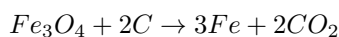
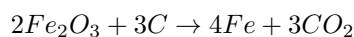

Kapitel 8
Lektion 8

Övning 8.1.

Järnmalmen som finns i Sverige utgörs av en blandning av hematit och magnetit, och idag använder man kol/koks för att reducera järnmalmen till rent järn/stål. Reaktionsekvationerna för att omvandla järnmalm hematit/blodsten Fe_2O_3 och magnetit Fe_3O_4 till järn genom reduktion med kol kan uttryckas som:



- a) Ställ upp reaktionsekvationerna för båda järnmalmsmineralerna om man istället använder direktreduktion av järnmalm med vätgas H_2 .
- b) Beräkna mängden vätgas som behövs för att reducera 1 ton järnmalm. Använd molmassorna från tabellen och sambandet $\text{mol} = \frac{\text{massa [g]}}{\text{molmassa [g/mol]}}$.

Ämne	Molmassa [g/mol]
Fe (Järn)	55.85
O (Syre)	16
H (Vätgas)	1.01

- c) I dagsläget har Sverige en järnmalmsproduktion på ca 29 miljoner ton (Mt) per år. Av denna järnmalm tillverkas ca 4.4 Mt stål. Hur mycket järnmalm går åt för att tillverka 4.4 Mt stål? Antag att järnmalmen bara består av antingen hematit eller magnetit och att stålet endast innehåller rent järn. Hur mycket vätgas skulle gått åt för att reducera den mängden järnmalm till stål?
- d) Om Sverige i framtiden istället tillverkar grönt stål av all järnmalm, hur mycket stål kan det bli av 29 Mt järnmalm? Hur mycket vätgas skulle gått åt att reducera all järnmalm?

- e) Vätgas kan produceras genom att man tillför elektrisk energi E i en elektrolys process som bryter upp vatten till väte och syre enligt: $2H_2O + E \rightarrow 2H_2 + O_2$. Om syre reagerar med vätgas ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + E$) bildas vatten och man får ut energin E . Här är H_2 och O_2 i sina så kallade standardtillstånd (= det stabila tillståndet av ett rent ämne vid referensförhållandet som oftast är $p^0=0.1$ MPa och $T^0=298$ K). Energin som behövs för att 1 mol av ett ämne ska bildas från sina element i deras mest stabila former kallas standardbildningsentalpi ΔH_f^0 . I tabellen nedan visas ΔH_f^0 för några ämnen. Till exempel kan man läsa ut att 393.52 kJ frigörs då 1 mol CO_2 bildas från standardtillstånden (C och syrgas) för p^0 och T^0 . Hur mycket energi frigörs då 1 mol vatten i flytande form (l-liquid) bildas?

Ämne	SO3	CO2	SO	H2O(l)	H2O(g)	C4H10	C	H2	O2
ΔH_f^0 [kJ/mol]	-395.76	-393.52	-296.84	-285.10	-241.83	-124.90	0	0	0

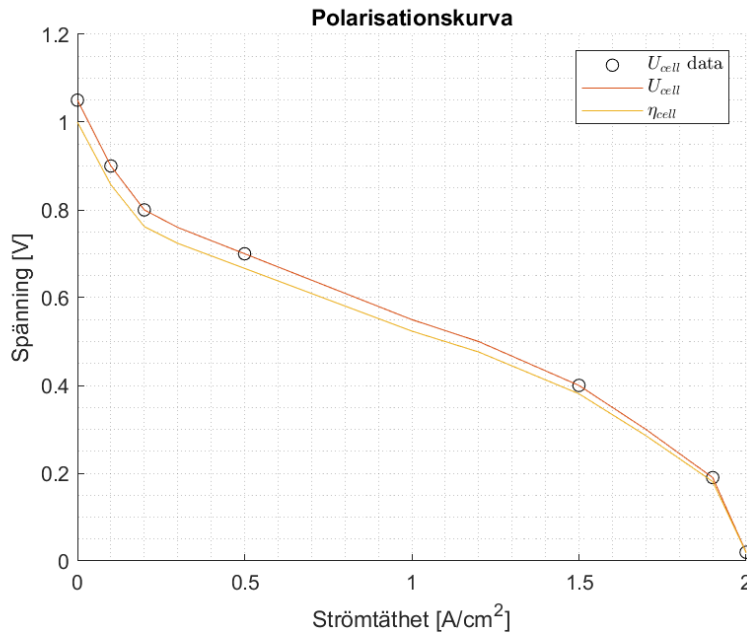
- f) Om vi antar en perfekt elektrolysisprocess där vi bara behöver tillföra lika mycket energi för att bryta upp vattenmolekylerna som vid bildandet, när vi vill skapa vätgas från vatten. Hur mycket energi behövs för att bilda 1 ton vätgas?
- g) Hur mycket energi går åt att bilda 1 ton vätgas om vi antar att elektrolysören har en effektivitet på 60%?
- h) Hur mycket energi i TWh skulle det gå åt för att producera den vätgas till direktreduktionen som behövs om Sverige skulle använda all järnamalm till att tillverka grönt stål? $1 \text{ kJ} = 0.2778 \text{ Wh}$.
- i) Relatera detta till Sveriges årliga elkonsumention. Notera att detta är bara behovet för direktreduktionen. Utöver detta kommer behovet för energi till ljusbågsugnar och andra steg i stålproduktionsprocessen också bidra till att öka elbehovet ytterligare.

