



Slaggreduktion med vätgas

Ida Heintz, ida.heintz@swerim.se

Manager CO2 neutral industry, Swerim

Acknowledgement

Projektet har finansierats av Energimyndigheten via Industrikivet projektnummer P2021-90215, Boliden Minerals AB, Linde Sverige AB och Swerim.



**Funded by
the European Union**

”Swerim bedriver industrinära forskning och utveckling kring metaller och deras väg från råmaterial till färdig produkt.”



Kort om Swerim

- Oberoende industriforskningsinstitut
- Cirka 190 medarbetare
- Två huvudorter: Luleå och Stockholm
- Omkring 250 miljoner kronor i omsättning
- Unika test- och demonstrationsanläggningar
- Kunder över hela världen
- Ägs av industrin (80%) och RISE (20%)



Lång tradition – den äldsta delen grundades "Metallografiska institutet" (1921) samt MEFOS (1963)

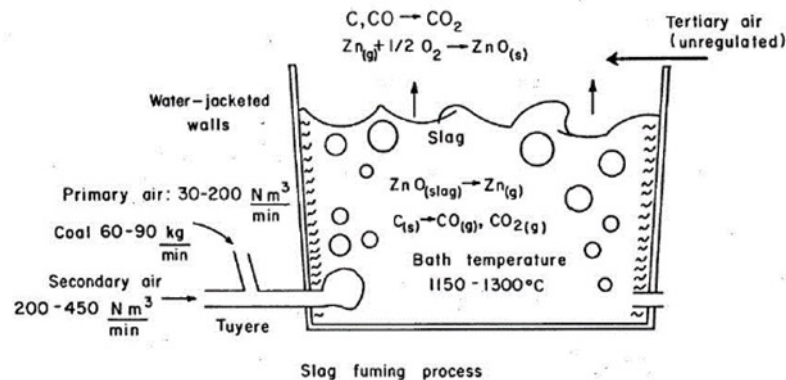
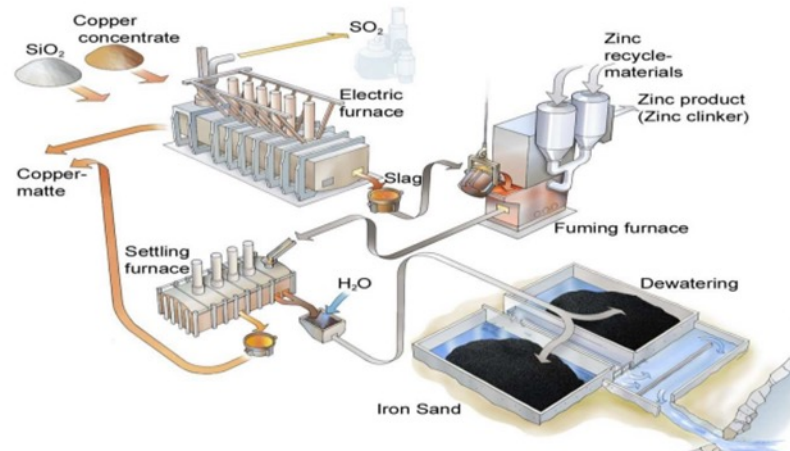
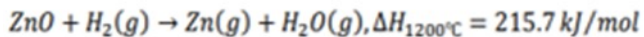
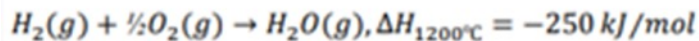
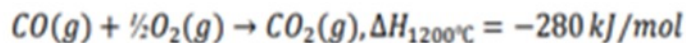
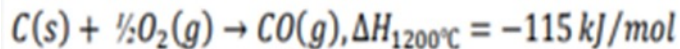
Grundkurs i Metallurgi

- Framställning av metaller
- Handlar om att flytta på syre till och från metaller
- Termodynamik $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$
- Många osäkerheter i pilot eller industriell skala
 - Temperatur i reaktionszoner
 - Kinetik - reaktionshastighet
 - När vi jämvikt?

