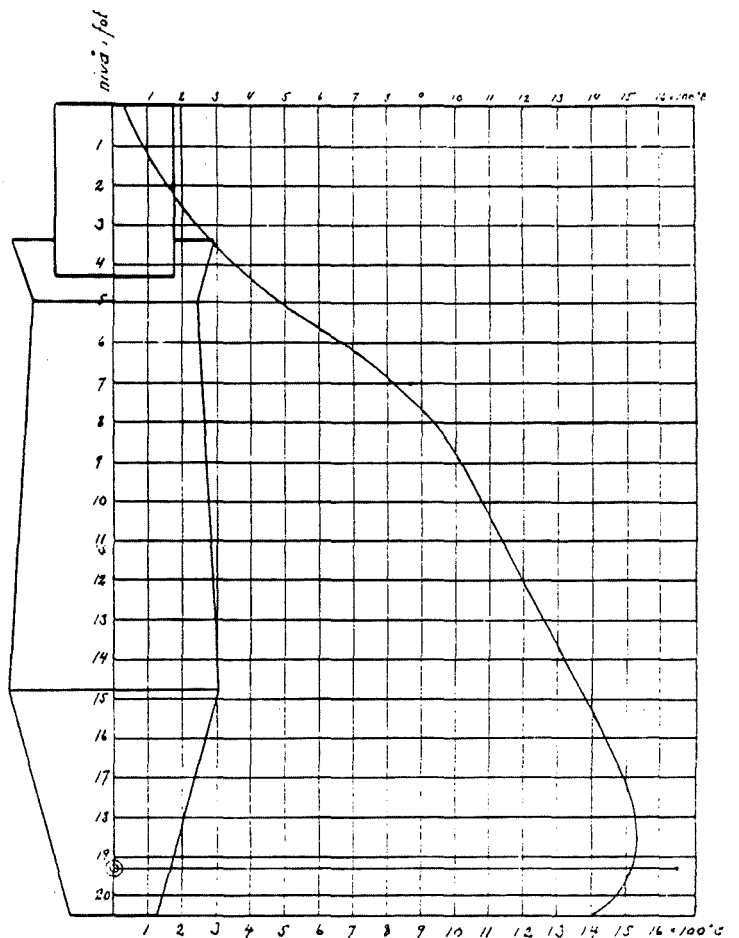


Fig. 5. Godsets temperatur i masugnens olika delar.

Den flytande wüstiten, ofta överhettad, rinner ut över träkol, som givetvis har samma temperatur. Wüstiten reduceras nu mycket snabbt till järn genom direkt reduktion med kol, och liggande på kolstycket på sin väg mot högre temperaturer kan detta järn kolas upp till höga kolhalter, ända upp till tackjärnssammansättning.

En viss del av malmens ursprungliga järninnehåll övergår alltså i en schaktugn till tackjärn, då flytande wüstit faller ut på träkol. Det kvarvarande järnskalet kolas upp av gasens koloxid och kan ovanför formnivån hålla upp till 1,7% C. Teoretiskt kan man nu tänka sig, att järnet smälter och reagerar med träkol till tackjärn. Detta kan emellertid endast ske om järnskalet är rent och fritt från slagg. En förslagning av ytan torde dock i regel äga rum, varvid en glasig hinna bildas på ytan av i järnskalet innängd bergart, men järnskalet kan också bli helt inbakat i under processen utskild slagg. På grund av den ojämna temperaturfördelningen i ugnen, ojämn sjunkning av godset och den värmekrävande processen i schaktets nedre del, sker lokalt en upprepad smältning och återstelning. Det torde därför ej ges tid och tillfälle för någon kraftigare uppkolning av järnskalet. Den slutliga omvandlingen av dessa järnskal till tackjärn sker därför troligen så gott som uteslutande då temperaturen är så hög, att masugnsslaggen definitivt smälter. Efter att ha ökat sin kolhalt ovanför blästerzonen, upplöses det relativt lågkolhaltiga järnskalet i stället i där befintligt tackjärn i närvaro av kol. Godspelaren måste ju bäras upp och detta gör i huvudsak träkolet, som tillsatts i överskott och ingår som den huvudsakliga beståndsdel i den pelare, som bildas i ställets centrum.

Reduktionsförsök av H. Straube, B. Tarmann och E. Plöckinger

Endast två smältförsök har gjorts. Den ena gjordes i en rekonstruerad ugn, byggd enligt bl a av Wilhelm Schuster arkeologiskt undersökta ugnar. Denna ugn var 1,5 m hög med en schaktdiameter på 750 mm och en forma, där blästerröret var 25 mm i diameter. Den andra ugnen byggdes av experimentella skäl mindre - 1 m hög och 450 mm i diameter. Blästerluft inblåstes i sådan mängd och med sådant tryck, som skulle motsvara bälgdrift. Avsikten med försöken var att erhålla en lupp och ugnen drevs alltså icke kontinuerligt, utan ugnarna blåstes ner under förbrukning av kvarvarande träkol, varvid utreducerat järn bildade slaggbemängda jämnlupper på ugnsbotten.

Det första som kunde konstateras var att stora temperaturskillnader uppstod i ugnarnas olika delar. I båda försöken satte dessutom blästerrören igen och täpptes till av slagg, varför man under blåsningens gång tvingades flytta blästerinblåsningen. I första försöket erhöll man därför tre järnlupper liggande framför de använda blästermynningarna. Kolhalten i järnlupperna varierade starkt, från så gott som kolfritt järn framför blästermynningarna till järn med tackjärnssammansättning längst bort från mynningarna. Ett likartat resultat erhöles även i det andra försöket, där beskickningen pågick endast i 3 timmar. Även här erhöles flera mindre lupper. Två av de större höll ca 0,5% C, d v s hårdbart järn eller stål.

Vid studium efter nedblåsningen av i ugnen kvarvarande beskickningsgodis konstaterade man att malmens reduktion till järn påbörjats i skikt, som legat på ungefär en tredjedel av schakthöjden uppifrån räknat. Detta järn var längre ner i schaktet uppkolat, och ovanför formnivån fanns ett kolrikt järn - delvis i form av tackjärn - som hade varit helt eller delvis smält.

Författarna sammanfattar resultaten av försöken på följande sätt. Till skillnad från tidigare föreställningar kan Rennofenprocessen tolkas så, att ett kolfritt järn först utskiljes ur malmen och detta företrädesvis i form av små tunna flagor. Järnflagorna uppkolas relativt raskt av koloxiden i ugnsgasen och blir åtminstone delvis flytande på grund av den därmed förbundna smältpunktsnedsättningen, och droppar ner i lägre skikt i ugnen. I schaktets nederdel och i stället avkolas sedan tackjärnsdroppar och kolrikt järn i viss utsträckning av FeO-rika slaggar. En ännu kraftigare oxidering av kol torde ske i det järn, som passerar framför blästermynningen.

Det är två saker, som är viktiga att här observera, dels den iakttagna tidiga utskiljningen av järn på malmens yta, även om processen inte synes ha haft tillräcklig tid för att hela järnskal skulle hinna bildas, dels att tackjärn bildas ovanför blästerzonen. Däremot nämner man ingenting om wüstits eller järnoxidrika smältors eventuella reaktion med fast kol i beskickningen.

Wilhelm Schusters reduktionsförsök

Schuster var den förste, som bröt med den dittills allenaarådande uppfattningen att järnmalmens reduktion till järnlupper i förhistoriska ugnar hade förlöpt i fast tillstånd, utan att järnet någon gång befunnit sig i smält tillstånd under processen. Det kan därför vara av intresse att något uppehålla sig vid honom och hans fruktlösa kamp mot en oförstående samtid.

Wilhelm Schuster, som är bortgången sedan några år tillbaka, föddes 1895 i österrikiska Schlesien och kom 1902 till Sverige, där fadern hade blivit chef för en cellulosafabrik i Småland. Fadern dog emellertid redan 1906 och familjen flyttade tillbaka till Österrike. Schuster vidmakthöll dock sina kunskaper i svenska språket, som han tillägnat sig under sina första fyra skolår, och han var väl förtrogen med svensk bergshistorisk litteratur. Han blev diplomingenjör och arbetade större delen av sitt liv som värmetekniker och senare som ritkontorschef vid Österreicher Alpine Montan i Donawitz. Hans stora intresse var dock järnhanteringens historia och han företog en rad utgrävningar och undersökningar av järnframställningsplatser runt Magdalensberg och blev för dessa insatser promoverad till hedersdoktor.

Schuster besökte Sverige under några dagar 1972 och underhöll sedan en korrespondens med förf., varvid han översände inte endast utförliga uppgifter om sina försök och teorier om reduktionsprocessens förlopp, utan också kopior av korrespondens med Verein deutscher Eisenhüttenleute och professor Schürmann, företrädare för en äldre uppfattning om processförloppet och den dominerande metallurgen i Geschichtsausschuss inom Verein deutscher Eisenhüttenleute.

Som tidigare nämnts hade Schuster vid utgrävningar kring Magdalensberg funnit tämligen väl bevarade schaktugnar, som var möjliga att rekonstruera. Han hade dessutom vid studier av slagg och järnfynd kommit till den uppfattningen att man direkt framställt ett kolhaltigt, hårdbart järn i dessa ugnar, och att norikerna således icke använt sig av cementering av lågkolhaltigt järn vid tillverkningen av det berömda noriska stålet. År 1962 redogjorde Schuster för dessa fyndundersökningar jämte vissa förberedande försök vid ett sammanträde i VdEh:s Geschichtsausschuss. (Schuster s. 3). Han framhöll därvid, att allt pekade på, att

luppframställningen i äldre schaktugnar alltid försiggått över primärt bildat tackjärn. Han anmodades då att återkomma med sitt föredrag, sedan det genomarbetats bättre och understötts av förnyade försök.

