

FMTS  
YOP 06-09 Mark  
Kd Henrik Nilsson

Krigsvetenskap fortsättningskurs  
självständigt arbete  
PYO360

2009-04-29

# Vätgas och bränsleceller

Ny energi för Försvarsmakten?

Metodhandledare: Lars Håkansson, FMTS  
Examinator: Prof. Gunnar Åselius, FHS

## **Abstract**

Henrik Nilsson, student at The Armed Forces Technical School  
Hydrogen gas and fuel cells – New energy for The Armed Forces?

The purpose of this paper is to identify the current status of fuel cell technology and to establish whether said technology is mature enough to be implemented into the Swedish Armed Forces. The question to be answered in this paper is as follows: Can hydrogen gas and fuel cells be used as an alternative source of energy within the Swedish Armed Forces?

This paper is based on theoretical studies and reports from prior research done on fuel cells. By studying these facts a predictive answer has been obtained. The answer I have come to, is that the maturity of fuel cell technology is currently inadequate for the Swedish Armed Forces to implement, especially considering its harsh working conditions.

**Keywords:** Fuel cell, PEMFC, DMFC, MCFC, SOFC, Hydrogen gas.

## Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>7</b>
1.1 Bakgrund .....	7
1.2 Syfte .....	8
1.3 Frågeställningar .....	8
1.4 Material och källkritik .....	9
1.5 Avgränsningar .....	11
1.6 Definitioner och centrala begrepp .....	11
1.7 Metod .....	15
1.8 Disposition .....	17
<b>2. Vad är en bränslecell?</b> .....	<b>17</b>
2.1 Historia .....	17
2.2 Funktion .....	19
<b>3. Olika bränslecellsprinciper</b> .....	<b>22</b>
3.1 PEM-bränsleceller (PEMFC) .....	22
3.2 Direktmetanolbränsleceller (DMFC) .....	23
3.3 Smältkarbonatbränsleceller (MCFC) .....	24
3.4 Fastoxidbränsleceller (SOFC) .....	26
<b>4. Olika bränsletyper</b> .....	<b>29</b>
4.1 Vätgas .....	29
4.2 Metanol.....	31
4.3 Andra typer av bränslen .....	32
<b>5. Diskussion</b> .....	<b>34</b>
5.1 Möjliga framtida användningsområden .....	34
5.1.1 Stationära system.....	34
5.1.2 Portabla system .....	35
5.2 Miljö och modularitet.....	37
5.2.1 Yttre miljöpåverkan.....	37
5.2.2 Modularitet .....	38
5.3 Teknisk systemanalys.....	39
5.3.1 Rörlighet.....	39
5.3.2 Skydd.....	40
5.3.3 Uthållighet.....	40
<b>6. Avslutning</b> .....	<b>41</b>
6.1 Slutsats .....	41
6.2 Förslag till fortsatt forskning.....	44
<b>7. Sammanfattning</b> .....	<b>44</b>
<b>8. Referenser</b> .....	<b>47</b>
8.1 Tryckta källor .....	47
8.2 Internet .....	47
8.3 Övriga källor .....	48

## **Förord**

Att skriva en större uppsats har inte tillhört vardagen under studierna vid yrkesofficersprogrammet 06-09, varav detta varit ett nytt och intressant inslag i utbildningen. Att på egen hand få fördjupa sig i ett ämne tycker jag har varit en mycket lärorik upplevelse, även då viss frustration ibland infunnit sig. Med detta förord vill jag därför främst tacka Elforsk och alla deltagare vid Elforsks seminarium i Stockholm den 21 januari 2009, som till stor del möjliggjort denna uppsats. Jag vill även sända ett stort tack till min handledare Lars och alla Ni, som lagt ner tid på att hjälpa mig med feedback och språklig granskning av uppsatsen. Jag är verkligen tacksam för Er hjälp. Hjärtligt tack!

Halmstad i april 2009

*Henrik Nilsson*  
Student, FMTS

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

I dagens välfärdssamhälle är människan enormt beroende av energi i olika former för att klara av vardagen. Trots att vi är medvetna om problemet minskar inte vår energiförbrukning och inom en snar framtid kommer också tillgången till bland annat fossila bränslen att vara begränsad eller helt slut. För att säkerställa tillgången på energi har människan därför börjat söka efter nya energikällor som alternativ till de icke förnyelsebara energikällorna för att kunna bibehålla dagens välfärdssamhälle. Då energifrågan i skrivande stund blir en allt större fråga ute i världen, bidrar detta också till att konflikter trappas upp i olika delar av världen. Detta på grund av att tillgången på energiresurser idag har blivit en enorm maktfaktor.

Försvarsmakten, liksom alla andra aktörer på världsmarknaden, är nu för tiden enormt beroende av energi för att organisationen över huvud taget skall fungera. Både på hemmaplan och ute i internationella insatser krävs tillgång till drivmedel för att organisationen skall fungera. Detta gör därför också energifrågan viktig för Försvarsmakten.

Det finns i nuläget många alternativa energikällor på världsmarknaden men deras effektivitet och kostnad varierar stort mellan de olika energikällorna. Då grundämnet väte är vanligt förekommande på vår planet, bland annat bundet i form av vatten, har väte blivit ett intressant alternativ som energikälla för människan. Skulle vi då kunna tillgodose oss den energimängd som vi i framtiden behöver genom bränsleceller?

Då utvecklingen ständigt går framåt inom vätgas och bränsleceller har jag därför valt att försöka se om det är möjligt för Försvarsmakten att använda vätgas och bränsleceller, som en alternativ energikälla, och vilka fördelar detta energialternativ skulle kunna ge.

## 1.2 Syfte

Syftet med denna uppsats är att på en enkel och övergripande nivå försöka utvärdera bränslecellstekniken och genom en analys försöka identifiera vilken användningspotential bränslecellstekniken skulle kunna ha inom Försvarsmakten. Vidare analyseras vilka fördelar bränslecellstekniken skulle kunna tillföra Försvarsmakten vid en eventuell framtida användning. Då utvecklingen ständigt går framåt inom bränslecellstekniken, och teknikerna är många inom området kommer denna uppsats inledningsvis att presentera en beskrivning av tekniken i allmänhet. Detta då grundprincipen i de olika bränslecellsteknikerna är den samma. Därefter kommer några för och nackdelar med de olika bränslecellsteknikerna, som för tillfället är ledande inom utvecklingsområdet, att presenteras. Slutligen kommer dessa för och nackdelar tillsammans med en teknisk systemanalys vävas samman till slutsatser, vilka kommer ge en uppfattning om bränslecellstekniken skulle kunna ha en eventuell framtid inom Försvarsmakten.

### **1.3 Frågeställningar**

För att nå uppsatsens syfte besvaras följande huvudfrågeställning:

- Kan vätgas och bränsleceller användas som en alternativ energikälla inom Försvarsmakten?

Efter att ha deltagit på Elforsks seminarium i Stockholm men också efter kompletterande litteraturstudier har ett antal underfrågor identifierats. Dessa underfrågor bör därför besvaras för att ge ett bättre svar på huvudfrågeställningen.

De underfrågor som identifierats för att ge ett svar på huvudfrågeställningen, är som följer:

- Vilken teknisk mognad har bränslecellstekniken i nuläget?
- Inom vilka områden kan bränslecellstekniken användas?
- Vilka typer av bränslen kan användas tillsammans med bränsleceller?
- Vilken tillgång finns det på dessa bränslen?
- Vilken livslängd har en bränslecell?
- Hur påverkas bränsleceller av den yttre miljöpåverkan som militära system utsätts för?
- Vilka kostnader förenas med bränsleceller?

### **1.4 Material och källkritik**

Bränslecellstekniken befinner sig i en ständig utveckling och under de senaste åren har det tagits enorma kliv framåt. Detta har resulterat i stora förändringar inom området, vilket i sin tur resulterar i att de källor som finns inom området ständigt reviderats och förnyats. Detta gör det svårt att hitta tillförlitliga källor till uppsatsen då källan måste vara relativt färskt för att ge en bra validitet på uppsatsen. De litterära källor som först analyserades var framtaget under början på 2000-talet, varav validiteten kunde ifrågasättas och det fanns en stor risk för att delar av dessa källor hade en låg validitet på grund av den stora utvecklingen inom området. För att på något sätt kunna utvärdera validiteten på informationen måste mer aktuella källor tillföras direkt från företag, högskolor och universitet som arbetar med utveckling inom bränslecellområdet. Detta för att kunna avfärda gammal och inaktuell information i källorna och få en högre validitet på uppsatsen samt för att få ta del av det senaste som händer inom bränslecellområdet. Det visade sig dock efter ett tag att möjligheten till att få ta del av den senaste informationen inom bränslecellområdet inte var en reell möjlighet. Anledningen till detta är den enorma utveckling som för tillfället genomförs ute på marknaden. Denna enorma utveckling resulterar i att företagen vill vara först ute på marknaden med den senaste tekniken för att tjäna pengar, varav många företagsprojekt hemlighetsstämplas. Efter en del efterforskningar på Internet blev resultatet till slut ett seminarium som skulle avhandla den nationella och internationella industrins aktuella status på bränslecellsfronten. Seminariet var arrangerat av Elforsk som är ansvariga för att bevaka dagens bränslecellsmarknad, samt för att bygga upp ett kontaktnät i syfte att skapa överspridning av den kompetens och kunskap som är aktuell inom området.

Elforsks vision för 2009 lyder som följer:

*”Visionen med projektet är att samla in kunskaper och underlag och identifiera kunskapsluckor inför en framtida satsning så att bränsleceller som drivs med förnybara bränslen kan implementeras i det svenska energisystemet.”<sup>1</sup>*

Genom att delta på detta seminarium kunde en övergripande bild av hur Sveriges bränslecellsutveckling ligger till skapas, vilket senare kommer att underlätta validering av den information, som finns att tillgå. Den information, som finns att tillgå, är till största del rapporter men det finns även några enstaka böcker, som visat sig mycket användbara.