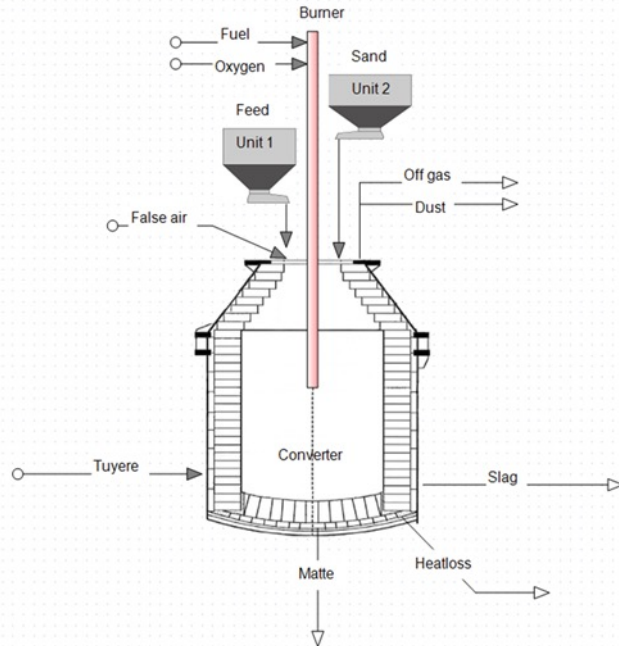


Zink fuming

Stenkol och förvärmad luft injiceras via formor/dysor och tillför energi och reduktionsmedel enligt:



Zinkreduktion



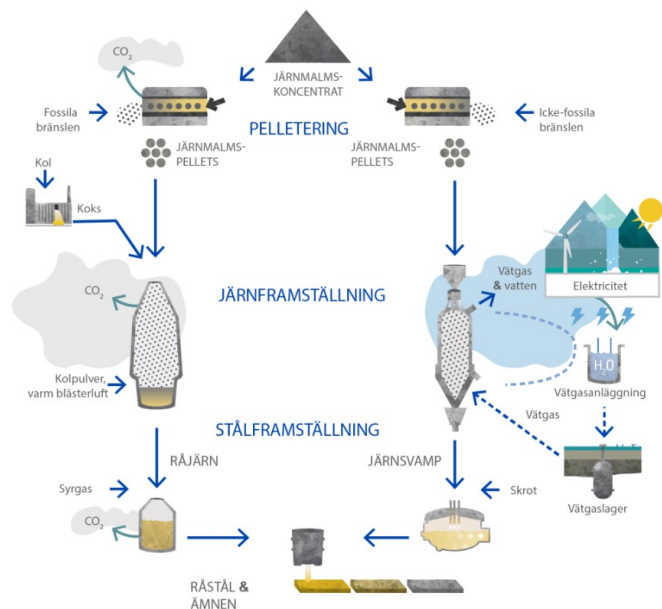
Zink fuming: Reduktionsmedel är koks/stenkol C (s) som oxiderats till CO (g). ZnO-innehållande smälta reduceras i flytande fas.

Finns ingen kommersialiserad gasreduktionsteknik.