Någon hjälp med försöken erbjöds inte förrän 1966, då järnverket i Jenice i Jugoslavien ställde upp tillsammans med Tekniska Museet där, och han kunde genomföra sina försök. Straube och hans medarbetare hade då redan tagit fasta på Schusters idéer och genomfört ovan relaterade försök i laboratoriet hos Böhler, ett järnverk i Österrike. Dessa försök och försöksresultaten publicerades genom Böhlers försorg år 1964. (Straube et al. 1964.)

Grundtanken i Schusters försök var den att det är absolut nödvändigt att försöka fastställa den helt okända faktorn i processen, nämligen hur mycket luft man kan ha blåst in per tidsenhet, och inte förlita sig på tidigare antaganden, att man i förhistoriska ugnar måste ha blåst med låga blästermängder för att som slutprodukt erhålla en lågkolhaltig järnlupp. Han utgick därför från det arbete en brevbärare utför, när han i maklig takt går uppför en trappa med 11 cm höga trappsteg och kliver ett trappsteg i sekunden. Detta arbete skulle kunna motsvara det, som en bälgtrampare gott och väl orkar med i en halvtimme, varefter man bör kunna räkna med, att han blir avbytt. Det är nu lätt att beräkna den luftmängd, som då pressas genom ett blästerrör med 35 mm i diameter. Denna blästerdiameter var den vanligen förekommande i de av Schuster studerade ugnarna. Schuster hade också kunnat konstatera, att luften vid full drift uppvärmdes i blästerröret på de uppvärmda tjocka ugnsväggarna och han mätte temperaturstegringar hos den kalla inblåsta luften på upp till 250 - 300^o.

Den ugn Schuster byggde hade en schakthöjd på 1,6 m och en forma. Han valde en schaktdiameter på endast 400 mm, eftersom de utgrävda vidare ugnarna måste ha varit starkt ursmälta samt därför att hans beräkningar visade att smältrummet inte borde vara mycket större, om blästerlågan skulle täcka hela smältrummet. Vid angivna förutsättningar uppnår luften en hastighet på 50 - 60 m/sek och hastigheten stiger vid 1700^o i smältrummet till 440 - 500 m/sek. Vid denna höga temperatur sker reaktionen mellan luftens syre och beskickningens kol mycket snabbt över CO₂ till CO - på 1/1000 sek- och förlöper alltså fullständigt på en vägsträcka av 0,4 m. Blästerzonen kommer därför att helt täcka smält-

rummet. Genom optiska mätningar, smältkäglor och gasanalyser fastställdes vid flera tillfällen under försökens gång att temperaturer på 1700° och däröver uppnåddes.

Fem chargevis framställda lupper tillverkades. De tre första med lösa sönderfallande träkol, där lupperna vägde ca 20 kg och järnutbytet blev 34 - 48%. I brist på grova och hållfasta träkol gjordes därefter två försök med koks i styckestorlek 40-100 mm. Lupperna vägde nu 60 kg och järnutbytet blev 78%. Den genomsnittliga kolhalten låg mellan 0,3 och 0,6%.

Schusters slutsatser av försöken:

1. Även om man blåser in kallluft i ugnen uppnår man temperaturer på 1700° eller däröver och den inblåsta luftmängden bör vara väl tilltagen inom ramen för vad man kan åstadkomma med hand- och fotbläster.
2. För att erhålla en tillräckligt stor smältzon och en jämn och kraftig gasströmning genom schaktet måste man ha grova och hållfasta kol.
3. På grund av snabb genomströmning och korta genomloppstider kommer endast en tredjedel av malmens syre att bortgå genom gasreduktion och två tredjedelar att utreduceras direkt ur wüstit. Vid den indirekta reduktionen bildas kolfria järnfolier, som i flytande tillstånd tar upp kol och övergår till tackjärn.
4. Ugnar med endast en forma ger en mycket ojämn temperaturfördelning i ugnen. Härigenom kommer tackjärn och wüstit att samtidigt kunna befinna sig i flytande form i ugnen.
5. Lupper som framställts i förhistoriska och medeltida ugnar har alltid tillkommit via primärt tackjärn, som avkolats av wüstit till en lågkolhaltigare produkt.
6. Flytande tackjärn såsom slutprodukt kan endast uppstå om blästerzonen helt fyller smältrummet. En förutsättning för masugnprocessens tillkomst är således att man har tillgång till högeldfast natursten, som håller stället trångt, annars får man en lupp eller både en lupp och flytande tackjärn.

Dessa slutsatser behandlas och kommenteras senare i anslutning till diskussionen av samtliga här redovisade experiment av de olika forskarna. Baserat på kopior av Schusters korrespondens i författarens ägo redogörs här nedan för hur Schusters försöksresultat mottogs av omvärlden.

När Schuster presenterade sina resultat för VdEh, anhöll han samtidigt om hjälp med ytterligare försök med bokkol i stället för koks. Såsom svar och som kommentar till sin bok om försöken erhöll han B. Osanns 170 A4-sidor tjocka utredning rörande järnmalmens reduktion i Rennfeuerugnar med tillhörande 50 sidor bilder och diagram (Osann 1971: se vidare Osann 1973). Osann försöker här bevisa, att tackjärn inte kan uppträda i processen annat än i ugnar, som drives som Flossöfen, d v s från sen medeltid kända 3,5 - 4 m höga ugnar som framställde enbart tackjärn, och i diskontinuerligt arbetande ugnar av Rennofen-typ endast i sällsynta undantagsfall, som uppkommer genom olyckliga tillfälligheter.

Schuster skriver nu till Schürmann och regogör för sina försök. Schürmann svarar inte själv utan genom en österrikare, docenten Dinklage, att han inte tror på de höga blästertemperaturer, som Schuster anser utgör en förutsättning för ett rimligt järnutbyte och en sammanhängande järnlupp och undrar hur Schuster kommit på denna hittills djupt förborgade hemlighet. Dinklage uppträder nu till Schusters försvar och försöken att få VdEh att medverka till förnyade försök i Schusters ugn, eftersom Jenice p g a den rådande lågkonjunkturen inte anser sig kunna åtaga sig kostnaderna härför. VdEh svarar nej.

I stället skickar Schürmann till Schuster resultaten av egna försök, som han under tiden gjort, där han vid 1450° reducerat en malm med finkornigt träkol. Härvid hade han dock endast erhållit en FeO-rik slagg med små rusor av lågkolhaltigt järn och ingen sammanhängande lupp. I sitt svar framhåller Schuster, att detta resultat är vad man måste förvänta sig under angivna betingelser och utvecklar ånyo sina idéer om, att man måste ha grova kol och driva ugnen som han gjort för att erhålla en sammanhängande lupp. Detta besvaras med att Schuster inför så många nya begrepp i den äldre järnframställningsprocessen, att det inte är möjligt ingå i någon diskussion; främst därför att Schuster saknar ovedersägliga försöksresultat och allt för lätt hamnat i trovisshet och glidit över i förmodanden. Jag, säger Schürmann, har tillställt Er mina försöksresultat i förhoppningen att Ni skulle bättre förstå Era egna försöksresultat och arbetshypoteser och kunna utforma Era fortsatta försök, om Ni över huvud taget är beredd att låta Er mening komma under diskussion. Dinklage fortsätter emellertid att föra Schusters talan och får Schürmann att lova att medverka till förnyade försök. Allt rinner dock ut i sanden och Schuster får aldrig uppleva, att hans teser blir prövade i nya experiment.

Hagfeldts reduktionsförsök i blästa

Två laboratorieförsök gjordes i den mycket låga och vida ugn, som tidigare omnämnts, 400 mm hög och 425 mm i diameter. Ett försök företogs med en blodstensmalm och det andra med myrsmalm. Blästerrören var 14 respektive 23 mm i diameter och i förhållande till andra liknande försök var den inblåsta luftmängden relativt hög, 300 l/min. Träskolen var av bok och storleken 8 - 15 mm.

Kolhalten i järnet från det första försöket varierade mellan 0,07 och 2,20%, (4.36%). Kolhalten steg från blästerröret och inåt ugnen. I det andra försöket med myrsmalm var kolhalten genomgående låg, men detta försök fick avbrytas i förtid på grund av svårsmält slag. I intetdera fallet var det utreducerade järnet sammanflutet till en enda sammanhängande lupp. Hagfeldt bedömer, att ugnen torde ha varit för vid för att detta skulle uppnås och att bättre resultat även skulle ha uppnåtts med grövre träskol. Den högsta uppmätta temperaturen under försöken var 1450^o, men han anger att temperaturen närmare blästerlågorna bör ha varit högre.

Det bör observeras att i dessa försök blåstes inte ugnen ner, utan försöken avbröts, sedan de sista uppsättningarna gjorts med enbart träskol. Träskol låg således kvar överst i ugnen sedan chargen kallnat. Längre ner i ugnen låg de sist påsatta malmstyckena, och något ovanför de slagghöljda smålupperna kunde man fortfarande urskilja enskilda malmstycken i sintrade partier. Det är intressant att konstatera att ovanför formstenen låg en metalldroppe med 4,36% C. Utanför luppbildningen och långt från blästerröret fanns i huvudsak träskolsstycken sammanhållna av slag och folieliknande järnskal. Slaggen var starkt järnoxidrik.

Hagfeldt drar följande slutsatser av försöken: Produktionszonens storlek bestäms av kolens styckestorlek. Temperaturen i blästan regleras genom tillförd luftmängd. Det är möjligt att framställa såväl kolfattigt som kolrikt järn. Malmer som ger svårsmälta slagger har en tendens att ge kolfattigt järn och vice versa.

