
Brændselsceller

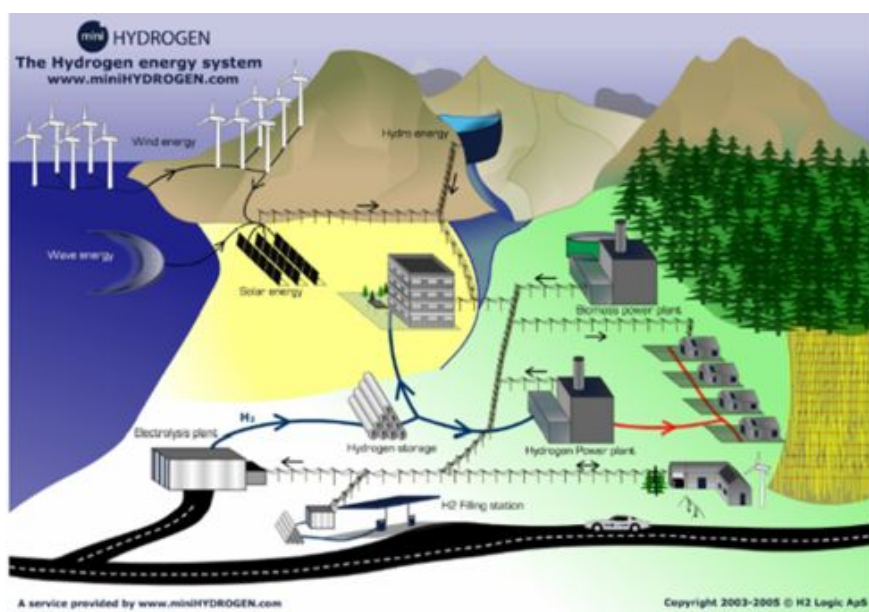


Øvelsesvejledning til brug i Nanoteket
Udarbejdet i Nanoteket, Institut for Fysik, DTU
Rettelser sendes til Ole.Trinhammer@fysik.dtu.dk

September 2012

Indhold

Brændselsceller i brintsamfundet	1
Indledning	1
1 Virkningsgraden af klassisk elektrolyse	2
2 Elektrolyse med PEM-celle med dataopsamling	3
3 Karakteristik og effektkurve for brændselscelle	4
4 Virkningsgraden af brændselscelle	5



Figur 1: Et muligt fremtidig brintsamfund.

Brændselsceller i brintsamfundet

Øvelsen består af 4 forsøg

- Klassisk elektrolyse
- Virkningsgraden af elektrolysecelle
- Karakteristik og effektkurve for brændselscelle
- Virkningsgraden af brændselscelle

Formålet er overordnet at illustrere det kompromis, man må indgå mellem maksimal effekt og maksimal effektivitet, og at motivere til forskning i forbedring af teknologien.

Indledning

I fremtiden kan man tænke sig brintbiler, der indgår i et brintsamfund, hvor grundlaget for vores energiforbrug er elektricitet fra forskellige energikilder og oplagring af brint som energibærer (se figur 1). Man kan også forestille sig større kraftværkssystemer. Når der er overskudsproduktion af elektricitet, f.eks. fra vindmøller, gemmes energien i form af brint fremstillet ved elektrolyse af vand til brint og ilt. Når man har brug for elektricitet fødes brinten ind i en brændselscelle, der laver elektricitet. Du kan evt. se disse film om brændselsceller på Youtube:

http://www.youtube.com/watch?v=T_ZHBkoFG-Q (2 min.)

<http://www.youtube.com/watch?v=3XufMXOgkfQ> (20 min.)

I et sådant system er der to vigtige tabskilder, nemlig ved elektrolysen under brintproduktionen og i brændselscellen ved forbrug af brinten. Det viser sig at effektiviteten afhænger af, hvor kraftigt man udnytter cellerne. Efter øvelsen skulle eleverne kunne svare på spørgsmålet om, hvor man skal lægge sig i belastning, hvis man ønsker at anvende en brændselscelle hhv. i en bil, der skal accelerere kraftigt eller i et kraftværk, der skal udnytte energien effektivt.

1 Virkningsgraden af klassisk elektrolyse

Formål: At bestemme virkningsgraden ved klassisk elektrolyse for senere at kunne sammenligne den med en PEM-celle.

Teori: Virkningsgraden er forholdet mellem energien i den producerede brint og forbruget af elektrisk energi

$$\eta = \frac{E_{brint}}{E_{el}} = \frac{BV}{UIt} \quad (1)$$

Virkningsgraden η (eta) kaldes også effektiviteten eller nyttevirkningen. E_{brint} er energien i den producerede brint og E_{el} den anvendte elektriske energi. $B = 12 \text{ J/mL}$ er brændværdien af brint, V er rumfanget af den producerede brint, U er den påtrykte elektriske spændingsforskel, I er den elektriske strømstyrke og t er den tid, cellen bruges. Virkningsgraden angives ofte i %.