## **1.5 Avgränsningar**

Denna avhandling kommer att ligga på en enkel och övergripande nivå och kommer därför inte att gå in på djupet i de olika delarna som avhandlas. Avhandlingen riktar sig främst till läsare som har grundläggande teknisk förståelse, men som inte har någon större tidigare kunskap inom området bränsleceller och bränslecellsteknik. Endast några av de största och mest använda bränslecellsteknikerna, som för tillfället finns ute på marknaden kommer att presentera. Läsaren antas ha någon form av grundläggande förståelse för den militära verksamheten och därför är någorlunda insatt i den militärstrategiska doktrinen. Därav kommer inte de grundläggande förmågorna att beskrivas. För de läsare, som inte känner till de grundläggande förmågorna, återfinns dessa i *Doktrin för markoperationer* och referenser var dessa återfinns i doktrinen presenteras senare i arbetet efterhand som de grundläggande förmågorna används i diskussionen.

## **1.6 Definitioner och centrala begrepp**

### **Cell**

Ordet cell kommer från latinets *célla* vilket betyder kammare. Inom elektrokemin består en cell av två elektroder, en pluspol (anod) respektive en minuspol (katod), nedsänkta i en elektrolyt. De två elektroderna är sedan förbundna genom en yttre strömkrets. I cellen kan elektrisk ström alstras genom en kemisk reaktion eller omvänt driva en kemisk reaktion då elektrisk ström tillförs. Då elektrisk ström alstras, kallas cellen för en galvanisk cell eller ett galvaniskt element och omvänt då elektrisk ström används för att driva en elektrisk reaktion kallas cellen för en elektrolyscell.<sup>2</sup>

### **Stack**

Ordet stack betyder större hög.<sup>3</sup> Inom bränslecellstekniken bildar de sammansatta cellerna en ”cellstack”. En cellstack består av en ”hög” med celler, varav namnet cellstack uppkommit. Eftersom en enstaka cell genererar en låg spänning och en liten ström, krävs det oftast att flera celler sätts samman för att tillsammans generera en högre spänning och en större ström. Viktigt att observera är att ibland brukar också en

---

<sup>1</sup> Wahlund, Bertil, *Teknikbevakning av bränslecellsområdet under 2009*, Elforsk, Stockholm 2009-01-21, s. 2.

<sup>2</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/142403>, 2009-03-17 15:37.

<sup>3</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/1589622>, 2009-03-17 16:00.

stack av celler för enkelhetens skull brukligt benämnas för ”bränslecell”, varav termologin ibland kan bli inkonsekvent.<sup>4</sup>

### **Balance of Plant (BoP)**

Med Balance of Plant menar man de komponenter och system, som inte ingår i bränslecellsstacken. Till BoP begreppet hör därför alla de övriga komponenter och system, som ingår i det kompletta elsystemet eller den kompletta el-anläggningen. De övriga komponenter och system, som behövs för att bränslecellen skall fungera, varierar beroende på de olika bränslecellstyperna och vilket bränsle man beslutat att använda till denna. Några exempel på övriga system och komponenter, som ingår i begreppet BoP, kan t.ex. vara: fläktar, pumpar, kylsystem, elmotorer, spänningsregulatorer, reformatorer, filter och bränslelagringssystem.<sup>5</sup>

### **Reformering**

Ordet ”reformera” betyder omdana, ombilda och förändra.<sup>6</sup> Detta är precis vad reformering inom bränslecellsteknik också innebär. Att genom en reformer, en så kallad ”ombildare”, ombilda kolväten till vätgas ( $H_2$ ), kolmonoxid (CO) och koldioxid ( $CO_2$ ). Genom denna process kan man ur andra bränsletyper, som innehåller kolväten, framställa vätgas, som i sin tur kan används som bränsle till bränslecellen. Det finns tre typer av reformeringstekniker: ångreformering, partiell reformering och autotermisk reformering. Alla tre reformeringsteknikerna bygger till viss del på att man vid höga temperaturer ( $200^{\circ}C$ - $1500^{\circ}C$ ) sonderdelar kolvätena och på så sätt framställer användbar vätgas.<sup>7</sup>

### **Katalysator**

En katalysator är ett ämne som sätter i gång eller skyndar på en kemisk reaktion, men som själv inte förbrukas i reaktionen.<sup>8</sup>

### **Verkningsgrad**

Då energi tillförs ett system och därefter plockas ut igen uppstår en energiförlust. Verkningsgraden på ett system blir därför förhållandet mellan nyttiggjord energi, som kan plockas ut ur systemet, och den tillförda energin, som matats in i systemet.<sup>9</sup>

---

<sup>4</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 53.

<sup>5</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 19-21.

<sup>6</sup> Svenska Akademien, *Svenska Akademiens ordlista över svenska språket*, 13:e upplagan, Norstedts Akademiska Förlag, Stockholm, 2006, s. 746.

<sup>7</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 181-189.

<sup>8</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/713850>, 2009-04-07 14:47.

<sup>9</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/1032516>, 2009-03-07 15:40.



### **Flexibilitet**

Flexibilitet innebär att något har en förmåga att anpassa sig efter omständigheterna.<sup>10</sup>

Tre grundbegrepp för att uppnå flexibilitet är<sup>11</sup>:

- Hög modularitet  
– Sönderdelning
- Högt inre sammanhang ("cohesion")  
– Harmoni mellan syften och mönster
- Låg koppling ("coupling")  
– Växelverkan mellan moduler

### **Modulisering**

Modulisering är en form av komponentstandardisering, som bygger på att standardisera moduler och komponenter vid utveckling och konstruktion av en industriprodukt. Då delarna vid ett senare tillfälle sätts samman, kan de kombineras på olika sätt för att tillverka produkter i olika utföranden utan att merkostnader uppstår. Detta möjliggör såväl en rationell produkt som ett brett sortiment till marknaden.<sup>12</sup>

### **Emission**

Emission betyder inom fysiken att något utsänder strålning eller partiklar.<sup>13</sup> De ämnen som finns i t.ex. en motors avgaser är olika emissioner då motorn utsänder partiklar vid förbränningen.

## **1.7 Metod**

Avhandlingen inleds med en deskriptiv<sup>14</sup> förklaring av bränslecellen, några vanliga bränslecellsprinciper samt några olika bränsletyper som fungerar tillsammans med de olika bränslecellsprinciperna. Detta görs i syfte att identifiera för- och nackdelar med de bränslecellsprinciper och bränslen som beskrivs. Empirin bygger på det seminariebesök som gjorts i Stockholm tillsammans med de litteraturstudier som gjorts.

Därefter diskuteras den empiri som analyserats i den deskriptiva delen av avhandlingen. Syftet med denna diskussion är att belysa några av de för- och nackdelar som identifierats med bränslecellstekniken.

Slutligen kommer induktiv<sup>15</sup> metod att användas för att dra slutsatser utifrån den tidigare beskrivningen och diskussionen. De slutsatser som dras är prediktiva<sup>16</sup> då dessa blir en typ av framtidsprognos för bränslecellstekniken inom Försvarmakten.

Metodbeskrivningen kan även ses grafiskt i figur 1.1.

<sup>10</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/1278459>, 2009-03-19 15:45.

<sup>11</sup> Wengelin, Daniel, *Industrins visioner och mål med modularitet*, SAAB Systems, Stockholm 2008-05-27, s. 3.

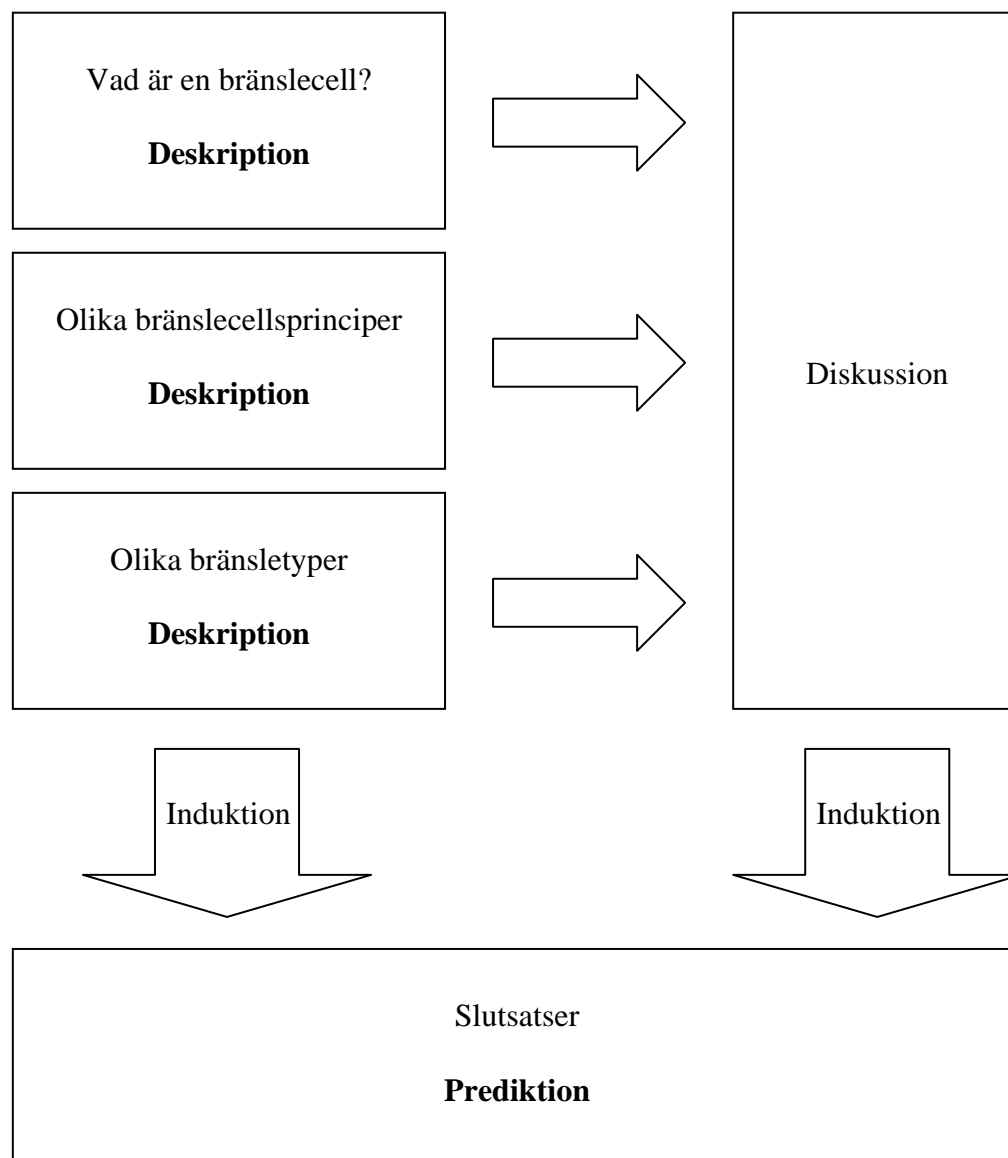
<sup>12</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/257703>, 2009-03-19 18:03.