De studerade järnframställningsförsöken ställda i relation till experimentellt fastställda reaktionsförlopp vid reduktion av järnmalmer

Fram till dess Schuster och Straube visat, att utreducerat järn under reduktionsprocessens gång passerar ett stadium som flytande tackjärn

även då slutprodukten blir en mer eller mindre lågkolhaltig järnlupp, var den allena rådande uppfattningen, att vid framställningen av lupper förlöpte processen med allt utreducerat järn i fast tillstånd under hela tiden. Denna tolkning av reduktionsprocessen ligger fortfarande till grund för många järnframställningsförsök. Företrädarna för denna uppfattning antar, att delreaktionerna i varje temperaturzon (jfr fig. 2) löper till jämvikt och att man vid ca 1200° har utskilt järn i fast form med högst 1,7% C. Man får då enligt denna åsikt ej ha ett för stort kolöverskott om man eftersträvar en lågkolhaltig slutprodukt och man får inte blåsa in för stora luftmängder per tidsenhet, så att blästertemperaturen blir för hög.

Redan år 1882 visade Richard Åkerman, (s. 324 - 357) att järnmalmens reduktion förlöpte över oxiderna Fe_2O_3 , Fe_3O_4 och FeO (wüstit) samt diskuterade masugnprocessens behov av kol mot bakgrund av att reduktionen skedde via såväl CO som C . Det jämviktsdiagram över systemet Fe-C-O , som visas i fig 1, uppställdes först av Bauer och Glaessner 1903. Under 1920- och 1930-talen förfinades beräkningarna för de olika ingående delreaktionerna vid järnoxidernas reduktion till järn i närvaro av kol, främst av Schenk vid Kaiser Wilhelm Institut (1927 - 1929). Sedan dess har järnmalmens reduktion ingående behandlats av Wiberg på 1940-talet och dessa arbeten har påbyggt och vidare utvecklats av Edström på 1950-talet. Wibergs och Edströms arbeten är grundläggande och internationellt utnyttjade vid studier och utveckling av masugnprocessen och järnsvampstillsättning.

Av moderna arbeten bör främst nämnas von Bogdandy och Engel, The reduction of iron ores, 1971 med inte mindre än 759 referenser, och kapitlet Physical chemistry av Ross et al. i Direct reduced iron, utgiven av Iron and Steel Society of AIME 1980. I båda dessa verk bygger den teoretiska behandlingen i hög grad på Wibergs och Edströms arbeten, i båda utnyttjas t ex Wibergs fotografier.

Det är framförallt Schürmann (1958) och Osann (1971, 1973), som på senare tid hävdar åsikten att framställningen av järnlupper är ett slags järnsvampprocess, där tackjärn ej kan uppträda under processens gång. Som tidigare nämnts har Osann för VdEh skrivit en omfattande och ordrik avhandling "Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung".

Här erkänner han visserligen att Schuster genom "scharfes Blasen" åstadkommit den "Primärflamme" han talar om och som ger höga temperaturer i blästerzonen, men att ugnen då arbetar som en Flossofen, d v s framställer enbart tackjärn. Å andra sidan förklarar Osann bestämt att inget järn kan uppkolas förrän all wüstit förbrukats och att tackjärn kan bildas först då slagget har bildats och runnit av järnet ovanför blästerlågan. Av litteraturhänvisningarna framgår, att Osann inte utnyttjat moderna arbeten rörande reaktionsförloppet vid reduktion av järnmalm.

Det är emellertid inte bara Schuster, som har påvisat att höga temperaturer uppnås i blästerzonen. Även med måttlig eller låg luftinblåsning har höga temperaturer uppmätts. Tylecote rapporterar 1600° (1973, 1974), Pleiner 1460° (1973), Hagfeldt mer än 1450° (1966), Straube 1420° , Thomsen 1400° (1975), Voss med självdrag 1200° - 1400° (1973). Alla dessa temperaturmätningar visar, att temperaturområden, där flytande wüstit måste ha förefunnits ovanför blästerzonen, i vissa fall högt ovanför. I alla försök där temperaturmätningar gjorts i schaktet har man påvisat mycket ojämn temperaturfördelning. Härtill kommer att vissa reaktioner förlöper momentant, under det att andra tar tid, som t ex kolets diffusion i malmstyckena, varför reaktionsjämvikt ej hinner uppnås i praktisk drift. Detta innebär att vissa delreaktioner kan ske oberoende av varandra. Samtidigt som malmen delvis är reducerad till järn kan t ex flytande wüstit i kontakt med träkol bilda järn, som hinner uppkolas kraftigt och i vissa fall ge upphov till flytande tackjärn ovanför blästerzonen. Osanns påstående att inget järn kan uppkolas förrän all wüstit har förbrukats är helt felaktigt, som framgått av bl a Wibergs och Edströms undersökningar, och detta bekräftas också av praktiska reduktionsförsök. Bohms iakttagelser och slutsatser överensstämmer helt med det reaktionsförlopp, som påvisats gälla i de av Wiberg och Edström gjorda laboratorieexperimenten.

Straube och medarbetare antar att det tackjärn, som bildats under processgången, skulle ha uppkommit genom att de först bildade järnfolierna - järnskalen eller delarna av järnskal på malmstyckenas yta - upptagit kol ur gasfasen och att den därav följande smältpunktsnedsättningen lett till att det bildats flytande tackjärnsdroppar. Det är dock högst osannolikt att dessa järnfolier kan existera helt fria från förslagning på ytan under den tid, som erfordras för uppkolning till tackjärn. De stora slaggmängderna i förhållande till de utskilda järnpartiklarna leder också till att de snabbt blir inbakade i flytande slagget, se t ex Bohms

iakttagelser. Wüstiten med sin upplösta bergart är, då den rimmer ur det ursprungliga malmstyckets järnskal, den först uppträdande flytande fasen i ugnen och denna wüstit faller alltså ut på rena träkol. Förslagning av den fria ytan på det utfällda järnet sker givetvis även här, men i gränsskiktet mot träkol fortsätter hela tiden uppkolningen av järnfolierna till flytande tackjärnsdroppar. Trots att wüstitutskiljningen inte observerats, måste tackjärnsbildningen även i Straubes och hans medarbetares försök ha ägt rum på detta sätt. Bildmaterialet av reduktionsgodset hos Straube uppvisar betydande likheter med Bohms (Straube 1964, bild 10, 18 och 20).

Schuster har i sina undersökningar ägnat temperaturförhållandena i ugnen den största uppmärksamheten. Förutom att han påvisar att mycket höga temperaturer med naturnödvändighet måste uppträda i förbränningszonen, visar han genom gasgenomströmningsmätningar och temperaturmätningar att avsevärda temperaturskillnader i horisontell led uppstår i schaktet till ugnar med endast en forma. Dessa förhållanden förklarar helt att flytande wüstit och tackjärn kan existera samtidigt. Han antager att uppkomsten av tackjärn sker genom att järnfolierna smälter och i smält tillstånd uppkolas till tackjärn. Denna förklaring är dock ännu mer osannolik än Straubes.

De behandlade järnframställningsförsöken omfattar en förhållandevis liten masugn, där avsikten varit att framställa tackjärn, samt tre lägre ugnar, där man velat åstadkomma en järnlupp med en kolhalt högst uppgående till vad som motsvarar hårdbart stål. Självklart råder i samtliga fall samma teoretiska förutsättningar, försiggår samma reaktioner för järnets utreducering ur sina oxider. Vid lägre schakthöjd sammanträngs givetvis zonerna för de olika delreaktionerna och tillgänglig tid för reduktionen minskar. Ugnens höjd är emellertid inte den faktor som avgör om det blir tackjärn eller en lupp. Som bekant har det funnits Stückeröfen i Österrike, vilka haft en betydande schakthöjd och producerat lupper på upp till ett ton. (Se t ex Johannsen 1953). Den helt avgörande principiella skillnaden sammanhänger med om ugnarna drivs kontinuerligt eller diskontinuerligt.

Kontinuerligt drivna ugnar

En masugn kännetecknas i första hand av att ugnen drives dygn efter dygn under starkt reducerande förhållanden med stort kolöverskott fram till

nerblåsningen efter en genomförd kampanj. En sådan drift är knappast genomförbar med hand- eller fotbläster. Masugnens tillkomst måste alltså sättas i samband med att vattenhjulet började utnyttjas för industriella ändamål. Tidigast på 1200-talet är vattenhjul kända vid kvarnar i våra medeltida städer (Broberg, Hasselmo 1978 s. 15). Den äldsta skriftliga uppgiften anger att det vid Tvååker i Halland funnits en "järnkvarn" år 1197, en järnframställning där vattendriven bläster använts. (Nihlén 1939 s. 11.)

Senast under 1200-talet har alltså förutsättningar för tackjärnstillverkning förelegat i vårt land. Vid Lapphyttan i Norberg har grävts fram en ugn med en höjd, som inte nämnvärt torde ha överstigit 3 m, med en forma och ett utslagsbröst och med vattendriven bläster. Schaktdiametern har vid nymurad pipa legat kring 1 m. Ugnen har producerat tackjärn, som färskats i ett flertal härdar med mått, som överensstämmer med dem, som Swedenborg (s. 148 f) anger för osmundhärdar avsedda för färskning av tackjärn. Slaggen från schaktugnen har typisk masugnskaraktär med mycket låga FeO-halter - i medeltal 5,5% Fe beräknat på 11 stickprov - och av slaggarvarpen att döma kan ugnen beräknas ha varit i produktion under minst hundra år, sannolikt betydligt längre. C14-prov, som tagits i ugnsruinens schakt, anger tidpunkten då ugnen blåstes ner till år 1330 \pm 90 år. (Magnusson, 1982.) Nyligen redovisad datering med termoluminiscensmetoden säger 1330 \pm 60. Enligt C14-datering har tidigare ugnar legat på samma plats vid bäcken på 1200-talet eller möjligen redan på 1100-talet. (Magnusson 1980 s. 26.)