Indledende forsøg med klassisk elektrolyse i saltvand

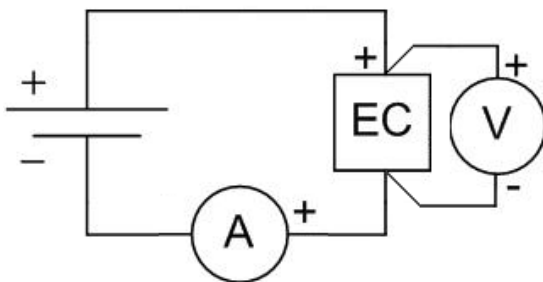
1. Hæld vand i et kar ca. 3 cm op. Rør 1 spsk. køkkensalt i.
2. Sæt en blyantsstifts-elektrode i membranen i skruelåget. Montér skruelåget på det lille cylinderglass.
3. Sæt krokodillenæb på ledningerne fra strømforsyningen.
4. Sæt to mærker med 1 cm imellem på cylinderglasset til rumfangsmåling og fyld glasset med vand ved at lægge det ned i karret og derefter rejse det op med den åbne bund nedad.
5. Sæt krokodillenæbene fast til stiftene i cylinderen og til en almindelig træblyant (hvor skal plus og minus være?). Skru op til ca. 20 V.
6. Start tidtagning ved det øverste mærke og notér gennemsnitlig strøm og spænding undervejs. Stop tidtagning ved det nederste mærke.
7. Mens elektrolysen kører, kan man opmåle cylinderglasset med skydelære, så rumfanget kan beregnes.

	Spænding U [V]	Strøm I [A]	Effekt P [W]	Tid t [s]	Energi E_{el} [J]	Rumfang V [mL]	Energi E_{brint} [J]	Effektivitet η [%]
1								
2								

2 Elektrolyse i PEM-celle med dataopsamling

Formål: At bestemme virkningsgraden ved elektrolyse af brint i en PEM-celle ved forskellige ladestrømme.

1. Fyld cellens tanke med demineraliseret vand. (IKKE fra vandhanen).
2. Tilslut cellen til en strømforsyning. Vælg strømstyrke lidt under 1 A (den må maksimalt være 1 A, da cellen ellers kan ødelægges)
3. Tilslut amperemeter og voltmeter, så I måler spændingsforskellen over brændsels-cellen. Og tilslut trykmåleren til H₂-siden¹.



4. Åben programmet 'BraendselscellerEffektivitet.vi' og tjek at det er slået over på at måle EC (ElektrolyseCelle).
5. Start målingen, når vandet er nået op gennem stigrøret og begynder at fylde ind i den overliggende beholder.
6. Notér spændingsforskel og strømstyrke i skemaet nedenfor.
7. Stop opladningen før brintrumfanget når bunden af stigrøret. (H₂-siden).
8. Aflæs strømstyrken, spændingen og virkningsgraden (effektiviteten) og eventuelt øvrige størrelser fra computeren. Beregningerne i computeren foregår ligesom i det indledende forsøg.
9. Gentag forsøget med en ladestrøm under 0,4 A.

	Spænding U [V]	Strøm I [A]	Effekt P [W]	Tid t [s]	Energi E_{el} [J]	Rumfang V [mL]	Energi E_{brint} [J]	Effektivitet η [%]
1								
2								
3								

Konklusion: I brintsamfundet må man forestille sig, at bilen oplades om natten ved at blive koblet til elnettet i garagen. Kan det bedst betale sig at oplade bilen hurtigt ved en stor strømstyrke eller langsomt ved en lille strømstyrke?

¹programmet bruger trykket til at udregne det brugte volumen vha. idealgasligningen.

3 Karakteristik og effektkurve for brændselscelle

Formål: At optegne belastningskarakteristik for en brændselscelle.

Teori: En karakteristik er en kurve, der viser sammenhængen mellem elektrisk strømstyrke og spændingsforskel. Kurven findes ved at måle på en brændselscelle, der belastes med forskellige modstande, der skal forestille forskellige apparater, man kunne tænke sig at koble til cellen.