<sup>13</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/161975>, 2009-04-07 14:55.

<sup>14</sup> Ejvegård, Rolf, *Vetenskaplig metod, Studentlitteratur*, Lund, 2003, s. 32-33.

<sup>15</sup> Thurén, Torsten, *Vetenskapsteori för nybörjare*, Liber AB, Stockholm, 1991, s. 19-21.

<sup>16</sup> Ejvegård, Rolf, *Vetenskaplig metod, Studentlitteratur*, Lund, 2003, s. 42.



**Figur 1.1** Grafisk metodbeskrivning

## 1.8 Disposition

Uppsatsen är uppdelad i sju kapitel. **Kapitel 1** beskriver bakgrunden, syftet och frågeställningarna samt en beskrivning av metodvalet. Gjorda avgränsningar samt centrala begrepp redovisas och förklaras. **Kapitel 2** beskriver bränslecellens historia samt bränslecellens princip och funktion. **Kapitel 3** beskriver fyra av de vanligast förekommande bränslecellstyperna och vilka skillnader det finns mellan dessa. **Kapitel 4** beskriver de olika bränsletyper, som kan användas tillsammans med bränslecellen. I **Kapitel 5** förs först en diskussion om vilka system inom Försvarmakten, som i framtiden skulle kunna drivas med hjälp av bränsleceller. Därefter följer en diskussion om bränslecellen kommer att klara av de yttre miljöpåverkningar som systemet utsätts för inom Försvarmakten, samt vad det är för fördelar med att bränsleceller har modulär kapacitet. Slutligen kommer en teknisk systemanalys av bränslecellen att göras. I denna systemanalys kommer bränslecellen att

analyseras utifrån tre av de sex grundläggande förmågorna. De tre grundläggande förmågorna, som kommer att analyseras, är rörlighet, skydd och uthållighet. I **Kapitel 6** presenteras först de slutsatser som uppsatsen givit upphov till, samt svaret på frågeställningen om det är möjligt att använda bränsleceller, som en alternativ energikälla inom Försvarsmakten. Slutligen presenteras förslag till fortsatt forskning inom ämnet. **Kapitel 7** består av en sammanfattning av uppsatsen.

## 2. Vad är en bränslecell?

### 2.1 Historia

År 1839, nästan 40 år före bensinmotorn, konstruerade den brittiske vetenskapsmannen Sir William Grove (hädanefter kallad Grove) den första bränslecellen, varav Grove också har fått hedersnamnet "Father of the fuel cell". Under tidigt 1800-tal började elektriciteten få allt fler användningsområden, samtidigt som tekniken bakom elektrolysen sedan ett antal år tidigare var känd. I en elektrolys där två elektroder är nedsänkta i vatten, sönderdelas vattnet i sina två beståndsdelar då energi tillförs i form av en elektrisk ström. Dessa beståndsdelar är syre ( $O_2$ ) och väte ( $H_2$ ). Vattnet sönderdelas och bildar ren vätgas vid katoden (minuspolen) och ren syrgas vid anoden (pluspolen). Groves stora fundering var nu om det skulle kunna vara möjligt att använda elektrolysen tvärtom. Genom att istället för att tillföra energi till cellen utvinna energi ur den genom att omvandla vätgas och syrgas till vatten. Denna tankegång resulterade i den allra första bränslecellen, som Grove senare gav namnet "gasbatteri". "Gasbatteriet", som bestod av två platinaelektroder där den ena elektroden var omsluten av vätgas och den andra av syrgas, gav inte upphov till mer än ett par enstaka watt. Detta tyckte inte Grove var tillräckligt, varför han genast började vidareutveckla sitt "gasbatteri". För att få ut mer effekt ur systemet byggde därför Grove ihop 50 stycken likadana celler och placerade dessa i en elektrolyt bestående av fosforsyra. Den första bränslecellsstacken hade nu tagit sin form. Dock lyckades Grove inte få ut tillräckligt med effekt ur sina sin nya uppfinning, varför han senare övergav sitt projekt med "gasbatterier" och började istället arbeta med ett batteri bestående av platina och zink. Med detta platina-zinkbatteri kunde han nu i alla fall alstra så pass stor effekt att han kunde lysa upp sitt klassrum på London Institute, där Grove var professor.<sup>17</sup>

Efter Groves försök i slutet på 1830-talet så föll bränslecellen mer eller mindre i glömska ända fram till 1960-talet då USA och Sovjetunionen började sin kamp om att vara först ute i rymden. Bränslecellens utveckling återupptogs för att kunna ge energi åt rymdfarkosterna. Då biprodukten av reaktionen i en bränslecell är rent vatten så var det också möjligt att tillvarata vattnet till rymdfararna som fanns i farkosten med hjälp av bränslecellen.<sup>18</sup> Bränslecellen fick därför en mycket viktig roll i bland annat NASA:s Apollo program där bränslecellen alstrade den energi som behövdes för att till exempel driva datorerna i farkosten.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 19-20.

<sup>18</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 19.

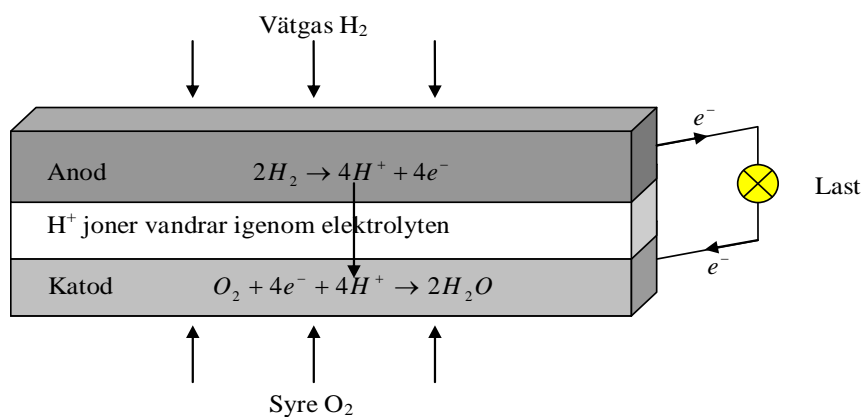
<sup>19</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 15.

Världens forskare började nu få upp ögonen för vad denna uppfinning egentligen skulle kunna göra, vilket resulterade i att utvecklingen började tog fart framåt. Då dagens fossila bränslen blir en allt större bristvara och diskussionerna om växthuseffekterna haglar allt tätare så öppnar nu bränslecellen många nya möjligheter i framtiden. Men redan nu har det kommit ut en del produkter på marknaden världen över och fler är på gång då bränsleceller har blivit ett hett ämne på många företags utvecklingsagenda.<sup>20</sup>

## 2.2 Funktion

Dagens bränsleceller skiljer sig inte mycket från Groves ursprungliga bränslecell då de fortfarande bygger på samma princip som år 1839. Principen bygger på den reversibla elektrolysen, som i det här fallet innebär att istället för att sönderdela vatten till väte och syre med hjälp av elektrisk energi så erhålls istället elektrisk energi genom att låta väte och syre reagera med varandra och på så sätt få ut elektrisk energi. Ibland brukar man säga att vätegaset ”bränns” då den förbrukas i bränslecellen men istället för värme produceras elektrisk energi.<sup>21</sup>

I figur 2.1 presenteras en bild över bränslecellens funktion. Så länge anoden utsätts för vätegas och katoden för syrgas kommer reaktion att fortgå. Observera att det krävs dubbelt så många väteatomer som syreatomer för att reaktionen skall uppstå. Vid anoden kommer väteatomerna att avge sin elektron och bilda vätejoner ( $H^+$ ). Elektronerna ( $e^-$ ) kommer därefter att vandra genom den externa strömkretsen och passera lasten som är ansluten till den externa kretsen. Därefter kommer elektronerna att nå katoden. Under tiden kommer vätejoner ( $H^+$ ) att vandra genom elektrolyten för att nå den negativa katoden. När elektronerna och vätejoner når katoden kommer de att tillsammans med syrgasen ( $O_2$ ) reagera och bilda vatten ( $H_2O$ ).<sup>22</sup>



**Figur 2.1** Elektronreaktioner och laddningsflöde<sup>23</sup>

*”I princip fungerar bränslecellen som ett batteri som inte mattas av så länge bränsletillförsel pågår.”<sup>24</sup>*

<sup>20</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 12-18.

<sup>21</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 1-2.

<sup>22</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 2.

<sup>23</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 3.

<sup>24</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 53.