Ugnen torde inte vara unik för Sverige. Flera outgrävda järnframställningsplatser vid bäckar med likartad slaggr har daterats till tidig medeltid. (Hyenstrand 1977 s. 69.) Inte heller är den unik som tackjärnsproducerande ugn i Europa. Den äldsta skriftliga uppgiften om vattendriven bläster inom järnhanteringen i Tyskland daterar sig till 1395. Vi arkeologiska utgrävningar i Mark i Tyskland har man tidsbestämt en ugn med vattendriven bläster, som i varje fall tidvis måste ha producerat enbart tackjärn till 1200-talet. (Sönnecken 1977 s. 17.)

Vad beträffar ugnshöjd så redogör Johannsen i Geschichte des Eisens (s. 139) för ett flertal långa schaktugnar, som producerat tackjärn, bl a persisk ugn på endast 2,5 m. Amatörforskaren Nöjd tillverkade på

1960-talet tackjärn i en endast 2 m hög ugn, som han drev kontinuerligt under några dygn. Prov på detta tackjärn sändes för analys till författaren.

Schuster anger såsom ett huvudvillkor för tackjärnsframställning att smältrummet, stället, måste hållas trångt, annars arbetar ugnen som en Stückofen och ger en järnlupp. Det är uppenbart att ett ställe som är trångt i förhållande till schaktdiametern arbetar bättre som en koloxidgenerator och att den uppströmmande koloxidgasen då bättre fyller hela schaktarean. Stället kan emellertid i en och samma ugn ha en betydande vidd under det att ugnen fortfarande producerar tackjärn. Man kan iakttaga detta på de många ruinerna efter nerblåsta äldre masugnar, som finns i vårt land. Den eldfasta natursten, som förr användes, var inte motståndskraftig mot slaggrepp vid de temperaturer, som uppträdde i stället. Som exempel på hur kraftiga ursmältningar, som kan förekomma, kan tjäna måttuppgifter från en profilritning från 1860. Den härrör från Uddeholmshyttan, ursprungligen byggd på 1700-talet som en mulltimmershytta med en forma, och år 1860 försedd med ett rammat ställe av kvarts och holländsk eldfast lera. Efter nerblåsning hade ställets bottendiameter ökat från 73 cm till 128 cm, i formnivå uppmättes 140 cm och 3 dm över formnivån 173 cm mot ursprungliga 93 cm. Trångt ställe är alltså ett begrepp med mycket vida gränser. Även vid en senare tids träkolmasugnar med bättre eldfast material förekom kraftiga urskärningar. Tigerschöld (1934 s. 36, s. 37) visar sådana nedblåsningsprofiler.

Diskontinuerligt drivna ugnar

Senast på 1100-talet hade reduktionsugnarna i Tyskland nått en sådan höjd, att man inte längre kunde lyfta upp den erhållna luppen ur schaktet. Ugnarna försågs då med ett bröst, så att man kunde riva innermurens enda botten sida och dra ut luppen åt sidan utan att helt förstöra ugnen. Den erhållna luppen var i varierande grad uppkolad med en mot centrum sjunkade kolhalt. Omkring luppen kunde flytande tackjärn förekomma.

Varje ugn, som i full värme och fylld med träkol, sakta börjar chargerats med malm, fungerar givetvis i detta skede på exakt samma sätt som en kontinuerligt driven ugn. Vid överskott på kol är för-

hållandena starkt reducerande. Reduktionen följer nu samma mönster. som beskrivs av Bohm. Järnskal bildas på malmstyckenas yta, vilken i större eller mindre grad tar upp kol. Flytande wüstit faller på upphettade träkol och uppkolningen kan gå så långt att den ger upphov till tackjärn, som droppar ner genom schaktet. Detta förlopp fortgår så länge som malmingen pågår utan att koluppsättningen minskas. Så snart man slutar med malmpåsattningen och senare med koluppsättningen och börjar förbränna kolet i ugnen uppstår oxiderande förhållanden i ugnen. Slaggen blir FeO-rik och bildat kolhaltigt järn avkolas. Vid höga schaktugnar har tillräckligt mycket tackjärn bildats för att en betydande del skall bli kvar i smältrummet, men i centrum bildas en lupp med kolhalter från mjukt järn till stål.

Detta processförlopp gäller inte endast för der Stückofen. I varje ugn, som blåses ner, uppstår samma slutresultat, även i en masugn. Garney (del II s. 558 ff.) redogör härför och omtalar, att det sista erhållna järnet får en mycket låg kolhalt, speciellt det, som kallnar på väggarna i schaktets nedersta del, järn som han kallar masar eller massor. För några år sedan lät förf. på uppdrag av länsantikvarien i Värmland analysera en i en masugn av okänd ålder bildad ring av järn. Skollan hade en diameter på 1,2 m utvändigt, en höjd på 0,6 - 0,8 m och en största tjocklek på 30 cm. Kolhalten var 0,07%. Varje hyttingenjör, som blåst ner en masugn, vet också att gången blir hårdsett, d v s tackjärn, som kan slås ut, blir allt lägre i kol och slaggen allt svartare och oxidrikare. Hyttklotet - det i ugnen kvarstannande slaggbemängda järnet - har en kolhalt som klart understiger tackjärnets sammansättning. Morton och Wingrove (1969-2) har en teckning, som visar luppbildning i en år 1917 nerblåst koksasmusugn. Det sista utslaget i moderna koksasmusugnar med hög blästertemperatur och många former kan närmast liknas vid tappning av en stålugn.

Slaggen från en Stückofen skiljer sig också från masugnsslagg genom att den håller 25 - 30 % FeO till skillnad från masugnsslaggens max ca 10 %. Lapphytteslaggerna ligger som ovan visats klart under detta värde.

Det kan synas egendomligt att man i Österrike och delar av Tyskland så länge upprätthöll en järnproduktion i Stücköfen och att man ända in på

1700-talet byggde allt större sådana ugnar. Som en förklaring (Björkenstam 1971 s. 8) har angivits att det erhållna tackjärnet måste färskas med högklassiga rena träkol för att man skulle få ett gott resultat i denna process. Brist på ved i dessa trakter gjorde, att man för reduktionsprocessen var tvingad att använda övriga skogsprodukter, stubbar och grenar för kolning samt bränder och sämre kolade träkol, som smältsmedjorna ej kunde utnyttja. Nu kräver ju emellertid även reduktionsprocessen fullgoda och sorterade träkol i lämplig styckestorlek om man skall erhålla en full utreducering av järn i form av tackjärn ur malmen.

Ännu vid endast 1 - 1,5 m höga ugnar kan man finna att järn till viss del utreduceras och uppkolas ända upp till tackjärn, som i flytande form uppträder i ugnarna. (Straube, Schuster.) Under det inledande skedet följer alltså reduktionsförloppet även här det mönster, som Bohm påvisat, trots att ugnarna haft en betydande vidd i förhållande till höjden. Vid mycket låga och vida ugnar borde man inte kunna räkna med, att mer än ca 1/3 av malmens syre hinner bortreduceras av gasfasens koloxid och att huvudreaktionen borde vara en direkt reduktion mellan kol i smältzonen, stället, och en oxidrik smälta. Ändock visar Hagfeldts försök, att höga kolhalter har uppnåtts i vissa av de erhållna lupperna. Här har dock förefunnits ett relativt stort kolöverskott och en förhållandevis hög luftinblåsning, medan nerblåsningen har skett utan förbränning av allt kvarvarande kol i beskickningen.

Här har inte tidigare berörts försök gjorda av Tylecote et al. (1971) eftersom studier av godsets förändring under processens gång inte gjorts. De är emellertid viktiga, då de visar att luppens kolhalt kan regleras genom förändringar i beskickningens kol/malm-förhållande. Inte mindre än 28 försökssmältor gjordes i en ugn 1,75 m hög och 30 cm i diam.

Författarna ställer upp en hypotes för processförloppet och antar att järnet till huvudsaklig del utreduceras av CO ur den under processens gång bildade flytande järnhaltiga slaggen, och att detta ger upphov till en lågkolhaltig slutprodukt. Då högre kolhalter erhålles i järnluppen, skulle detta ske genom att av CO utreducerade järnpartiklar på hög temperatur i ugnen hålls rena från slaggen på ytan ända ner till blästerzonen. Dessa järnpartiklar kan då ta upp kol i ökande grad med stigande temperatur på vägen ner i blästern.

Någon nämnvärd reaktion mellan flytande fas och gasfas torde inte kunna försiggå under angivna försöksbetingelser. Inte heller torde utskilda järmpartiklar kunna hållas fria från slag, som förut framhållits (Bohm 1927). Två av de tillverkade lupperna hade fö. tackjärnssammansättning, ett förhållande, som inte närmare diskuterades av författarna.

Man förklarar vidare att en ur ugnen uttrinnande slag endast erhålles om förhållandet kol/malm är lågt, vilket ger ett lågkolhaltigt järn och en FeO-rik slag. Eftersträvade man lupper med stålsammansättning kunde slaggen ej avtappas. Schuster erhöll emellertid sammanhängande lupper av betydande storlek och med kolhalter, som gav ett hårdbart järn, stål, och en avtappningsbar slag genom större kolöver-skott och kraftigare kolförbränning.

Pleiner (1973 s. 22), som inte heller närmare studerat beskicksningsgodset vid smältförsök i en tidig slavisk ugnstyp, har emellertid vid analys och studium av det erhållna järnet dragit den slutsatsen att processen i ugnen måste ha följt det förlopp som Straube angivit (Straube 1973).

Vid arkeologiska utgrävningar är tyvärr oftast endast ugnsslag kvar kring ugnarna. Inga Serning har emellertid vid undersökningar av förhistoriska järnframställningsplatser i Dalarna närmare studerat järndroppar inneslutna i ugnsslaggen och i två fall, från skilda ugnar, (Serning 1973 s. 19 och s. 49), konstaterat att järnet måste ha uppkolats under processens gång och i flytande form upptagits i slaggen. Enstaka fynd av järnlupper med varierande kolhalt upp till tackjärnets omtalas vid andra utgrävningar. Ett exempel är en lupp, som visas i anslutning till Bielenins föredrag vid en konferens i Schaffhausen år 1970. (Bielenin 1973). Populära beskrivningar i anslutning till arkeologiska utgrävningar utgår dock från att processen enbart är en succesiv utreducering av järn i fast form.