- Termodynamiskt intresse redan på 1950-talet

H₂-reduktion behöver ta flera utvecklingssteg

Järnmalmsreduktion

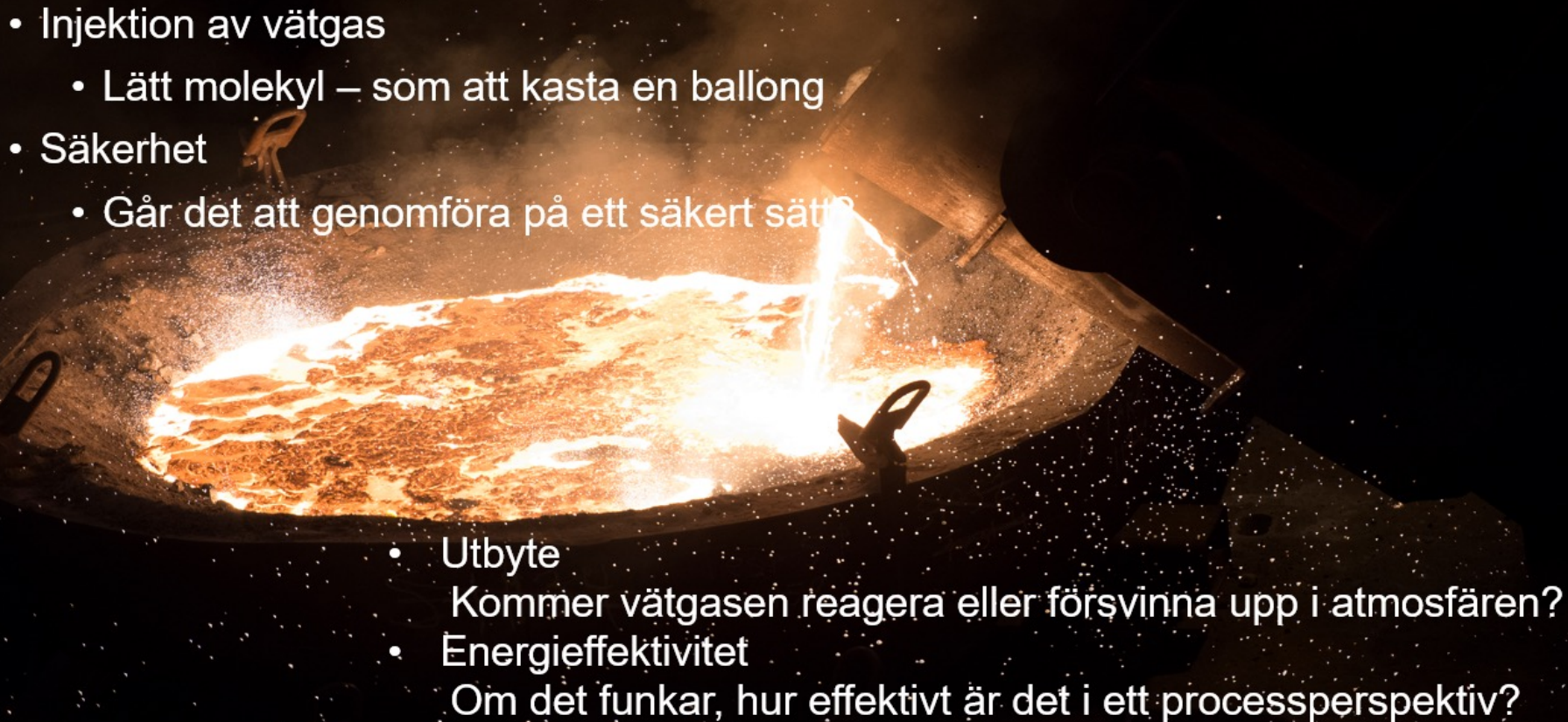


Masugn: Reduktionsmedel är koks C (s) som oxiderats till CO (g). Järnmalm i fast fas reduceras och smälts.

DR: Järnmalm i fast fas reduceras med gasformigt reduktionsmedel (NG, CO, H₂). Smältning sker externt.

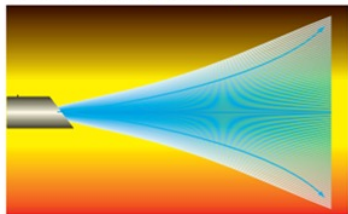
H₂-DRI: Byter NG till H₂

Utmaningar

- Injektion av vätgas
 - Lätt molekyl – som att kasta en ballong
 - Säkerhet
 - Går det att genomföra på ett säkert sätt?
 - Utbyte
 - Kommer vätgasen reagera eller försvinna upp i atmosfären?
 - Energieffektivitet
 - Om det funkar, hur effektivt är det i ett processperspektiv?
- 

Injektion av vätgas: CoJet och forma/dysa

Conventional Supersonic Jet



Coherent Jet



Vänster: Laval-dysa som skapar överljudshastighet
Höger: Lindes CoJet teknik där man med hjälp av Shrouding gas erhåller en laserlik jetstråle

Konventionell dysa med spalter
designad och byggd på Swerim.