Den teoretiska spänningen som en bränslecell kan producera är 1,23 V vid en temperatur på 25°C. Dock är detta den teoretiska potentialen som en bränslecell kan uppnå varav den är lägre i verkligheten. Detta beror på förluster i systemet som t.ex. inre resistans.<sup>25</sup> Bränslecellens praktiska potential hamnar därför på ca 0,6 V då en användbar ström utvinns ur cellen.<sup>26</sup>

Den stora skillnaden mellan dagens bränsleceller och Groves bränslecell är att man nu har börjat lösa problemet med de små strömmar som den första bränslecellen producerade. Idag har forskare och vetenskapsmän lyckats skapa system som levererar en tillfredställande effekt, vilket inte Grove lyckades med. Anledningen till detta är att man lyckats identifiera två vitala faktorer som påverkar systemets effektivitet. Den ena faktorn är kontaktytan mellan gasen, elektroderna och elektrolyten: En större kontaktyta skapar en större ström, vilket gör att man just nu försöker skapa material med så stora kontaktytor som möjligt trots den minimala ytan på elektroderna. Den andra faktorn är avståndet mellan elektroderna: Då elektrolyten utgör ett motstånd mot elektronerna som strömmar genom elektrolyten minskar strömmen. Detta på grund av att distansen mellan elektroderna ökar. Genom att tillverka elektroder av ett poröst material, samtidigt som elektroderna görs mycket platta med ett tunt lager elektrolyt emellan, så kan effektiviteten på cellen öka avsevärt.<sup>27</sup>

Uppbyggnaden av en bränslecell är mycket enkel, vilket också är en av systemets stora fördelar. Bränslecellen består endast av ett fåtal rörliga delar, eller i vissa fall inga alls, vilket bidrar till att bränslecellen kan bli ett driftsäkert och långlivat system.<sup>28</sup>

### 3. Olika bränslecellsprinciper

#### 3.1 PEM-bränsleceller (PEMFC)

PEMFC står för Proton Exchange Membrane Fuel Cell, men denna bränslecell går ibland också under namnet PEFC – Polymer Electrolyte Fuel Cell. PEM-bränslecellen har varit populär sedan 1960-talet och är fortfarande en mycket attraktiv bränslecell. Detta då den bland annat är mycket enkelt konstruerad och har en bra livsduglighet.<sup>29</sup> PEM-bränslecellen har även en hög verkningsgrad, vilken ligger på 50-60 %, då vätgasen omvandlas till elektrisk energi. PEM-bränslecellen arbetar också på låga temperaturer, runt 80°C eller lägre, vilket gör den snabbstartad. Den klarar även att startas vid temperaturer ner mot noll grader. Dessa faktorer gör att PEM-bränslecellen är mycket intressant inom bilindustrin.<sup>30</sup> Dessa egenskaper gör att PEM-bränslecellen kan användas i nästan vilken strömkrävande applikation som helst, vilket gör att man

---

<sup>25</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 28-29.

<sup>26</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 6.

<sup>27</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 2.

<sup>28</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 23.

<sup>29</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 27.

<sup>30</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 57.

kan finna den i allt från små mobiltelefoner till stora lokomotiv.<sup>31</sup> Ytterligare en fördel med PEM-bränslecellen är att elektrolyten är i fast form då den består av ett membran gjort av polymerplast, vilket givit denna bränslecellstyp sitt namn.<sup>32</sup>

De nackdelar, som denna bränslecellstyp har, är att katalysatorn i bränslecellen innehåller den dyra och sällsynta ädelmetallen platina. Detta gör bränslecellen dyr att tillverka. Platina är också känsligt för föroreningar, vilket innebär att bränslecellen är känslig för föroreningar som kommer in i cellen och kan påverka katalysatorn. Bränslecellens membran är även känsligt för uttorkning, vilket gör att membranet hela tiden kräver vatten för att fungera. Membranet tål heller inte temperaturer över 100°C då det börjar torka ut vid denna temperatur. Passeras denna temperatur finns det en risk att membranet slutar att fungera på grund av uttorkning. Membranet är dessutom mekaniskt instabilt, vilket gör att det är känsligt för vibrationer.<sup>33</sup> Livslängden är i nuläget begränsad på PEM-bränsleceller men under perioden 2010-2015 beräknas livslängden ha ökat. Beräkningar säger att mobila PEM-celler då bör ha en livslängd på 5000 h (7,5 månader) och de stationära PEM-cellerna bör ha en livslängd runt 40 000 h (4,6 år).<sup>34</sup>

### 3.2 Direktmetanolbränsleceller (DMFC)

Direktmetanolbränslecellen är en variant av PEM-cellen där man använder metanol som vätebärare, istället för att använda ren vätgas.<sup>35</sup> Detta på grund av att det är enklare att lagra metanol än att lagra ren vätgas som kräver tryckbehållare för lagring. Direktmetanolbränslecellen har en låg verkningsgrad på ca 30-40 %, varav denna inte lämpar sig för stora stationära system.<sup>36</sup> Denna celltyp riktar sig därför främst åt den portabla marknaden med förbrukare under 100 W men kommer även att finnas i portabla elverk upp till 1 kW. Direktmetanolbränslecellen kommer därför att fungera som ersättning för de batterier som idag finns i t.ex. mobiltelefoner, radioapparater, bärbara datorer med mera.<sup>37</sup>

### 3.3 Smältkarbonatbränsleceller (MCFC)

Smältkarbonatbränslecellen tillhör kategorin högttemperaturbränsleceller då den arbetar på en temperatur runt 650°C. Smältkarbonatcellen upptäcktes under 1920-talet och har sedan dess vidareutvecklats.<sup>38</sup> Verkningsgraden på smältkarbonatbränslecellen ligger

---

<sup>31</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 27.

<sup>32</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 57.

<sup>33</sup> Wreland Lindström, Rakel, Lindbergh, Göran, *Teknikläget för PEFC och framåtblickar*, KTH, Stockholm 2009-01-21, s. 8-10 samt s. 14.

<sup>34</sup> Wreland Lindström, Rakel, Lindbergh, Göran, *Teknikläget för PEFC och framåtblickar*, KTH, Stockholm 2009-01-21, s. 7.

<sup>35</sup> Wreland Lindström, Rakel, Lindbergh, Göran, *Teknikläget för PEFC och framåtblickar*, KTH, Stockholm 2009-01-21, s. 3.

<sup>36</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 58.

<sup>37</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 47-49.

<sup>38</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 163-165.

runt 50 %<sup>39</sup> men kan ökas något om den ånga som skapas vid reaktionen nyttjas i en ånggenerator, vilket då skapar ytterligare lite användbar el från systemet.<sup>40</sup> Under 1960- och 1970-talet tog smältkarbonatcellen två stora steg framåt i utvecklingen. Det första framsteget var att man lyckades skapa en matris, bestående av litiumaluminiumdioxid ( $\text{LiAlO}_2$ ), som kunde binda upp elektrolyten bestående av smälta alkaliska metaller, så som litium och natrium eller litium och kalium. Det andra framsteget som gjordes var att katalysatorn i anoden, som tidigare bestod av platina, kunde bytas ut mot nickel. Resultatet av detta framsteg blev en minskad kostnad för systemet då behovet av den dyra och sällsynta ädelmetallen platina försvann.<sup>41</sup>

Det finns vissa fördelar med att använda bränsleceller som arbetar på högre temperaturer. Vid ökad temperatur avtar cellens spänningsminskning då cellen belastas. Detta gör att celler med högre temperaturer kan leverera en högre cellspänning. Fördelen är också att den höga temperaturen ger upphov till värme, vilken kan användas till bränslereformering.<sup>42</sup> Bränslereformeringen gör därför systemet bränsleflexibelt och andra vätebärande bränslen som naturgas, propan, dieselolja med mera kan användas i systemet.<sup>43</sup> Nackdelen, som de höga temperaturerna medför, är att systemet bli komplext på grund av systemets ökade BoP behov, som bland annat används för att reformera bränslen och ta tillvara spillvärme för att öka systemets verkningsgrad. Denna ökning av BoP gör att systemet också ökar i storlek, vilket gör att smältkarbonatbränsleceller blir svårare att använda för den portabla marknaden. Därför återfinns oftast smältkarbonatbränsleceller enbart i stationära system.<sup>44</sup> Några andra problem som också medförs av den höga temperaturen är att materialet som cellens katod består av löses upp, sintring av anoden, vilket innebär att anodens porer sätts igen, samt att den höga temperaturen bidrar till korrosion på strömledare och bipolära plattor. Cellen är också känslig för svavel, vilket förorenar cellen om detta kommer i kontakt med cellen.<sup>45</sup> De tester som gjorts för att utvärdera livslängden på smältkarbonatbränsleceller visar att en cellstack klarar sig över 30 000 h och världsrekordet på en enskild cell ligger på över 68 000 h.<sup>46</sup>

### 3.4 Fastoxidbränsleceller (SOFC)

Fastoxidbränsleceller tillhör liksom smältkarbonatbränsleceller kategorin högttemperaturbränsleceller. Till skillnad från smältkarbonatbränsleceller så består elektrolyten här av ett hårt keramiskt material främst bestående av fast zirkoniumoxid. Detta bidrar till att man kan öka arbetstemperaturen till  $1000^\circ\text{C}$ .<sup>47</sup> Genom att använda

<sup>39</sup> Lagergren, Carina, Lindbergh, Göran, *Smältkarbonatbränslecellen (MCFC) - teknikläget och framåtblick*, KTH, Stockholm 2009-01-22, s. 4.

<sup>40</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 58.

<sup>41</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 187-190.

<sup>42</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 32-33.

<sup>43</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 58.

<sup>44</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 165.

<sup>45</sup> Lagergren, Carina, Lindbergh, Göran, *Smältkarbonatbränslecellen (MCFC) - teknikläget och framåtblick*, KTH, Stockholm 2009-01-21, s. 6.