Det återstår nu att säga något om de försök, där man inte lyckats erhålla en sammanhängande lupp, utan endast kolfria folier av järn och i bästa fall smårusor av lågkolhaltigt järn i skilda delar av en järnoxidrik slagkaka. Detta kan uppstå av två anledningar eller genom en

kombination av båda, nämligen antingen låg koltillsats i beskickningen eller i och för sig tillräcklig koluppsättning, men för liten luftinblåsning. Man täcker således ej ugnens och processens, d v s de värmekrävande delreaktionernas värmebehov och värmeförluster i ugnens väggar och får ej heller en tillräcklig gasgenomströmning för att den nödvändiga indirekta reduktionen med CO helt och fullt skall kunna utnyttjas. Resultatet måste bli en ringa eller obetydlig indirekt reduktion som ger ett fåtal tunna järnfolier med låg kolhalt, vilka i den oxidrika slaggen närmar sig rent järn. I bästa fall får man små rusor av mycket lågkolhaltigt järn här och där i slaggen.

SAMMANFATTNING

1. Träkol måste vid all jämföring ingå i beskickningen i överskott i förhållande till processens teoretiska behov. Luft måste inblåsas i sådan mängd att ugnens värmeförluster täckes och att gas produceras i erforderlig mängd för den vid all jämföring absolut nödvändiga indirekta reduktionen med koloxid.
2. Malmen bör vara rostad, så att man utgår från den lättreducibla och efter rostningen porösa Fe_2O_3 -oxiden och ha en styckestorlek, som väsentligt underskrider träkolens.
3. Träkolen bör vara grova och hållfasta. Eftersom träkolen har en avsevärt lägre volymvikt än malmen, kan ugnen vid beräkning av beskickningsvolymen betraktas som fylld enbart med träkol. De små malmstyckena ligger spridda i hålrum, som de grovstyckiga kolen bildar. I blästerzonens heta och grova kol uppstår mycket höga temperaturer, upp till 1700° har uppmätts redan vid luftmängder som motsvarar trampbälgsdrift.
4. Under förutsättning att ugnen är väl upphettad genom förbränning av enbart träkol under en längre tid och att angivna villkor i övrigt är uppfyllda, når man även i mycket låga schaktugnar temperaturen 700° redan vid ca en tredjedel av schakthöjden mätt uppifrån. Oberoende av malmens art och ursprung har järnoxiderna nu en sammansättning som motsvarar magnetit, Fe_3O_4 . Vid den fortsatta temperaturstegringen reduceras magnetiten till wüstit och så snart denna bildats, reduceras den till metalliskt järn. Detta järn bildar ett mer eller mindre tjockt skal på malmstyckenas yta och tar upp kol från den omgivande reducerande gasen. Man kan således samtidigt som man har ett lågkolhaltigt järnskikt utanpå malmstyckena fortfarande ha såväl wüstit som magnetit inuti malmstyckena.
5. Vid högre temperaturer, $1100-1200^\circ$, övegrår wüstiten i flytande tillstånd p g a smältpunktsnedsättning genom inblandning av bergart. Då denna flytande wüstit rinner ut över träkol, som har samma höga temperatur, sker en direktreduktion till järn, och detta järn kan snabbt kolas upp ända till tackjärnets kolhalt och i flytande form droppa ner genom beskickningsgodset.

6. De tidigare bildade järnskalen eller järnfolierna utanpå malmstyckena förslaggas lätt på ytan så att vidare kolupptagning förhindras, sannolikt i de flesta fall även av omgivande trögflytande ugnsslagg. Någon ytterligare kolupptagning kan därför inte antas ske hos järnskalen förrän vid 1200° eller däröver, då den slutliga lättflytande ugnsslagen bildas och rinner ner i stället.
7. Drivs ugnar, även sådana med förhållandevis låg schakthöjd, i varje fall ner till ca 2 m, kontinuerligt under viss tid, åtminstone något eller några dygn, övergår allt framställt järn under angivna reducerande förhållanden till tackjärn, som flytande kan tappas ur ugnen.
8. Drivs däremot ugnen chargevis följer - efter en inledande reduktionsperiod med samma förlopp som vid kontinuerligt drivna ugnar - en oxidationsperiod under nerblåsningen av ugnen. Har tackjärnsdroppar bildats, avkolas dessa framför blästern liksom övrigt kolhaltigt järn och en fortsatt avkolning sker sedan i den oxidrika slaggen i smältrummet. Slutprodukten blir i detta fall en järnlupp. Denna lupp har en lägre kolhalt i de starkt oxiderande förhållandena på smältrummet blästersida och kolhalten ökar inåt ugnen, där oförbränt kol ännu ligger kvar. Vid kolöverskott och hög temperatur i blästerzonen kan ugnen drivas så att man får en sammanhängande lupp med hög kolhalt - stål - samtidigt som slaggen kan avrinna ur ugnen. FeO-rika slaggar har en lägre smälttemperatur och är alltså lättflytande vid en förhållandevis låg temperatur. Driver man processen i syfte att uppnå en sådan slagg genom ett lågt kol/malm-förhållande i beskickningen, får man ett lågt järnutbyte, en lågkolhaltig icke hårdbar slutprodukt, vilken som regel ligger som spridda små lupper inne i kvarvarande ugnsslagg.

LITTERATUR

1. Bielenin, K., 1973. Schmelzversuche in halbeingetieften Rennöfen in Polen. Die Versuchsschmelzen und ihre Bedeutung für die Metallurgie des Eisens und dessen Geschichte. Als interner Druck herausgegeben vom Museum zu Allerheiligen (Schaffhausen, Schweiz) und vom Archäologischen Institut der Akademie der Wissenschaften (Prag, Tschecoslowakei).
2. Björkenstam, N., 1971. Osmundtillverkning ur tackjärn. Jernkontorets Forskning, Serie H nr 1.
- 1981. Teknik, produktion, kostnader. - Svenskt och utländskt järn på 1600-talets Europamarknad. - Med Hammare och Fackla 28. Lund.
3. Björkenstam, N., Tholander, E., 1972. Diskussion rörande osmund. Jernkontorets Forskning, Serie H nr 4.
4. von Bogdany, L., Engel, H.J., 1971. The reduction of iron ores. Scientific basis and technology, Berlin. Tysk upplaga 1966, Die Reduktion der Eisenerze.
5. Bohm, I., 1927. Olika faktorers inverkan på masugnsprocessen. Jernkontorets Annaler Vol. 82. Engelsk upplaga 1982, A study of the blast furnace process. Jernkontorets Forskning, Serie H nr 22.
6. Broberg, B., Hasselmo, M., 1978. Söderköping. - Medeltidsstaden 5. Rapport, Riksantikvarieämbetet och Statens historiska museer.
7. Edström, J.O., 1954. Om förloppet vid reduktion av magnetit och hämatit. Jernkontorets Annaler Vol. 138. Även på engelska, The mechanism of reduction of iron oxides. J. Iron and Steel Inst. 175 (1953).
- 1957. Solid state diffusion in the reduction of hematite. Jernkontorets Annaler Vol. 141.
- 1958. Reaktionsförlopp vid kulsintring och järnmalmreduktion. Jernkontorets Annaler Vol. 142. With a Summary.
8. Edström, J.O., Bitsianes, G., 1955. Diffusion i fast fas vid reduktion av magnetit. Jernkontorets Annaler Vol. 139. Även på engelska, Solid state diffusion in the reduction of magnetite. J. Metals 7 (1955).
9. Eketorp, S., 1963. Masugnsprocessens moderna utvecklingslinjer. Jernkontorets Annaler Vol. 147.
10. Garney, J.C., 1816. Handledning uti svenska masmästeriet. Omarbetad upplaga av Lidbeck, C.J. Stockholm.

11. Gilles, J., 1958. Versuchsschmelze in einem vorgeschichtlichen Rennofen. Stahl und Eisen.
- 1960. Rennversuch im Gebläseofen und Ausschmieden der Luppen. Stahl und Eisen.
12. Hagfeldt, H., 1966. Reduktionsförsök i blästa. Examensarbete vid Kungl. Tekniska Högskolan. Stockholm.
13. Hyenstrand, Å., 1977. Hyttor och järnframställningsplatser. Jernkontorets Forskning, Serie H nr 14.
14. Johannsen, O., 1953. Geschichte des Eisens. 3 Aufl. Düsseldorf.
15. Kalling, B., 1934. Den kemiska jämviktslärans betydelse för de metallurgiska processerna. Jernkontorets Annaler, Tekniska diskussionsmötet.
16. Linder, R., 1960. Termokemiska beräkningar över masugnsprocessen. Jernkontorets Annaler Vol. 144.
17. Magnusson, G., 1982. Lapphyttan i Norberg. En medeltida hyttanläggning. Kulturminnesvård 2/82. Riksantikvarieämbetet. Stockholm.
18. Morton, G.R., Wingrove, J., 1969. Constitution of bloomery slags. Part 1, Roman. - J. Iron and Steel Inst. Vol. 207.
- 1969. Slag, cinder and bear. Bull. of the Historical Metallurgy Group Vol. 3 No 2.
19. Nihlén, J., 1939. Äldre järntillverkning i Sydsverige. Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie nr 9.
20. Nyquist, O., Andreasson, L., 1966. Bestämning av temperaturen för begynnande smältning i en masugnsbeskickning. Jernkontorets Annaler Vol. 150.
21. Osann, B., 1971. Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung. Verein deutscher Eisenhüttenleute. Fachausschussbericht 9.001. Düsseldorf.
- 1973. Direkter Ablauf des Rennverfahrens oder Ablauf über das Zwischenprodukt Roheisen? Die Versuchsschmelzen und ihre Bedeutung für die Metallurgie des Eisens und dessen Geschichte. Schaffhausenkonferenzen 1973. Se Bielenin.
22. Pleiner, R., 1973. Der Einfluss der Ofenkonstruktion auf die Aufkohlung von Eisen in Rennofen. Schaffhausenkonferenzen. Se Bielenin.
23. Ross, H.U., McAdams, M., 1980. Direct reduced iron. Technology and economics of production and use. The Iron and Steel Soc. of AIME. Chapt. 3, part 2.
24. Serning, I., 1973. Förhistorisk järnhantering i Dalarna. Jernkontorets Forskning, Serie H nr 9.
- 1976. Tidig järnframställning i Skandinavien. När järnet kom. Polen-Vendelsyssel-Göteborg. Göteborg.
25. Schenck, R., 1927. Zeitschrift Anorg Allg. Chem. Bd. 166 och 167.
- 1929. Dito Bd. 182.