I visse områder af kurven følger målingerne en nogenlunde ret linie og man beskriver da sammenhængen ved følgende formel

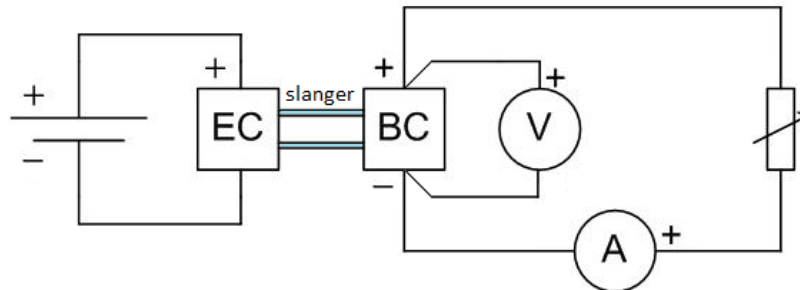
$$U = U_0 - R_i I \quad (2)$$

hvor U er den målte polspænding, som brændselscellen leverer, I er den målte strømstyrke, U_0 kaldes hvilespændingen og R_i kaldes cellens indre modstand.

Forsøgsgang

Brændselscellen forsynes gennem slanger fra elektrolysecellen med gasser, der strømmer frit gennem systemet. Altså åben udstødning både på brint- og på ilt siden.

1. Byg en strømkreds fra brændselscellen med amperemeter og dekademodstand i serie. Vælg ledninger i en bestemt farve. Tilkobl et voltmeter med ledninger af en anden farve parallelt over cellen.



2. Sæt belastningsmodstanden på $11 \times 100 \Omega + 11 \times 10 \Omega + 11 \times 1 \Omega + 11 \times 0,1 \Omega$.
3. Start programmet 'BraendselscellerKarakteristik.vi', der tegner karakteristik og effektkurve.
4. Drej gradvist ned for modstanden en dekade ad gangen måske helt ned til $0,1 \Omega$.
5. Diskutér (I, U) - og (I, P) -graferne.

4 Virkningsgraden af brændselscelle

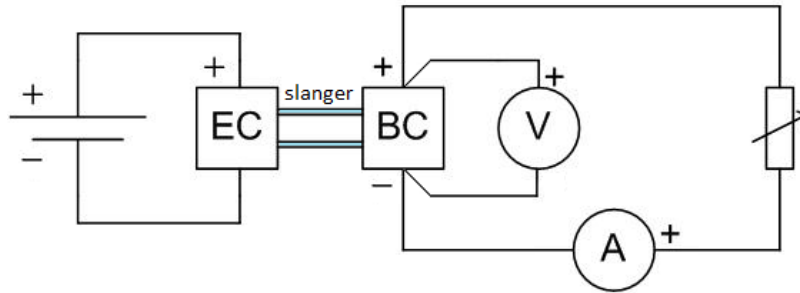
Formål: At bestemme virkningsgraden af en brændselscelle ved forskellige belastninger.

Teori: Virkningsgraden er forholdet mellem den producerede elektriske energi og energien i den forbrugte brint

$$\eta = \frac{E_{el}}{E_{brint}} = \frac{UIt}{BV} \quad (3)$$

Forsøgsgang

1. Tilslut brændselscellens gasindgange med slanger til lagertanke med brint og ilt fra en elektrolysecelle. Påmontér slanger med klemmer på udstødningerne på brændselscellen. Fyld tankene ved hjælp af elektrolysecellen.
2. Brug strømkredsen fra forrige forsøg med amperemeter og dekademodstand i serie med brændselscellen.



3. Indstil belastningen til f.eks. 1 Ω på dekademodstanden. Start rumfangsmålingen af brintforbruget (med slukket elektrolysecelle).
4. Notér spændingsforskel og strømstyrke i skemaet nedenfor. (Kan drille. Hvis spændingen er meget lavere end 0,4 V skal cellen måske ”sparkes” i gang ved at blæse den igennem med lidt brint og evt. ilt).
5. Gentag med en ny belastning ved en lavere modstand.

	Modstand R [Ω]	Spænding U [V]	Strøm I [A]	Effekt P [W]	Tid t [s]	Energi E_{el} [J]	Rumfang V [mL]	Energi E_{brint} [J]	Effektivitet η η_{pc}
1									
2									
3									

Konklusion: Hvor skal man lægge sig i belastning, hvis brændselscellen skal forsyne en elmotor i en bil under kraftig acceleration, og hvor skal man lægge sig i belastning, hvis cellen indgår i en cellestak i et kraftværk, der skal dimensioneres til at køre med effektiv udnyttelse af brændslet?

Referencer

Ole Trinhammer, *Evig Energi? - brændselsceller og brintsamfundet*, Fysikforlaget 2005 (Bogens hjemmeside <http://evigenergi.fys.dk>, bl.a. uddybende noter om forskellige faktorer i virkningsgraden).

Nanoteknologiske Horisonter, kapitel 3, *Designerpartikler forbedrer katalyse*, DTU 2008, <http://www.nano.dtu.dk/Laerebog.aspx>

Anders Smith og Mogens Mogensen, *Brændselscellers fysik og kemi*, Bragt i Kvant, <http://130.226.56.153/Afd-abf/sofc/articles/Kvant.pdf>