<sup>46</sup> Lagergren, Carina, Lindbergh, Göran, *Smältkarbonatbränslecellen (MCFC) - teknikläget och framåtblick*, KTH, Stockholm 2009-01-21, s. 12.

<sup>47</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 58.

ett keramiskt material som elektrolyt, kan man också minska elektrolytens tjocklek i cellen vilket bidrar till en minskad inre resistans. En minskad inre resistans i systemet ökar i sin tur möjligheten att plocka ut en större ström ur cellen. Ytterligare en fördel med det hårda keramiska materialet är att de höga temperaturerna inte bryter ner cellen, vilket sker i smältkarbonatbränslecellerna. Fastoxidbränslecellen klarar även av att använda kolmonoxid (CO) som bränsle om denna gas kommer in i cellen. Katalysatorn i fastoxidbränsleceller består av nickel, vilket innebär att inga dyra ädelmetaller behövs<sup>48</sup>

Fastoxidbränslecellernas utveckling kan spåras ända tillbaks till år 1899 då den tyska kemisten Walther Nernst presenterade zirkoniumoxid som en keramisk ledare.<sup>49</sup> Fastoxidbränsleceller är numera intressanta inom industrin, då tekniken är mycket effektiv. Verkningsgraden ligger runt 60 % men om en ångturbin också används i systemet kan även den högkvalitativa värmeenergin i vattenångan utnyttjas och man kan nå verkningsgrader uppemot 85 %.<sup>50</sup>

Det pågår för närvarande många försök med fastoxidbränslecellen framförallt inom transportsektorn. Där har man nu visionen att skapa en reservkraftsenhet, en så kallad APU (Auxiliary Power Unit). Tanken är att en APU skall kunna strömförsörja viktiga lastbils- och fartygssystem då dessa står stilla. Att slippa ha motorn igång för detta skulle därför spara stora mängder pengar. Men även också miljön skulle sparas, då verkningsgraden på en dieselmotor på tomgång är låg. Genom att istället vid det här tillfället kunna reformera diesel och använda det i en bränslecell skulle resultera i att verkningsgraden skulle öka avsevärt, samt att inga emissioner så som NO<sub>x</sub>, CO och SO<sub>x</sub> skulle släppas ut i naturen. Dessutom minskar ljudnivån avsevärt då bränslecellerna inte ger ifrån sig så mycket ljud.<sup>51</sup> Under början av år 2009 kommer finska Wärtsilä att demonstrera en marin APU, vilken kommer att installeras på transportfartyget "Wilhelmsen" som ägs av rederiet Wallenius. Denna marina APU kommer att använda metanol som bränsle och ha en effekt på 20 kW.<sup>52</sup>

Det är inte enbart transportindustrin som är intresserade av fastoxidbränslecellen. Ett annat stort användningsområde är också stationära elkraftverk. Anledningen till detta är den höga verkningsgraden samt att tekniken är modulär, vilket gör att celler kan bytas ut vid behov eller så kan systemet byggas ut med fler celler för att öka systemets effekt. I Lyngby i Danmark har Topsoe Fuel Cell A/S byggt ett elkraftverk med fastoxidbränsleceller på 5 MW, som skall kunna förse danskarna med el från och med sista kvartalet 2008. Även telecomsektorn är intresserade av denna teknik, då den är väl lämpad för stationär backup eller rent av att producera den elkraft som behövs på avlägsna platser där elnätet inte är utbyggt. Detta gör att man på ett relativt enkelt sätt

---

<sup>48</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 207-209.

<sup>49</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 208.

<sup>50</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 58.

<sup>51</sup> Pohl, Hans, Selimovic, Azra, Bodén, Andreas, *Bränsleceller för vägfordon 2008*, VINNOVA & VOLVO, Stockholm 2009-01-21, s. 17-22.

<sup>52</sup> Ridell, Bengt, *EU program för bränsleceller FCH JTI*, Grontmij AB, Stockholm, 2009-01-21, s. 18.



kan få tillgång till elkraft även på platser där det egentligen inte skulle kunna vara möjligt utan dyra investeringar i utbyggnad av det befintliga elnätet.<sup>53</sup>

I Sverige startade det första testet av en högttemperaturbränslecell under år 2007 och tester på detta system pågår fortfarande under 2009. Testen utfördes på en fastoxidbränslecell som installerades i "GlashusEtt" ute i Hammarby sjöstad, och som drivs av naturgas bestående av metan (CH<sub>4</sub>). Denna fastoxidbränslecell består av ett 5 kW Combined Heat and Power (CHP) system, vilket innebär att man även utöver den elektricitet, som tillverkas, tar till vara den värme som systemet avger för att värma upp byggnaden. Detta gör att systemets totala verkningsgrad blir högre än om enbart elektricitet skulle tillverkas. Projektet, som nu varit aktivt i ett par år, drivs av KTH, ABB AB, Grontmij AB och ÅF men har finansierats av en stor mängd olika aktörer från Sverige. En av dessa aktörer som varit med om att finansiera projektet är Försvarets Materielverk (FMV).<sup>54</sup>

Livslängden på en fastoxidbränslecell varierar från tillverkare till tillverkare då företagen besitter olika kompetens inom området. En annan aspekt som också spelar roll är att man tillverkar cellerna på lite olika sätt, vilket leder till att kvalitén på cellerna skiljer sig åt. Företaget Haldor Topsøe A/S presenterade i slutet på år 2004 testresultat där de hade lyckats köra en fem cells stack i 12 000 h utan att systemet degraderades, vilket innebär att systemet inte tappade någon prestanda under denna tid, trots att systemet startats om åtta gånger. Då systemet startas om, kyls det ner från 800°C till rumstemperatur innan systemet startats upp igen.<sup>55</sup> De tester som utförts av KTH vid "GlashusEtt" visade att deras cellstack hade degraderats 12 % efter att den varit i drift i 1600 h och startats om sju gånger och 50 lastförändringscykler hade genomförts. Ytterligare en anledning till degraderingen av systemet, utöver omstarter och lastcykler, tror man här kan bero på föroreningar i bränslet. Under de lastcykler, som genomfördes, upptäckte man också att cellstacken inte klarade att leverera mer än 3,5 kW av de 5 kW, som stacken skulle klara att leverera, varav man drog slutsatsen att systemet inte klarar stora belastningar.<sup>56</sup>

## 4. Olika bränsletyper

### 4.1 Vätgas

Det vanligaste ämnet som finns i universum är vätgas. Enligt beräkningar skall universum bestå av ca 75 % väte, räknat som massa, trots att vätgas är den lättaste av alla atomer. På jorden förekommer väte främst som en byggsten i molekylén vatten (H<sub>2</sub>O) i hydrosfären. Nästan elva viktprocent av hydrosfären består av väte och återfinns i sjöar och hav men även i växter, djur och människor då vi också till stor del består av vatten. Utan tvekan råder det ingen brist på väte. Den stora anledningen till att vi för närvarande inte använder vätgas som bränsle i stora omfattningar, är att det behövs

---

<sup>53</sup> Mortensgaard, Aksel, *Varför är bränslecellutvecklingen så framgångsrik i Danmark? Vad är hemligheten?*, Energistyrelsen i Danmark, Stockholm, 2009-01-21, s. 2-3.

<sup>54</sup> Hedström, Lars, Holmström, Nicklas, Saxe, Maria, *Experiences and results from the SOFC system in GlashusEtt*, KTH, Stockholm, 2009-01-21, s. 2-4 samt 19.

<sup>55</sup> Ridell, Bengt, Rissanen, Markku, *BRÄNSLECELLER – 2/05 Elforsk projekt 2284*, Elforsk AB, Stockholm, 2005, s.21.

<sup>56</sup> Hedström, Lars, Holmström, Nicklas, Saxe, Maria, *Experiences and results from the SOFC system in GlashusEtt*, KTH, Stockholm, 2009-01-21, s. 13-14.

energi för att frigöra väte ur de föreningar som vätet är bundet i. Att framställa väte på bästa sätt är nu därför en viktig fråga för forskarna att lösa. För närvarande pågår olika försök med att tillverka vätgas till en så liten kostnad som möjligt, varav det forskas inom en hel del olika tekniker. Exempel på tekniker som används för att framställa vätgas är artificiell fotosyntes, fotoelektrokemisk vätgasproduktion, biofotolytisk vätgasproduktion med bakterier samt vätgasproduktion ur biomassa/avfall. Huvudalternativen som numera används, är reformering av kolväten eller elektrokemisk vätgasproduktion där elenergi används för att sönderdela vatten till väte och syre. Den absolut bästa lösningen skulle vara om tillverkningen enbart kom från uthållig och förnyelsebar energi, som vattenkraft, vindkraft, solceller och geotermisk energi. I Sverige skulle därför t.ex. all spillenergi från vattenkraften, som kan räknas i terawattimmar, kunna användas till tillverkning av vätgas, som då gör det möjligt att lagra denna spillenergi. Skulle kiselbaserade solceller användas för att täcka Sveriges årliga energikonsumtion från olja och kärnkraft, som totalt ligger på cirka 314 TWh, skulle det krävas att en yta nästan lika stor som Halland (Hallands yta: 4748 km<sup>2</sup>)<sup>57</sup> skulle behöva täckas med solceller. Skulle solcellerna placeras på tak och fasader så finns det för tillfället ca 800 km<sup>2</sup> yta att tillgå i Sverige.<sup>58</sup>

Ett av de stora problemen som bromsar användningen av vätgas, är att det idag inte finns några bra lösningar på hur vätgas skall produceras, distribueras och lagras. Helt enkelt måste dessa problem lösas innan det är möjligt att vätgas och bränsleceller blir kommersiella.<sup>59</sup> Det finns för närvarande ingen standard för hur vätgasen skall hanteras från produktion till konsumtion, vilket gör att det i närvarande tid är svårt och dyrt att hantera vätgasen.<sup>60</sup> Det görs nu många försök att lagra vätgas både under tryck och nerkylt till flytande form.<sup>61</sup> Nackdelen med detta är att de tankar som behövs för lagringen, blir stora och dyra. Dessutom krävs det stora mängder energi för att kyla ner väte till flytande form. För att komprimera vätgas till 300 bar åtgår det 5-10 % av dess energi. Skall vätgasen kylas ner till flytande form krävs det att vätgasen kyls ner till -253°C, vilket kräver 15-20 % av vätgasens energi.<sup>62</sup> Att det inte finns någon standard för hur vätgasen skall hanteras har också lett till att utbyggnaden av vätgasstationer går långsamt.<sup>63</sup> I skrivande stund, år 2009, finns det ca 200 vätgasstationer i hela världen, varav en operativ finns i Malmö i södra Sverige och tre stationer är under planering utmed den svenska västkusten.<sup>64</sup> Eftersom man för tillfället inte har den optimala tekniken för att lagra vätgas så använder många system reformeringstekniken istället. Då man med reformeringstekniken direkt använder vätgasen från bränslet så finns det inget behov av att lagra vätgasen.<sup>65</sup>

---

<sup>57</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/197430>, 2009-04-10 14:16.