26. Schuster, W.F., 1969. Das alte Metall- und Eisenschmelzen, Technologie und Zusammenhänge. Technikgeschichte in Einzeldarstellungen. Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf.
27. Schürmann, E., 1958. Die Reduktion des Eisens in Rennfeuer. Stahl und Eisen 78. 1958.
28. Straube, H., 1973. Untersuchungen über die römische Stahlherstellung im Gebiet Noricum. Schaffhausenkonferenzen 1973. Se Bielenin.
29. Straube, H., Tarmann, B., Plöckinger, E., 1964. Erzreduktionsversuche in Rennöfen norischer Bauart. Mitteilungen der Edelstahlwerke Gebrüder Böhler & Co Aktiengesellschaft. Klagenfurt.
30. Swedenborg, E., 1734. De ferro. Svensk översättning, Om järnet, utg. 1923. Stockholm.
31. Sönneken, M., 1977. Forschungen zur spätmittelalterlichen, frugeschichtlichen Eisendarstellung in Kerspe, Märkischer Kreis. Verein deutscher Eisenhüttenleute. Fachausbericht 9.006.
32. Thomsen, R., 1975. Et meget mærkeligt metal. Varde.
33. Tigerschiöld, M., 1934. Nutida svensk masugnsdrift. Tekniska diskussionsmötet. Jernkontorets Annaler Vol. 118.
34. Tylecote, R.F., Austin, J.N., Wraith, A.E., 1971. The mechanism of the bloomery process in shaft furnaces. J. Iron and Steel Inst. May 1971.
- 1973. Iron smelting experiments with a shaft furnace of the Roman period. Schaffhausenkonferenzen. Se Bielenin.
35. Waldbaum, J.C., 1978. From bronze to iron. Studies in mediterranean archeology, Vol. 54. Göteborg.
36. Wiberg, M., 1937. Olika faktorers inverkan på masugnsprocessen. Jernkontorets Annaler Vol. 121.
- 1940. Om reduktion av järnmalm med koloxid, väte och metan. Jernkontorets Annaler Vol. 124.
37. Voss, O., 1973. Danish experiments with furnaces with slagpit. Schaffhausenkonferenzen. Se Bielenin.
38. Åkerman, R., 1882. Om syrsatt jerns reduktion. Jernkontorets Annaler Vol. 66.

SUMMARY

Having given a general view of the conditions governing the production of iron, the author describes briefly the blast furnace process in which the various oxides of iron pass through all the stages of partial reduction until almost all the iron in the ore is reduced to metal. The description of the chemical and physical reactions is based on relevant literature and published laboratory investigations.

The results of four investigations in ironmaking are studied against this background. The height of the furnaces used in the experiments varies - between 6 m and 0.4 m - and the changes taking place in the charge materials during the process are analysed. The experiments are:

1. Ivar Bohm's study of the blast furnace process, made in a 6 m high blast furnace. (Bohm 1927)
2. Iron reduction experiments in 0.75 m and 1.5 m high furnaces, reconstructions based on archeological finds from the ancient Noricum, made by H. Straube, B. Tammann and E. Plöckinger. (Straube et al. 1964)
3. Wilhelm Schuster's experiments in a furnace of 1.6 m height , based on his own findings from excavations in the Styria-Carinthia region. (Schuster 1969)
4. Hans Hagfeldt's experiments in a furnace of 0.4 m height. (Hagfeldt 1966)

Ivar Bohm's investigations and his conclusions are in complete accord with modern views on the reactions involved in the reduction of iron ores. At an early stage in the process very high carbon or pig iron is formed, not only in Bohm's furnace but often in other low shaft furnaces, although the intention is to produce blooms of low carbon iron. Other experiments in making blooms, where the changes in the charge have not been studied in detail, have also resulted in the production of pig iron. Likewise it has been shown, in finds from prehistoric low shaft furnaces, that at some stage in the reduction process fluid pig iron has been formed. The old - and still rather common - concept, that to obtain a coherent bloom of low carbon iron all the iron must remain in a non-liquid state during the process of reduction, is wrong.

The conditions governing the production of iron can be summarised as follows:

1. In all ironmaking, charcoal must be present in excess of the theoretical requirements of the process. Sufficient air must be supplied to

- compensate for the heat losses of the furnace and to produce enough gas to ensure the indirect reduction of iron oxide by carbon monoxide, the reaction process that is a pre-requisite for all production of iron.
2. The ore must be calcined, so that the process starts from the easily reducible and porous magnetic oxide, Fe_3O_4 ; it must be in small particles, considerably finer than the charcoal.
 3. The charcoal must be coarse and hard. The small grains of ore nestle between the large pieces of charcoal. In the region of the tuyere such pieces of charcoal can give very high temperatures; it has been demonstrated that nearly 1700°C can be reached, even using foot-operated bellows.
 4. Provided the above conditions are fulfilled and the furnace is adequately pre-heated by burning nothing but charcoal, even in very low shaft furnaces a temperature of 700°C is reached at a height of about one third from the top of the furnace. Irrespective of origin and kind of ore, at this position the composition of the iron oxide corresponds to that of magnetite, Fe_3O_4 . As the temperature rises, the magnetite is reduced to wüstite, FeO , and as soon as wüstite is formed it is reduced to metallic iron. The metallic iron forms a film of varying thickness on the surface of the pieces of ore and this film absorbs carbon from the surrounding reducing gas. It is therefore possible to find an iron film containing some carbon on the outside of a piece of ore while there is still wüstite and magnetite within.
 5. At higher temperatures - $1100 - 1200^\circ\text{C}$ - the wüstite will melt because its fusion point is lowered by the admixed gangue material. When the hot and liquid wüstite runs out of the piece of ore and comes into contact with equally hot pieces of charcoal, the wüstite is reduced to iron, and this iron can quickly attain a high carbon content - as high as that of pig iron - and runs down through the charge as droplets.
 6. The iron film around the pieces of ore is easily covered with slag - probably a rather viscous furnace slag - which prevents carburisation of the iron film until the temperature has risen to 1200° or higher, when liquid slag is formed and runs down into the hearth.
 7. When furnaces - even low shaft ones of around 2 m or more - are run continuously for some time - at least a couple of days or more - all iron turns into fluid pig iron, which can be tapped.
 8. When a furnace is run discontinuously, there is an initial period of reducing conditions exactly as in a furnace that is run continuously, but this is followed by a period of oxidation when the furnace is taken out of blast. If pig iron droplets have formed, they are decarburised

in front of the tuyere as is the other iron of high carbon content. The decarburisation process continues in the oxide rich slag in the hearth. In this case the end product is a lump of iron, a bloom. Its carbon content is lower on the side towards the tuyere and it increases towards the other side of the furnace where there is still a surplus of unburned charcoal. If there is a surplus of charcoal and the temperature is high in the tuyere zone, the furnace can be run so as to produce a coherent bloom of high carbon content - steel - and the slag can be tapped as well. Slags which are rich in iron oxide have a low fusion point. If the furnace is run with a low ratio of charcoal to ore, aiming at obtaining such a liquid slag, the result will be a poor yield of iron with a low carbon content; this iron cannot be hardened and is usually in the form of isolated small pieces of metal within a more massive piece of slag.

Bild 1
Delvis reducerade malmkorn.
Metalliskt järn i kornytorna.
Först. 500 x.



Bild 2
Skuren malmstuff från 3 m
nivån, utvisande håligheten
mellan kärnan och ytskiktet.
Först. 2,5 x.

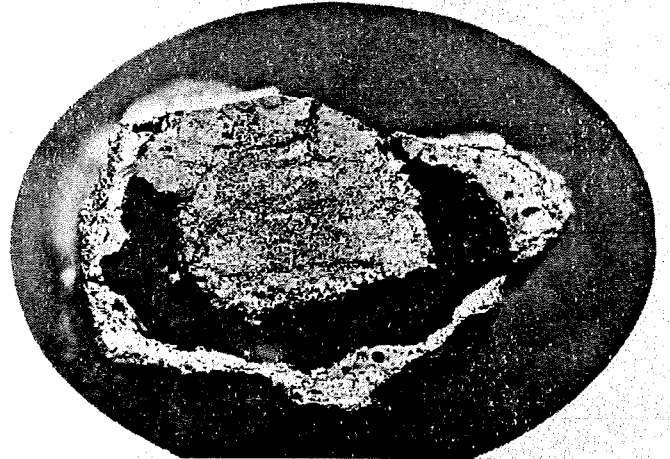


Bild 3
Malmstuff från 3 m nivå, där
kärnan har runnit ut genom
hållet t. v. Först. 1,8 x.



Bild 4
Sintrade malmstycken från 3 m
nivån. Man ser öppningarna i
järnskalen genom vilka wüstiten
runnit ut. Först. 1,8 x.