<https://www.lindeus.com/-/media/corporate/praxairus/documents/specification-sheets-and-brochures/industries/metal-production/p-40-4613-cojet-gas-injection-system-delivers.pdf>

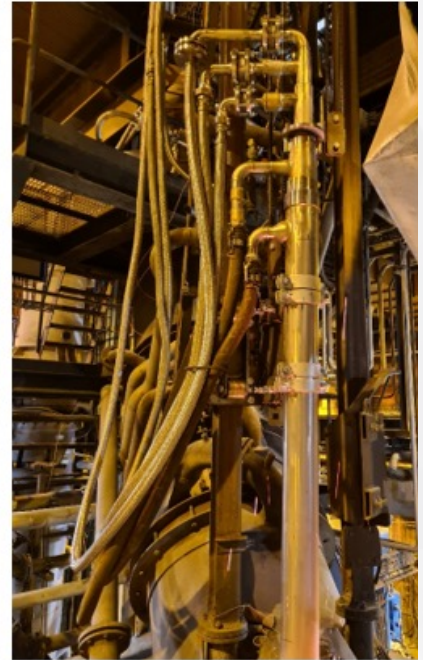
Försöksuppställning



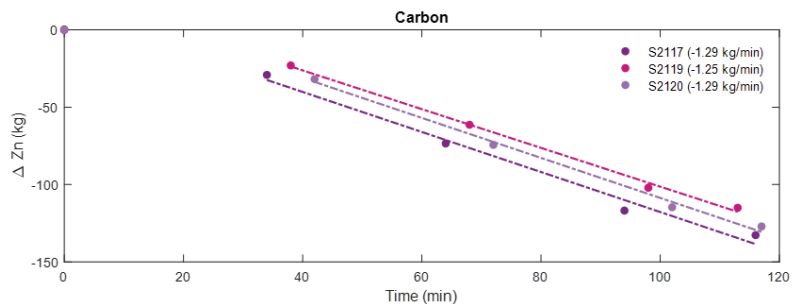
- Swerims 6 ton universalkonverter
- Kompletterad vätgasinfrastuktur
- Sex försök för injektion med dysa och sex försök med CoJet-lans.
- Slaggmängd 2,5 ton
- Fumingtid: 60 min
- Skala 1/40 jämfört med industri
- Ej förvärmad bärgas

Försöksuppställning

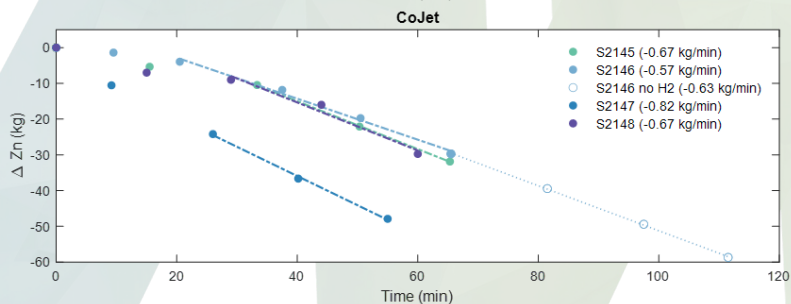
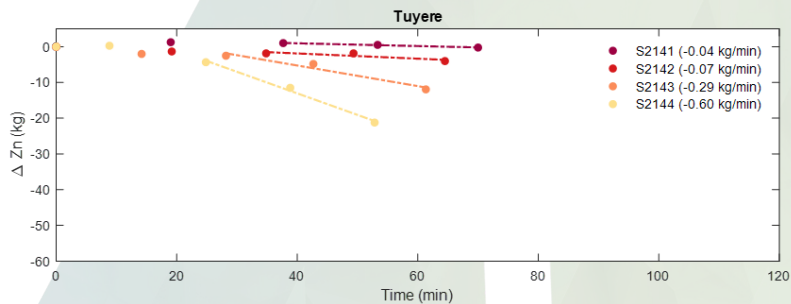
- Smältning stökiometriskt med propan
- Propan som energikälla vid vätgasförsöken
- Referens med kol för både reduktion och energi
- Gasflöde max 9 nm³/min
- Vätgasflöde max 0,9 nm³/min