<sup>58</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 35-42.

<sup>59</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 48-49.

<sup>60</sup> Karlström, Magnus, *Vätgasinfrastruktur för bränsleceller*, Vätgas Sverige, Stockholm, 2009-01-21, s. 3-5.

<sup>61</sup> Pohl, Hans, Selimovic, Azra, Bodén, Andreas, *Bränsleceller för vägfordon 2008*, VINNOVA & VOLVO, Stockholm 2009-01-21, s. 10-12.

<sup>62</sup> Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002, s. 55.

<sup>63</sup> Karlström, Magnus, *Vätgasinfrastruktur för bränsleceller*, Vätgas Sverige, Stockholm, 2009-01-21, s. 3-5.

<sup>64</sup> Hydrogen Filling Stations Worldwide, <http://www.h2stations.org>, 2009-04-10 18:55.

<sup>65</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 304.

## 4.2 Metanol

Till skillnad från ren vätgas produceras metanol redan nu i stora volymer. Den årliga världsproduktionen ligger på ca 20 miljoner ton men endast 2 % av denna mängd används för närvarande som direkt bränsle. Den största mängden metanol används till att framställa formaldehyd, som används vid tillverkning av t.ex. plaster, MTBE, som är ett oktantalshöjande medel i bensin, och det används även i stora mängder vid tillverkning av rengöringsmedel, som bland annat används i spolärvätska. Metanol kan tillverkas från nästan vilket kolvätesbränsle som helst, men det vanligaste är att metanolen framställs av naturgas eller andra fossila bränslen. Metanol kan också framställas genom att vätgas får reagera med antingen kolmonoxid (CO) eller koldioxid (CO<sub>2</sub>), vilket gör att metanol kan användas som ett uthålligt och förnyelsebart bränsle.<sup>66</sup> Fördelen med metanol är att det är en flytande vätska inom temperaturintervallet -98,0°C till 64,5°C<sup>67</sup>, vilket gör att det inte behöver komprimeras eller kylas ner för att enkelt kunna lagras i flytande form i en vanlig tank. Då metanolen inte behöver lagras i en trycktank bidrar detta till att lagringen blir mycket enklare och billigare. Samtidigt finns det redan i nuläget utrustning för att hanterat metanol eftersom hanteringen är mycket snarlik den hantering som finns för etanol, bensin och diesel. Detta bidrar också till att distributionen av metanol blir mycket enkel och billig, då det redan idag finns teknik för att på ett enkelt sätt distribuera den.

En av de stora nackdelarna med metanol är att den är en mycket brandfarlig vätska som lätt kan antändas, och som då brinner med en osynlig låga. Dessutom angriper den vissa plaster och metaller som då tar skada av att vara i kontakt med metanol. Metanolen är också mycket giftig för både människor och djur. Metanolen är giftig om den kommer i kontakt med huden eller om den förtärs på något sätt. Då metanolen lätt löses i vatten kan den också lätt förorena vatten, vilket i sin tur kan förgifta både människor och djur som dricker av det. Därför är det viktigt att de behållare som används vid lagring av metanol, är mycket säkra.<sup>68</sup>

## 4.3 Andra typer av bränslen

Genom att använda reformeringstekniken skapas ett bränsleflexibelt system då vätgas kan framställas ur ett stort antal olika bränslen. Både förnyelsebara och icke-förnyelsebara bränslen är därför möjliga att använda tillsammans med bränslecellen. Exempel på alternativa bränslen är: naturgas, som metan och propan. Flytande bränslen, som bensin, diesel, flygfotogen, metanol och etanol men även ammoniak och gas framställt från biomassa kan användas som alternativa bränslen. Då de olika typerna av bränsleceller är olika känsliga för föroreningar av t.ex. svavel och kolmonoxid så krävs det att dessa skadliga partiklar filtreras bort innan de når bränslecellen. Högtemperaturbränslecellerna är dock i regel mindre känsliga för föroreningar än vad lågtemperaturbränslecellerna är. I t.ex. smältkarbonatbränsleceller och fastoxidbränsleceller kan kolmonoxid fungera som ett bränsle istället för att förorena bränslecellen.<sup>69</sup> Detta innebär att bränslen med höga svavelhalter, som t.ex. diesel och flygfotogen, för tillfället är svåra att använda tillsammans med svavelkänsliga celltyper.

<sup>66</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 152-153.

<sup>67</sup> Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/255076>, 2009-04-11 17:31.

<sup>68</sup> Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003, s. 153-155.

<sup>69</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 165-171.

Anledningen är att det krävs en komplex reformering som kan avlägsna de höga mängderna svavel i bränslet.<sup>70</sup> Nackdelen med reformeringen är att reformern kräver en "starttid" för att fungera, vilket beror på att reformern måste nå sin arbetstemperatur, som oftast är hög, innan den börjar fungera. Detta gör att systemet kräver lite tid för att startas upp. Denna "starttid" kan då bli en kritisk punkt om systemet används i applikationer där kraven på ett snabbstartat system är ett måste för applikationens funktion.<sup>71</sup>

## 5. Diskussion

### 5.1 Möjliga framtida användningsområden

#### 5.1.1 Stationära system

Användningsområdena för bränsleceller inom den stationära sektorn är många. Bränslecellerna återfinns i allt från stora stationära elkraftverk till mindre APU:er för lastbilar och båtar, men används även som reservkraft i avlägsna anläggningar där tillgången till det allmänna elnätet är begränsad eller saknas helt.

Då Försvarmakten idag arbetar mot att ställa om sig från ett invasionsförsvar till att bli ett insatsförsvar, blir också behovet av att kunna säkerställa sin egen produktion av el en viktig fråga. Framförallt då många insatser numera sker utomlands och under längre tid så blir oftast de förläggningar som byggs upp stationära. Den elproduktion som för närvarande sker på förläggningar utomlands, tillverkas till största delen av dieselmotorer. Då högtemperaturbränsleceller har runt 50 % bättre verkningsgrad än vad en dieselmotor har, så skulle bränsleceller kunna vara ett bra substitut till Försvarmaktens stationära dieselelverk. Då verkningsgraden är högre hos bränsleceller, leder det till att en mindre mängd bränsle kommer att förbrukas. Detta för i sin tur med sig ett minskat antal drivmedelstranporter till missionsområdena, vilket också kan leda till att ytterligare pengar kan sparas. Dessutom kommer mängden skadliga emissioner, som en dieselmotor släpper ut, att helt försvinna då en bränslecell enbart släpper ut vatten som en biprodukt av den reaktion som sker i bränslecellen. Tack vare detta kommer bränsleceller också att vara ett miljövänligt alternativ för att producera el.

Då bränsleceller har en mycket låg ljudnivå och en liten IR-signatur kan den stationära bränslecellen, i form av APU:er, vara en framgångsfaktor för att minska möjligheten att fiendliga förband upptäcker våra enheter, som t.ex. stridsfordon och båtar. Om en stridsvagn skulle kunna stänga av sin motor vid t.ex. ett spaningsuppdrag men ändå kunna lösa sin uppgift med hjälp av kraften från bränsleceller skulle denna enhets skydds- och verkansförmåga öka. Detta då enheten blir mer svårupptäckt för fiendeförband.

En annan applikation som skulle kunna dra stor nytta av stationära bränsleceller är ubåtar och fartyg om deras motorer kunde bytas ut mot elmotorer som drivs av bränsleceller. Detta skulle bidra till en tystare och effektivare framdrivning av systemet.

---

<sup>70</sup> Eidefeldt, Curt, Prisell, Erik, *FMV FuelCell Technology Program*, FMV, Stockholm, 2009-01-21, s. 6 & 9.

<sup>71</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 201-202.

Detta är några exempel på områden där bränslecellen rent tekniskt skulle kunna bidra till en förbättring av Försvarmaktens system. Dock kommer det nog att dröja många år innan vi kommer att se bränsleceller inom Försvarmaktens stationära områden. Men beviset på att ett intresse har väckts inom Försvarmakten är att FMV startade ett utvärderingsprojekt av bränsleceller år 2003 och ett resultat av detta är bland annat att FMV varit med och finansierat testerna av en stationär bränslecell i "GlashusEtt" ute på Hammarbyhöjden i Stockholm. Utvärderingsprojektet kommer att pågå fram till slutet av år 2009 då resultatet av projektet beräknas vara klart.