DISKUSSION

Föredragshållaren har givit oss en klar och överskådlig framställning av masugnsprocessens förlopp, till vilken jag önskar gratulera. Möjligen kan det vara på sin plats att till den samma föga några kompletterande funderingar.

Kunskapen om reaktionsförloppen i masugnens högtemperaturzon har ökat betydligt, sedan man i SSSR och Japan publicerat analysresultat från de "utgrävningar" - det är inte fråga om arkeologi nu! - av dämnda och nedkylda masugnsbeskickningar, som man gjort på åtskilliga fullstora ugnar av aktningvärda dimensioner. Det är i första hand två förhållanden, som jag önskar fästa uppmärksamheten vid: det ena berör kiselns roll i processen, och det andra rör alkaliföreningarnas.

De partier av järn, som man träffat på ovanför formnivån, och som utreducerats i fast form, har befunnits innehålla höga halter av kisel, av storleksordningen tre gånger högre än kiselhalten i järnsumpen i ställets nederdel. Någonstans på vägen mellan rasten och ställbotten har alltså järnets kiselhalt minskat till ca $\frac{1}{3}$ av sitt förra värde. Hur har detta gått till? Det ligger närmast till hands att anta följande mekanism. När dessa fasta järnpartier, som har hög kiselhalt, smälter, faller de nedåt och passerar genom slaggskiktet i form av ett fint regn. Vid passagen genom slaggskiktet, vilket alltid innehåller en viss mängd FeO, kommer detta att oxidera en del av järndropparnas kisel. Härvid minskar dropparnas kiselhalt, och detsamma sker med slaggens FeO-halt. Reaktionen är



Denna mekanism skulle ge en förklaring på det förhållandet, att masugnsprocessen arbetar med en extremt låg FeO-halt i slaggen. Den är i detta avseende unik bland järnmetallurgins processer, och det är ingen överdrift om man säger, att det är slaggens låga FeO-halt, som utgör processens största ekonomiska styrka. Om nämligen FeO-halten vore högre - av exempelvis samma storleksordning som den är vid smältreduktion - skulle den eldfasta infodringen i stället angripas snabbare

än som nu är fallet, och foderlivslängder på flera år, som nu är regel, skulle ej kunna uppnås. - Den antagna mekanismen skulle också lämna en förklaring på det förhållandet, att man ofta i masugnsslagger påträffar järndroppar, som är extremt små (av storleksordningen några hundra delar mm) och vilka knappast kan ha uppkommit på annat sätt än att de bildats genom reduktion inuti slaggen, när denna befunnit sig i smält form.

Beträffande alkaliföreningarnas roll i processen har man sedan länge känt till, att vissa av dem är flyktiga vid hög temperatur och därför förångas i högtemperaturzonen och även från slaggen, vars förmåga att lösa alkalioxider är begränsad. De sublimeras längre upp i kallare delar av pipan och kan där ge upphov till skullningar med allvarliga driftstörningar som följd. Även när beskickningens halt av alkalioxider är låg, säg mindre än 0,2%, fann man vid de nyssnämnda utgrävningarna, att beskickningsmaterialen i rastens överdel innehöll flera procent alkali, varför man där kan tala om en utpräglad alkalimiljö.

På senare år har kunskapen om dessa frågor ökat, sedan man vid laboratorieförsök konstaterat, att reduktionen av wüstit och även av kiseldioxid starkt påskyndas, om alkali finns närvarande. Därför är det kanske rentav så, att närvaro av alkalioxider är en förutsättning för, att processen skall förlöpa med den hastighet som den gör. Denna nya kunskap medför dock ej, att man fått ett nytt medel att påverka modern masugnsdrift. Alla beskickningsmaterial innehåller nämligen mer eller mindre alkaliföreningar, och att dessa anrikas ovanför rasten, kan man ej göra någonting åt. I det medeltida sammanhanget kanske det dock vore tillåtet att fråga sig, om dåtidens masugnsmän kände till, att vissa tillsatser av exempelvis fältspat var nyttiga?

SKRIFTLIGA KÄLLORS VITTNESBÖRD OM JÄRN

Dagens ämne har jag under flera år haft tillfälle att beröra i föredrag och skrifter i denna krets. Jag tänkte nu hålla mig till de äldre uppgifterna. En aspekt som har fått förnyad aktualitet är förhållandet mellan svenskt och utländskt och särskilt det tyska språkets inflytande inom bergväsendet. Det har skett genom en uppgift i dagspressen om masugnens svenska ursprung. Möjligen kan något jag har sagt ha spelat roll, då jag har uttalat att ordet masugn är känt i svenska språket på mitten av 1400-talet men i tyskan först under nyare tider. I och för sig är detta korrekt, men uppgiften kan dock vara missledande. Tanken på masugn ligger under den följande framställningen, och jag återkommer till den i slutet av föredraget.

Bland mina åhörare finns en del arkeologer. Det erinrar mig om då jag en gång på ett Helgö-symposium nämnde att det äldsta skriftliga belägget för namnet är från 1300-talet. Ett kallt vinddrag gick genom rummet, och jag kände tanken: Stå bland oss och tala om 1300-talet, vi som har varit på platsen och hållit föremål i vår hand som är 1 000 år äldre än 1300-talet!

Hur kan jag då våga yttra mig? Det skriftliga språket vilar på det muntliga, som är så långlivat, eller om man så vill, konservativt. Det kan förändras med tiden, liksom fornfynd, men det lever med hela tiden. Det finns ur språklig synpunkt ingen anledning att betvivla att Helgö hade det namnet redan 1000 år före det äldsta belägget, även om det inte går att bevisa den saken.

När jag nämner vilka källor som finns, börjar jag med själva språket. Hur är det t ex med ett fullt levande ord som *malm*? För var och en, vanlig svensk eller bergsingenjör, betecknar ordet malm en solid massa. Men språkhistoriskt är malm en uråldrig avledning till ordet *mala* och betecknar något finkornigt, en struktur som den järnrika rödjorden har och som myrmalmen ofta har när den hämtats upp men som bergmalmen måste överföras till innan en metallframställning kan påbörjas. Det är ett gammalt ord, ett nordiskt och i någon mån engelskt,

men knappast tyskt ord. *Erz* är det vanliga tyska ordet. *Malm* är dock kanske inte det äldsta ordet i Norden. Det är snarare *rauði* som det heter på isländska. De första norrmän som kom till Island behärskade järnframställningskonsten som de kallade *rauðablástr*. Finskan har det germanska lånet *rauta* för järn, lapskan *ruovde*. 400 år efter det norska landnamet på Island står det i det norska kongespejlet att islänningarna kallar sin *malm* för *rauði*. Ordet *rauði* hade dött ut i det norska riksspråket; möjligen finns det kvar i ortnamn.

Inte bara inom metallhanteringen, utan bland alla yrken, är *smedens* det äldsta. Det framgår av den språkliga bildningen, då andra hantverkare nämndes något på *-are*, från latinets *-arius* förmedlat hit framför allt över tyskan. Smeden var, som också Mästermyrfyndet visar, urhantverkaren, den som var händig med allt möjligt. Ordet finns också i sammansättningar som visar en begynnande specialisering, *skosmed*, *träsmed*, *stensmed*. En *knarrarsmiðr* var en båtbyggare.

Ortnamnen är en annan källa. De är mer konservativa än språket i övrigt. Jag erinrar om att namnen i den hedniska gudaläran, som vi annars känner bara genom den isländska litteraturen finns bevarade i många ortnamn. De i järnsammanhang intressanta ortnamnen har en medeltida eller yngre prägel. De naturnamn som innehåller något av orden för järn (det finns flera) och för ugn är inte knutna till platser med spår av förhistorisk järnframställning utan till den senare "horisonten".

Påfallande är det tyska inslaget i Bergslagens bebyggelsenamn. Det står i skarp kontrast till landets i övrigt rent svenska ortnamnsförråd, som tillkom innan tyskarna kom och påverkade livet och språket på ett genomgripande sätt. I Bergslagen kom de till ett svårodlat område som de tillförde något nytt. Av många svenska ord för "berg" kan just *berg* ha kommit att användas för "malmförande berg" därför att det var det tyska ordet. De många namnen på *-hyttan* innehåller troligen en försvenskning av *Hütte*. De på *-benning* innehåller en förkortning av *hyttobyggning*. Förlederna i dessa namn är inte sällan ägarens lågtyska namn. *Ängelsberg* hette *Englikabenning*, och *Englika* är ett lågtyskt personnamn.

Ortnamn som innehåller ord för "skog" på platser där skogen har tagit slut vittnar om människans förstörelse av sin egen miljö, där järnframställningen är en av verksamheterna. Island är paradexemplet jämte västra Jylland.

Medeltida litteratur ger föga som källa beträffande järnframställning. Oerhört mycket av tidens litteratur var religiös. Järnugnen kan komma in som en bisak, en sinnebild för en religiös tanke, och det gäller att vara försiktig med att använda sådant som tekniska beskrivningar. De isländska sagorna brukar inte kunna tillmätas beviskraft som historiska källor. Vad jag nämnt här som är hämtat ur sagorna verkar dock trovärdigt och har stöd såväl av arkeologiska fynd som av landskapets och den ekologiska situationens förändring.

I bevarade *stadgor* för bergen, för Kopparberget alltifrån 1200-talet finner vi att bergsmännen levde under förhållanden som skilde sig från den agrara befolkningens även beträffande skatter m m, och rättslig ställning. Vi finner olika yrkesord för de skilda verksamheterna på berget, men vi vet inte säkert vad de betyder. Vi finner regler för osmundsjärnet värde och vikt och regler för kvalitetskontroll för att skilja gillt järn från ogillt. Flertalet svenska *stadgor* är avfattade på svenska, några på latin. Medeltida tysk bergslagstiftning är ganska olik den i Sverige både vad gäller bestämmelserna och språket, då *stadgorna* för tyska berg som regel är skrivna på latin.