Övning 8.2.

I Figur 8.1 visas polarisationskurvan för en bränslecell och datat visas i Tabell 8.1. I denna uppgift låter vi strömtätheten ha beteckningen I_{fc} och den representerar strömmen genom en cell som är 1 cm^2 .

Reaktionen som sker i en bränslecell är $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \Rightarrow H_2O$. Denna frigör $P_{in} = U_{id}I_{fc}$, där U_{id} ges av termodynamiken och är konstant, till exempel 1.05 V. Notera att P_{in} växer linjärt med strömmen

- a) Effekten ut från en cell är $P_{cell} = U_{cell}I_{fc}$. Visa att effektiviteten för en cell $\eta_{cell} = \frac{P_{cell}}{P_{in}}$ är oberoende av strömmen dvs bara beror på cellspänningen och konstanten U_{id} .
- b) Fyll i tabellen med P_{cell} .
- c) Vi antar att bränslecellens stödsystem kräver en konstant effekt $P_{aux} = 0.15P_{cell,max}$. Stödsystemet består bland annat av kompressor, vattentvätt, kylsystem, etc... Beräkna och fyll i $P_{ut} = P_{cell} - P_{aux}$.
- d) Beräkna systemeffektiviteten $\eta_{sys} = \frac{P_{ut}}{P_{in}}$.



Figur 8.1: Figur till Övning 8.2. Polarisationskurva för en bränslecell.

- e) Rita in P_{cell} , P_{ut} , η_{sys} i figuren med polarisationskurvan. Notera att bränslecellens maxeffekt inte antas vid maximal ström.

I_{fc}	U	P_{in}	P_{cell}	P_{ut}	η_{cell}	η_{sys}
0	1.05	0			1	
0.1	0.9	0.11			0.86	
0.2	0.8	0.21			0.76	
0.4	0.73	0.42			0.7	
1.5	0.4	1.58			0.38	
1.9	0.19	2			0.18	
2.0	0.02	2.1			0.02	

Tabell 8.1: Tabell till Övning 8.2. Prestandatabell för en bränslecell.

Övning 8.3.

Från cell till stack. I förra övningen räknade vi på en enskild cell och nu ska vi växla upp cellen till ett system med en stack. Alla celler har area 375 cm^2 och systemet har 300 seriekopplade celler. Räkna ut maximal cellspänning, maximal levererad effekt och ström vid denna effekt. Reflektionsfråga: Varför är det dåligt att belasta bränslecellssystemet med en ström som är större än den vid maximal effekt?

Kapitel 8
Lektion 8

Övning 8.1.