### 5.1.2 Portabla system

Användningsområdet för portabla bränsleceller är i nuläget en intressant och växande marknad, och det är främst de portabla systemen som vi inom en snar framtid kommer att se göra entré på det militära slagfältet. Utvecklingen inom det portabla området går för tillfället starkt framåt tack vare att bland annat hemelektronikmarknaden är mycket intresserad av att hitta en ny lösning för att kunna ersätta dagens batterier med en mer energität och bättre lösning. Den bränslecell som är särskilt intressant inom det portabla området är direktmetanolbränslecellen. En av de stora fördelarna med att använda metanol som bränsle är att det skulle gå fort att ladda om bränslecellen, vilket skulle kunna jämföras med att fylla upp en gaständare på nytt. Ur energitähetsperspektivet kan den metanolvolym som just nu ryms i motsvarande batterivolym avge upp till nästan tre gånger så mycket energi som ett batteri med samma volym kan avge.<sup>72</sup>

Till den portabla marknaden räknas främst applikationer som har en effekt på mellan ett fåtal watt upp till 100 watt. Inom detta effektområde kan många av Försvarmaktens sambandssystem och andra bärbara applikationer så som bärbara datorer, GPS-mottagare, mobiltelefoner med mera räknas in. Detta skulle kunna innebära att man nu ute på fältet istället för att vara i behov av ett vägguttag för att kunna ladda upp sina batterier till t.ex. radion, så skulle det istället kunna räcka med att fylla på mer metanol, och sedan skulle apparaten fungera igen. Man skulle även kunna tillverka batteriladdare drivna av bränsleceller för att på ett enkelt sätt kunna möjliggöra att själva ute i skogen kunna ladda upp de batterier, som kommer från system som inte blivit uppgraderade med bränsleceller.

Ett ämne som oftast är omdiskuterat är att dagens soldater bär med sig mer och mer elektronisk utrustning, vilket innebär att soldaten måste bära med sig allt mer batterier för att denna skall fungera. Detta resulterar i att en stor del av den utrustningen som bärs av soldaten består av batterier. Att då istället kunna ersätta batterierna med en bränslecell skulle minska vikten på den bärna utrustningen väsentligt eftersom bränslecellerna är mycket energitätare än batterier i dagsläget samt att bränslecellen är mycket mindre.

Eftersom många av Försvarmaktens system skulle kunna driftsättas av bränsleceller så har Försvarmaktens intresse för att testa detta väckts. För att utvärdera hur långt bränslecellerna har kommit på dagens marknad har därför FMV testat några varianter av de portabla bränsleceller som för tillfället finns ute på marknaden. Efter att ha testat ett par enheter så blev resultaten inte riktigt enligt förhoppningarna. Driftsäkerheten hos de

---

<sup>72</sup> Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005, s. 170.

olika enheterna var varierande och någon enhet klarade bland annat inte att vinklas för mycket utan att denna slutade fungera. Innan dessa problem är åtgärdade och ett driftsäkert system kan presenteras så kommer det dröja innan vi ser portabla bränslecellssystem i Försvarmakten. Men då utvecklingen nu går snabbt framåt så är det inte omöjligt att vi kommer se portabla bränsleceller i Försvarmakten redan inom ett par år.

## **5.2 Miljö och modularitet**

### **5.2.1 Yttre miljöpåverkan**

De krav som Försvarmakten ställer på en produkt, är i regel mycket högre än de krav som ställs från den civila marknaden. Anledningen till detta är att den militära materielen oftast måste utstå mycket hårdare prövningar och påfrestningar i sin vardag än vad ett civilt system måste klara. Inom militär verksamhet kan det dessutom vara så illa att människoliv står på spel om funktionen hos ett system uteblir. På grund av detta ställs det mycket höga krav på att ett system skall fungera oberoende av miljö.

Hur kommer då de yttre miljöfaktorerna att påverka bränslecellerna och dess livslängd? Utvecklingen av bränsleceller går för närvarande framåt i en rasande takt, men trots detta har bränslecellerna vissa problem som skulle kunna påverka driftsäkerheten och livslängden på bränsleceller om de användes i olika militära system. Då bränsleceller för tillfället främst är tänkta att integreras på soldatnivå för att ersätta dagens batterier, så kommer det främst vara PEM-bränsleceller och direktmetanolbränsleceller som kommer att användas i dessa applikationer. Ett stort problem som PEM-bränsleceller och direktmetanolbränsleceller har, är att membranet i dessa bränsleceller är känsliga för mekaniska påfrestningar. Detta skulle kunna bli ett problem då systemet är buret av en soldat som kommer att utsätta systemet för mycket vibrationer och mekaniska påfrestningar, vilket skulle kunna minska systemets livslängd eller till och med helt förstöra systemet. Samma problem skulle kunna uppstå om PEM-bränsleceller eller direktmetanolbränsleceller används i militära fordon som kommer att vistas i mycket extrema miljöer, som mekaniskt kommer att påfresta bränslecellen. Den funktion som finns på soldatnivå, som kan tänkas strömförsörjas med bränsleceller, är sambandsmedel. Då sambandsmedel är en viktig funktion så finns därför risken att sambandet kan brytas om en bränslecell skulle sluta fungera. Eftersom en bränslecell inte direkt går att byta ut som ett batteri så kommer därför systemet att vara ur funktion tills bränslecellen ersatts eller lagats.

Ett annat problem som skulle kunna uppstå ute på fältet är att om fel bränsle skulle tankas i den portabla bränslecellen, så skulle det kunna förstöra bränslecellen eller drastiskt förkorta dess livslängd och/eller funktion genom att membranet förorenas. För att undvika detta problem kan standardiserade ampuller med bränsle användas för att minska felkällor beroende på den mänskliga faktorn.

### **5.2.2 Modularitet**

Modularitet innebär en möjlighet att sätta samman olika delar (moduler) av ett system till ett nytt system, som klarar av och uppfyller det aktuella behov som finns. Då

systemet byggs upp av moduler, som kan massproduceras, minskas kostnaden för systemet samt att tillgängligheten ökar då en modul enkelt kan ersättas eller repareras.<sup>73</sup>

Då alla bränsleceller byggs upp av celler, som i sin tur sätts samman i stackar, så kan systemens effekt enkelt skraddarsys efter de behov som finns. Detta då flera stackar enkelt kan sättas samman för att uppnå den effekt som efterfrågas. Genom att bränslecellen delas upp i moduler kan dessa moduler enkelt standardiseras, vilket gör att reparationer underlättas och även utbytesmoduler kan tillverkas för att på ett snabbt och smidigt sätt minska systemets reparationstid. Genom att tillverka standardiserade moduler kan också priset på systemet hållas nere och om flera system använder samma moduler kan kostnaderna för systemet minskas ytterligare.

### 5.3 Teknisk systemanalys

#### 5.3.1 Rörlighet<sup>74</sup>

Den styrka som finns hos en bränslecell är att den är liten i förhållande till dess effekt. Den höga energitätheten är därför en av de viktigaste styrkorna som bränslecellen har, då den blir lättare än ett batteripaket som kan leverera samma energimängd. Därför kommer systemets totalvikt att minska, vilket leder till ökad rörlighet. Verkningsgraden är också dubbelt så hög jämfört med en bensinmotor och ca 50 % jämfört med en dieselmotor. Detta gör att aktionsradien på t.ex. ett fordon drivet av en bränslecell skulle kunna öka i förhållande till ett fordon drivet av en dieselmotor eller en bensinmotor.

Den stora svagheten med bränslecellen är att det just nu inte finns några standardiserade bränslen för bränsleceller, vilket gör att rörligheten blir begränsad till de områden där det är möjligt att återfylla drivmedel för bränslecellerna. Reformeringstekniken är också fortfarande ung och kräver en hel del utveckling innan denna kommer att fungera bra med dagens befintliga bränslen. Detta gör att rörligheten bara i viss mån kan ökas med hjälp av alternativa bränslen, som diesel och flygfotogen, om tillgången på dessa bränslen finns att tillgå. Efterhand som reformeringstekniken kommer att förfinas kommer också systemen att bli mer bränsleflexibla, vilket är en styrka systemet har då reformeringstekniken kommer att börja fungera tillfredsställande.

#### 5.3.2 Skydd<sup>75</sup>

En av bränslecellernas stora styrkor är att den består av få rörliga delar, om ens några alls. Detta resulterar i att systemet blir tystgående, vilket bidrar till att öka applikationens skydd. Bränslecellen har även en låg IR-signatur, vilket också bidrar till ett ökat skydd för den applikation som bränslecellen placeras i.

#### 5.3.3 Uthållighet<sup>76</sup>

Den styrka som bränslecellen har i förhållande till andra energiproducerande system är att den har en mycket hög verkningsgrad, vilket bidrar till att systemet kommer att kunna fungera under en längre tid på samma mängd bränsle än vad ett system med sämre verkningsgrad kan.

---

<sup>73</sup> Axelsson, Lennart, *Modularitet*, IML, Stockholm 2008-05-27, s. 7-9.

<sup>74</sup> Försvarmakten, *Doktrin för markoperationer*, HKV, Stockholm, 2005, s. 69-71.

<sup>75</sup> Försvarmakten, *Doktrin för markoperationer*, HKV, Stockholm, 2005, s. 71-73.

<sup>76</sup> Försvarmakten, *Doktrin för markoperationer*, HKV, Stockholm, 2005, s. 73-74.

Systemets svagheter idag är att bränslecellens livslängd är något begränsad i förhållande till andra system. Det forskas mycket inom bränslecellens livslängd, och nya tekniker för att öka bränslecellens livslängd. Detta skulle innebära att denna svaghet sakta men säkert kommer att försvinna, efterhand som tekniken mognar. En annan vital svaghet är avsaknaden av bränslestandarder, vilket gör att utvecklingen av större och mer avancerade bränsletankar och tillgången till återfyllnadsstationer för närvarande är mycket begränsad. Så fort bränslestandarder inom bränslecellområdet kommer att stiftas så kommer denna svaghet också sakta men säkert att försvinna efterhand som systemet får en mer mogen teknik.