Någon svensk *beskrivning av järnframställning* finns inte före Peder Månsson, som satt i Rom på 1510-talet och bl a skrev sin *Bergsmanskunst*. Den bygger dels på utländska förlagor, framför allt Albertus Magnus *De mineralibus et rebus metallicis*, dels på självsyn. Vad finns det för tyska källor i den speciella språkliga tyska genre som heter "*Die deutsche Bergmanns-Sprache*"? De är inte lätta att finna. De medeltidstyska lexikonerna ger inte de upplysningar man hade kunnat vänta sig när det ju anses klarlagt att tyskarna var framstående i sin bergshantering. Jag hänvisar för den saken enklast till Kumlien som i "*Norberg under 600 år*" också behandlar tyska motsvarigheter till Norberg under medeltiden. Mer övergripande är naturligtvis Rolf Sprandels *Das Eisengewerbe im Mittelalter*, 1968, som

handlar om hela Europa. I litteraturen om "det tyska bergsmansspråket" tycks alla utgå från Agricolas *De re metallica* från 1550-talet, ett latinskt arbete där en ordlista innehåller latinska ords tyska motsvarighet.

Det vi vet om järnets manufakturering i olika former hämtar vi ur *handelskorrespondens*. Sådan finns för svenskt vidkommande bevarad äldst från slutet av 1400-talet, och vi måste för högmedeltiden gå till handelspartners i utlandet, framför allt Hansan.

Då vi sysslade med osmundsjärnet i en arbetsgrupp på Jernkontoret fann jag att det äldsta belägget för ordet överallt angavs vara från 1252. Uppgiften står att läsa i det medeltidsholländska lexikonet i ett litet textsammanhang med beteckningen *a1252* vilket enligt förkortningslistan skall betyda anno 1252. Men 1252 års handling, furstinnan Margaretas av Flandern tulltariff, finns publicerad i *Hansisches Urkundenbuch* som icke innehåller det ordet, men annars ett rätt rikt sortiment av järn och andra importvaror som infördes i Flandern.

Orden för järn har inga säkra förklaringar och väntar kanske att möta sina motsvarigheter bland de fynd som medeltidsarkeologerna nu gräver fram i städerna. Från engelsk handelskorrespondens på 1200-talets slut har jag kunnat nämna att osmund räknades i *garba*, engelska *garb*, besläktat med *grabbnäve*, så mycket som handen kan fatta om, och då *garb* var ett trettio-tal kan man tycka sig se ett samband med gjorda fynd av järnknippen. I *Hansisches Urkundenbuch* 1252 vill jag särskilt nämna "centenum ferri dicti kattenrebben", vilket ser ut att betyda 100-tal av järn som kallas "kattrevben". (I andra handskrifter av tullistan står *de* i stället för *dicti*, vilket tyder på en ort, och en holländsk ort har föreslagits som förefaller mig osannolik.) Kattenrebben förefaller mig vara ett substantiv med en betydelse som säger något om varans form: små tenar, kanske en rad små tenar sammanhållna av ett "bröstben".

Medeltida brev, köpehandlingar, kan innehålla uppgifter om pris på jord uttryckt i hundratal järn, dvs osmund.

Tidigare har jag nämnt att vattenkraftens användning för järnframställning omtalas i ett brev från ca 1200 rörande en anläggning i Tvååker i Halland, som donerades av biskop Absalon till Sorø kloster. Kontrasten mellan den innovationen, som man kan föreställa sig att det var, var då Linnés skildring av hur dalkullan drev blästern med foten medan hon stod och stickade på en strumpa. Sprandel med sin överblick över hela Europa säger att även i det perspektivet var Tvååker först.

Med ett annat brev som utgångspunkt vill jag nu närma mig frågan om *massemestern*, det tyska *masse* och det eventuella sambandet med masugnen. *Massemestern* dyker upp i Sverige ca 1400 och jag har inte funnit någon direkt tysk motsvarighet till ordet. Enligt Kumlien är *massemestern* detsamma som *mästermannen* i privilegier från 1300-talets mitt, en "bergverkens småföretagare". Han betalar 2/3 av extraskatter, bergsmännen tillsammans den återstående tredjedelen. Mhty *Meistermann* var "mästare i ett skrå" eller "mästersångare". Ordet *Masse* i äldre tyska är ett latinskt lånord och betecknar "metallmassa i ugnen" m m, (Grimm). I den latinsk-tyska ordlistan i Agri-
colas *De re metallica* från mitten av 1500-talet finner man *massa* som översättning av ett helt annat latinskt begrepp, nämligen *area fodinarum*, gruvområde. En *masmästare* från Pershyttan i Nora förekommer i den heliga Birgittas kanonisationshandlingar från 1375, men bara i avskrift.

Originalen har gått förlorat för Vatikanen, och de svenska avskrifterna har bara *masse* och ett tomrum. *Masmästaren* står utskrivet i en 1400-talsavskrift från ett engelskt kloster. Absolut pålitligt är ordet i ett par brev och sigillen under från 1410-talet. *Magni massemester* står helt tydligt i sigillet.

Själva sigillet har något att säga om *masmästarens* sociala ställning. Brevet från 1418 rör ett jordaköp i Hällestad socken i Finspångsområdet, bergslagsbygden i norra Östergötland, varigenom en "hump" dvs ett stycke jord, såldes för

1 1/2 fat järn. En generation tidigare hade Sveriges genom tiderna rikaste man, Bo Jonsson Grip, intressen i området. På Bergshistoriska utskottets höstmöte härom året utpekades Bagg-hyttans ruin i skogen; hyttan ägdes av Bo Jonsson på 1370-talet. Magnus massemeister har i ett brev 1414 vittnat inför en kyrkans man att Bo Jonsson hade "trängt" en man från hans egendom i centrala Östergötland.

Sigillet säger inte bara att en man med yrkestiteln verkade i Hällestad i början av 1400-talet. Det säger också något om hans situation i samhället. Det var rätt få människor som ägde sigill och av dem var det bara högt uppsatta som ombads sätta sina sigill under viktiga handlingar. Det står ofta i breven en fras med innebörd att "själv äger jag inte sigill men ber följande herrar hänga sina sigill under brevet till yttermera visso och bekräftelse". De ombdda var personer som genom sitt namn och sin ställning kunde ge kraft och giltighet åt brevet. Under 1418 års brev hänger tre sigill. Ett är herr Jöns, kyrkoherden i Hällestad. Ett är Arvid Svenssons, eller Arvid Skyttes som det står i brevet. I hans sigill finns ett adelsvapen. I denna bergslagsbygd är det knappast för djärvt att anta att han representerade ägarsidan i hyttväsendet som arvtagare efter Bo Jonsson. Dessa två är typiska sigillägare, representeranter för det andliga frälset liksom för det man brukar kalla det världsliga. Och hur skall man se masmästaren? Hantverkarna var organiserade i skrán, bergsmännen i gillen. Skrán och gillen kunde som korporationer ha sigill. Vårfrugillet i Norberg satte sitt sigill under ett 1500-talsbrev till kungen från alla samhällets invånare. För min del har jag aldrig sett en "mäster" ha eget sigill. Men jag har läst ett måttligt antal medeltida brev. Jag frågade en som har läst många i sitt yrke, arkivarie Neveus på Riksarkivet. Hon har heller aldrig sett något liknande. Magnus i Hällestad kan man antingen betrakta som ägare eller som främste av de aktiva i driftledningen, en disponent eller överingenjör, inom Hällestad eller inom hela Finspångsområdet, och därmed den förnämste av den grupp där scm åtnjöt bergsfrälse.

Det har inte lyckats mig att finna medeltida tyska belägg för ordet *Massmeister*. Det närmaste är *Bergmeister*, med *biärghämstare* i Kopparbergsprivilegierna som direkt motsvarighet. *Massofen* anges i lexika som ett nyhögtyskt ord men Söderwall har exempel från mitten av 1400-talet i Sverige. Det är svårt att i medeltidstyska lexika finna andra ugnar än dem man hade till bakning och matlagning. Det bästa arbetet, Veiths *Die deutsche Bergmannsprache* motsvarar i viss mån Erik Holmkvists Bergslagens gruvspråk, men inte hans Bergslagens hyttspråk, och här finns en uppgift för en svensk germanist som vill lösa dessa problem.

För ordet *osmund* ger allt intrycket att det rör sig om en svensk produkt, textsammanhanget i bergsprivilegierna och själva ordbildningen som inte går att förklara med tyskt språkmateriel. Om *osmunden* har samband med en ny ugnstyp där järnet kunde tappas flytande ur en öppning, ett *os*, och denna ugn vore en *masugn* skulle man ha den sakliga bakgrunden för ett svenskt namn på den. Men vad är det då för ord? *Dalmas*? En ugnstyp lånad från Dalarna i ett av de äldsta beläggen "en åttondel i skog och i *masugn*" från södra Närke vore fullt tänkbar om ordet *mas* eller *dalmas* vore känt på den tiden. *Mass* borde det ha varit då, annars hade det hetat *dalmås* idag. Men ordet är inte känt från medeltiden då man annars talade mycket om *dalkarlar* i rimkrönikor m m. Ordet gör snarare intryck av att kunna ha samband med tyska ord.

Att vi har en del ord som ser tyska ut - *tillmakning* är ett annat - som faktiskt är svåra att finna på tyskt område är förbryllande. Att ordet *masugn* inte finns i det tyska medeltidsspråket betyder inte nödvändigtvis att ugnen var en svensk konstruktion. Man brukar säga att den motsvarades i Tyskland av *Hochofen*, men inte heller detta har jag nu kunnat finna.

Säkert är att de tyska bergsmännen var bättre i latin än de svenska.

ISSN 0280-137X