- a) $Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$
 $Fe_3O_4 + 4H_2 \rightarrow 3Fe + 4H_2O$
- b) För 1 ton Fe_2O_3 behövs 37.95 kg H_2
För 1 ton Fe_3O_4 behövs 34.9 kg H_2
- c) Magnetit: 6.1 Mt och 212 kt vätgas.
Hematit: 6.3 Mt och 239 kt vätgas.
- d) Av 29 Mt järnmalm kan det tillverkas ca 20.7 Mt stål (20.3 Mt för hematit och 20.9 för magnetit) och det behövs mellan 1 och 1.1 Mt vätgas.
- e) När 1 mol vattenånga frigörs 285.10 kJ
- f) Perfekt process: För 1 ton vätgas behövs 141 GJ energi
- g) 60% effektivitet: För 1 ton vätgas behövs 235 GJ energi
- h) För 1 Mt vätgas går det åt 65 TWh elektrisk energi.
- i) Givet en årlig elkonsumtion i Sverige på ca 140 TWh motsvarar vätgasproduktionen ca 47 %.

Övning 8.2.

a) $\eta_{cell} = \frac{P_{cell}}{P_{in}} = \frac{U_{cell}I_{fc}}{U_{id}I_{fc}} = \frac{U_{cell}}{U_{id}}$

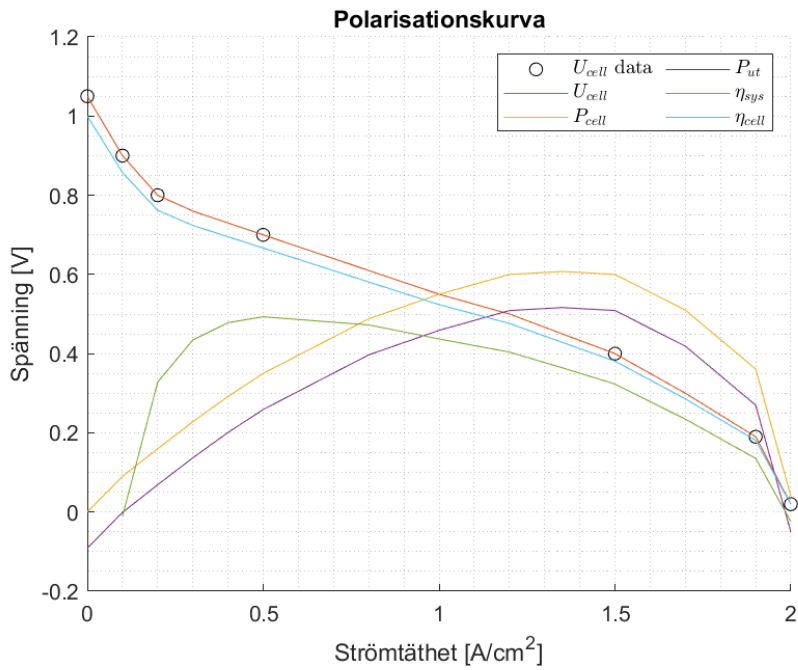
b) $P_{cell} = U_{cell}I_{fc}$

c) $P_{ut} = P_{cell} - 0.15P_{cell,max}$ där $P_{cell,max} = 0.6$ W

d) $\eta_{sys} = \frac{P_{ut}}{P_{in}}$

e)

I_{fc}	U	P_{in}	P_{cell}	P_{ut}	η_{cell}	η_{sys}
0	1.05	0	0	-0.09	1	-
0.1	0.9	0.11	0.09	0	0.86	0
0.2	0.8	0.21	0.16	0.07	0.76	0.33
0.5	0.7	0.53	0.35	0.26	0.67	0.5
1.5	0.4	1.58	0.6	0.51	0.38	0.32
1.9	0.19	2	0.36	0.27	0.18	0.13
2.0	0.02	2.1	0.04	-0.05	0.02	-0.02



Övning 8.3.

För enkelhetens skull används maximala effekten från tabellen ovan, den verkligt maximala är något lite högre.

$$U_{stack,max} = N_{cell}U_{cell,max} = 300 \cdot 1.05 = 315 \text{ V}$$

$$P_{stack,max} = N_{cell}A_{cell}P_{ut,max} = 300 \cdot 375 \cdot 0.51 = 57.4 \text{ kW}$$

$$I_{stack,@P_{max}} = A_{cell}I_{fc,@P_{max}} = 375 \cdot 1.5 = 562.5 \text{ A}$$

Eftersom effekten systemet levererar inte ökar om strömmen görs större än den vid maximal effekt finns det ingen anledning att belasta systemet med en sådan ström och eftersom effektiviteten även sjunker så är det direkt dåligt, eftersom det bara genererar mer värme.