## 6. Avslutning

### 6.1 Slutsats

Med den tillbakablick som gjorts i historien, åskådliggörs verkligen den utveckling som bränslecellstekniken har haft sedan Sir William Grove upptäckte bränslecellen år 1839. Nästan två sekel har gått sedan Sir William Groves "gasbatteri" presenterades och från att då enbart ha levererat ett par watt till att idag kunna leverera effekter upp emot flera megawatt så är slutsatsen att tekniken har mognat betydligt. Men även om tekniken mognat mycket bara de senaste decennierna så är bränslecellstekniken fortfarande inte tillräcklig för att kunna användas i större utsträckning inom både den militära och civila marknaden. En annan stor anledning till att bränslecellen inte tagit det stora klivet ut på marknaden är avsaknaden av standarder och teknik för tillverkning, distribution och användning av de olika bränslen som är användbara. Framst gäller detta för ren vätegas och metanol, som i denna tid är två mycket intressanta bränslen inom bränslecellutvecklingen. Samtidigt är reformeringstekniken fortfarande ett mycket kostsamt och komplext alternativ, som troligtvis i framtiden kommer vara en lösning på bränslefrågan. En effektiv och enkel reformering skulle då möjliggöra att nästan alla kolväten skulle kunna reformeras. Men även en gemensam standardisering av bränslehanteringen skulle göra att bränsletillgången skulle kunna öka från dagens nästan obefintliga nivå till acceptabla nivåer.

Bränslecellstekniken är intressant både inom den stationära och portabla marknaden men främst inom den portabla då Försvarmaktens energibehov till stor del finns inom detta område. En av anledningarna till intresset är att energitätheten i bränslecellen är hög. De områden som just nu talar emot bränslecellstekniken är bland annat att tekniken fortfarande är mycket dyr. Detta på grund av att ädelmetaller, som platina, används eller att en komplex och kostsam reformeringsteknik är nödvändig. Livslängden på bränsleceller är för tillfället inte heller helt tillfredställande men forskarna jobbar ständigt med att öka denna, vilket är en mycket viktig faktor för att bränsleceller skall börja användas. En annan nackdel som talar emot bränslecellstekniken, är att vissa bränsleceller är mekaniskt instabila, vilket gör användningen på den militära marknaden kan vara osäker då den här kommer att utsättas för extrema miljöer där vibrationer är vanligt förekommande.



Slutlig sammanfattning av slutsatser:

- Bränslecellstekniken har mognat mycket de senaste decennierna men är fortfarande inte tillräckligt mogen för att kunna lanseras i stor skala på både den civila och militära marknaden.
- De bränslen som kan användas tillsammans med bränslecellen är ren vätgas och i princip alla kolväten som kan reformeras. Då dagens reformeringsteknik fortfarande är komplex och kostsam, så är metanol en stark kandidat. Detta då metanol kan användas i direktmetanolbränslecellen utan reformering och stora och dyra lagringsalternativ.
- Tillgången på bränslen är just nu mycket begränsad. Detta beror framför allt på avsaknaden av standarder inom tillverkning, distribution och användning, vilket har gjort att utvecklingen inom detta område inte har tagit fart ännu.
- Livslängden på dagens bränsleceller är för närvarande inte tillräcklig för marknadens behov.
- En del av dagens bränsleceller är för tillfället mekaniskt instabila, vilket innebär att cellen är känslig för bland annat vibrationer. I situationer då cellen utsätts för vibrationer finns det därför en risk att cellen förstörs eller att cellens livslängd förkortas.
- Då bränslecellen i nuläget fortfarande är i utvecklingsstadiet, så blir produktionen av bränsleceller dyr. En anledning till detta är att de antingen innehåller ädelmetaller, som platina, eller så kräver bränslecellen komplex och dyr BoP för att fungera.

Bränslecellstekniken är en mycket lovande teknik men med de problem som finns just nu, behöver tekniken utvecklas ytterligare innan den kommer att få ett ordentligt genomslag i Försvarmakten. Som framgår av slutsatserna krävs det att standarder för bränslehantering utvecklas, livslängden på cellen ökar, cellstabiliteten ökar och kostnaderna reduceras genom att cell och BoP kostnader reduceras. Först då tror jag att vi kan se en framtid för bränsleceller i Försvarmakten och början på att nyttja vätgas, som en alternativ energikälla för Försvarmakten.

## ***6.2 Förslag till fortsatt forskning***

Detta finns i skrivande stund goda möjligheter till fortsatt forskning inom bränslecellområdet. En möjlighet till fortsatt forskning skulle vara att gå djupare in i detalj på någon specifik bränslecellprincip eller att titta på de övriga principer som inte tagits upp i denna avhandling. Ett annat område som också kräver vidare forskning är bränsletillverkning samt bränslehantering för bränsleceller där tillverkning, distribution och användning avhandlas och hur dessa eventuellt skulle kunna implementeras på den civila och militära marknaden i framtiden.

## 7. Sammanfattning

Syftet med denna uppsats är att identifiera bränslecellsteknikens aktuella teknikstatus och identifiera om den aktuella teknikmognaden är tillräcklig för att bränsleceller skall kunna införas i Försvarsmakten. Frågeställningen för denna uppsats är följande: Kan vätgas och bränsleceller användas som en alternativ energikälla inom Försvarsmakten?

Denna uppsats bygger på studier av litteratur och rapporter från tidigare forskning inom bränsleceller. Med hjälp av faktastudierna har sedan ett prediktivt svar på frågeställningen erhållits. Svaret jag kommit fram till är att teknikmognaden fortfarande är för låg för att bränsleceller skall kunna användas inom Försvarsmakten.

I uppsatsen har en del för- och nackdelar med bränslecellstekniken identifierats och det är sedan dessa som resulterat i ett svar på frågeställningen. Några av de för- och nackdelar som identifierats är som följer:

### Fördelar

- Hög verkningsgrad
- Hög energitäthet
- Bränsleflexibel
- Miljövänlig
- Låg IR-signatur
- Låg ljudvolym

### Nackdelar

- Korta livslängd på bränslecellen.
- Viss mekaniska instabilitet hos vissa typer av bränsleceller, vilket kan vara en nackdel i hårda miljöer.
- Höga kostnader då systemen innehåller ädelmetaller eller komplexa reformeringssystem.
- Avsaknaden av standarder för tillverkning, distribution och användning av bränslen.

Resultatet av denna uppsats visar att bränslecellstekniken har utvecklats mycket sedan den upptäcktes år 1839. Dock är tekniken ännu inte tillräckligt mogen för att lanseras i stor skala inom Försvarsmakten. Detta då de nackdelar som finns i nuläget överväger de fördelar som finns för att en användning skulle vara intressant för Försvarsmakten.

Troligtvis kommer vi inte att se bränsleceller i någon större skala inom Försvarsmakten förrän dessa teknikproblem fått en lösning. Först när dessa problem fått en lösning är tekniken en riktigt stark kandidat till att ersätta dagens energialternativ och skulle till och med mycket väl kunna konkurrera ut dagens övriga och befintliga energialternativ. Bränslecellen skulle därför kunna vara en framtida lösning på de energiproblem som finns inom både det civila och militära energiområdet.

## 8. Referenser

### 8.1 Tryckta källor

Ejvegård, Rolf, *Vetenskaplig metod*, Studentlitteratur, Lund, 2003.

Försvarsmakten, *Doktrin för markoperationer*, 2005 års utgåva, HKV, Stockholm, 2005.

Larminie, James & Dicks, Andrew, *Fuel cell systems explained*, 2. ed., Wiley, Chichester, 2003.

Macfie, Dougald, *Vätgas och bränsleceller: Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2002.

Sammes, Nigel M. (red.), *Fuel cell technology: reaching towards commercialization*, Springer, Berlin, 2005.

Svenska Akademien, *Svenska Akademiens ordlista över svenska språket*, 13:e upplagan, Norstedts Akademiska Förlag, Stockholm, 2006.

Thurén, Torsten, *Vetenskapsteori för nybörjare*, Liber AB, Stockholm, 1991.

### 8.2 Internet

Hydrogen Filling Stations Worldwide, <http://www.h2stations.org>

Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se>

### 8.3 Övriga källor

Axelsson, Lennart, *Modularitet*, IML, Stockholm 2008-05-27.

Eidefeldt, Curt, Prisell, Erik, *FMV FuelCell Technology Program*, FMV, Stockholm, 2009-01-21.

Hedström, Lars, Holmström, Nicklas, Saxe, Maria, *Experiences and results from the SOFC system in GlashusEtt*, KTH, Stockholm, 2009-01-21.

Karlström, Magnus, *Vätgasinfrastruktur för bränsleceller*, Vätgas Sverige, Stockholm, 2009-01-21.

Lagergren, Carina, Lindbergh, Göran, *Smältkarbonatbränslecellen (MCFC) - teknikläget och framåtblick*, KTH, Stockholm 2009-01-21.

Mortensgaard, Aksel, *Varför är bränslecellutvecklingen så framgångsrik i Danmark? Vad är hemligheten?*, Energistyrelsen i Danmark, Stockholm, 2009-01-21.

Pohl, Hans, Selimovic, Azra, Bodén, Andreas, *Bränsleceller för vägfordon 2008*, VINNOVA & VOLVO, Stockholm 2009-01-21.

Ridell, Bengt, *EU program för bränsleceller FCH JTI*, Grontmij AB, Stockholm, 2009-01-21.

Ridell, Bengt, Rissanen, Markku, *BRÄNSLECELLER – 2/05 Elforsk projekt 2284*, Elforsk AB, Stockholm, 2005.

Wahlund, Bertil, *Teknikbevakning av bränslecellsområdet under 2009*, Elforsk, Stockholm 2009-01-21.

Wengelin, Daniel, *Industrins visioner och mål med modularitet*, SAAB Systems, Stockholm 2008-05-27.

Wreland Lindström, Rakel, Lindbergh, Göran, *Teknikläget för PEFC och framåtblickar*, KTH, Stockholm 2009-01-21.