Resultat – reduktion av zink

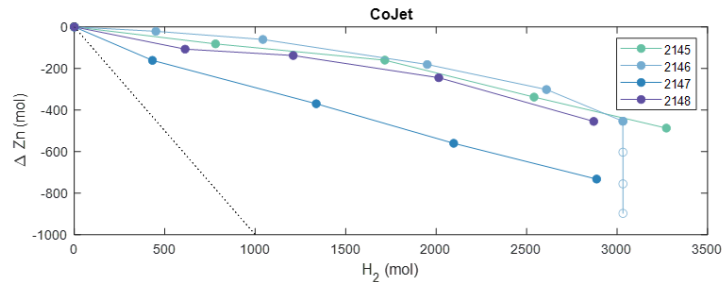
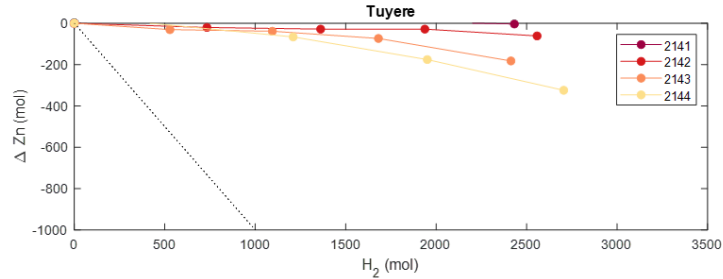


Reduktionshastighet 1,25-1,29 kg/min

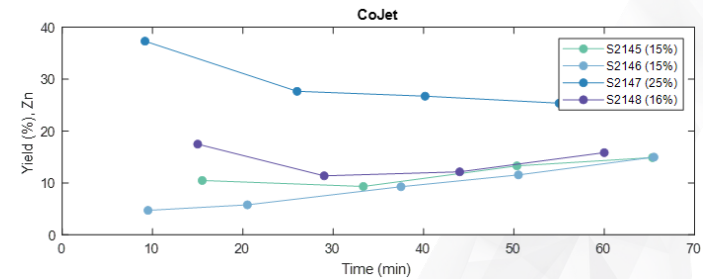
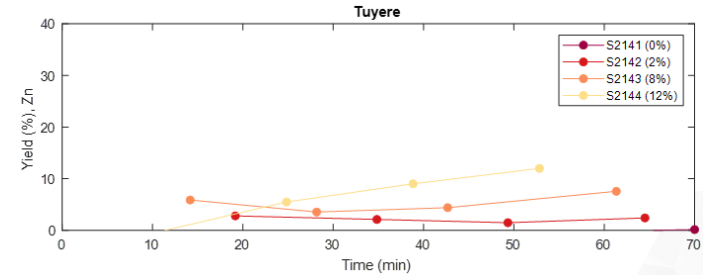


Reduktionshastighet som bäst 0,67 kg/min

Utbyte och effektivitet



Zinc reduced from the slag as a function of injected H₂. The dotted line represents 100% yield (assuming H₂ is the only reducing agent and ZnO the only oxide being reduced).



Yield, assuming H₂ to be the only reducing agent and ZnO the only oxide being reduced. For 2146, only the time with H₂ injection is included. Legend states the total yield at the last point for each experiment.

Slutsatser

- Det är möjligt att injicera vätgas i en metallurgisk slaggsmälta på ett säkert sätt
- Reduktion erhöles med vätgas, men vätgas är troligen inte det enda aktiva reduktionsmedlet
- Högre vätgasflöde gav högre reduktionsgrad
- Kolutbytet var 6-7% för ZnO, vätgasutbytet var som bäst 25% (Notera att kol har flera syften i processen)
- Energieffektiviteten sämre för vätgas
- Det är en stor processförändring att ändra reduktionsmedel från fast till gasform



SWERIM

We create benefit for industry