

Gunnar Gunnarsson

## Bärbara strömkällor för framtidens soldat



*Grafik Martin Ek*

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Totalförsvarets forskningsinstitut - FOI

Avdelningen för Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1396--SE

Januari 2005

ISSN 1650-1942

**Teknisk rapport**

Gunnar Gunnarsson

## Bärbara strömkällor för framtidens soldat

<b>Utgivare</b>  Totalförsvarets forskningsinstitut - FOI Avdelningen för Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISSN</b> FOI-R--1396--SE	<b>Klassificering</b> Teknisk rapport
	<b>Forskningsområde</b> 4 Spaning och ledning	
	<b>Månad, år</b> Januari 2005	<b>Projektnummer</b> I 708
	<b>Delområde</b> 41 Ledning med samband	
<b>Författare/redaktör</b> Gunnar Gunnarsson	<b>Projektledare</b> Gunnar Gunnarsson	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FMV	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Gunnar Gunnarsson	
<b>Rapportens titel</b> Bärbara strömkällor för framtidens soldat		
<b>Sammanfattning</b> Rapporten beskriver de i dag tillgängliga och i nära framtid möjliga strömkällor för framtidens soldat: batterier och alternativa strömkällor. Fördelar och nackdelar redovisas i löpande text. Faktorer som påverkar val av strömkälla diskuteras också i bilaga 2. Rekommendationer och slutsatser om ”bästa val” kan inte göras utan kännedom om enskilda objekts energiförsörjning, soldatens uppdrag och påverkande miljöfaktorer.		
<b>Nyckelord</b> Strömförsörjning, Laddning, Batterier, Alternativa strömkällor, Bränslecell		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
	<b>Antal sidor:</b> 37	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Sekretess</b>	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISSN</b> FOI-R--1396--SE	<b>Report type</b> Technical report
	<b>Research area code</b> C4ISR	
	<b>Month year</b> January 2005	<b>Project no.</b> I 708
	<b>Sub area code</b> C4I	
<b>Author/s (editor/s)</b> Gunnar Gunnarsson	<b>Project manager</b> Gunnar Gunnarsson	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Defence Materials Administration	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Gunnar Gunnarsson	
<b>Report title</b> Portable Power Sources for a single soldier		
<b>Abstract</b> <p>The report describes today available or in the near future possible power sources, suited for a single soldier: batteries and alternative power sources. Advantages and disadvantages is currently discussed. Factors influencing the choice of power source is further discussed in Appendix 2. Conclusions and recommendations of “best choice” can not be done without knowledge of the power demand of the equipment, the soldiers mission and climate influence.</p>		
<b>Keywords</b> Power Supply, Charging, Batteries, Alternative Power Sources, Fuel Cell		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 37	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

## INNEHÅLL

Inledning .....	5
-----------------	---

### BATTERIER

Engångsbatterier, Laddbara batterier, Batteriladdning .....	5
---	---

Ultrakondensatorer .....	10
--------------------------	----

ENERGIOMVANDLING .....	11
------------------------	----

### ALTERNATIVA STRÖMKÄLLOR

Solceller .....	12
-----------------	----

Termogeneratorer .....	13
------------------------	----

Radioisotope Thermoelectric Generator .....	15
---	----

Thermophotovoltaic energy conversion .....	15
--	----

Motordrivna minielverk/mikroelverk .....	16
--	----

Bränsleceller .....	17
---------------------	----

Litteratur .....	22
------------------	----

### BILAGOR

Bilaga 1. Strömförsörjningen, ett sannolikt problemområde för framtidens soldat .....	23
---	----

Bilaga 2. Faktorer som påverkar val av strömkälla .....	25
---	----

OH - bilder .....	29
-------------------	----

## Bärbara strömkällor

### Inledning

Morgondagens soldat ska kunna operera ”Avsuttet”, som enskild soldat eller i små grupper, under olika lång tid. Strömförsörjningen kommer att vara gränssättande för soldatens förmåga att vara tillgänglig i nätverket och för möjligheterna att uppnå de fördelar som mörkerutrustning och orienteringsutrustning medger.

Energieffektivisering hos alla de elektroniska apparater som soldaten medför och soldatens förmåga att välja rätt batteri, samt förmågan att tillvarata andra möjligheter till strömförsörjning, kommer att vara avgörande för om ett uppdrag kan genomföras eller ej.

Nya typer av engångsbatterier och laddbara batterier kommer att finnas i framtiden. Energiinnehållet i de nya typerna av batterier kommer att vara större än i de äldre typerna, men det finns även nackdelar med de nya batterierna.

### ENGÅNGSBATTERIER

Engångsbatterier har goda lagringsegenskaper. De har en låg/obetydlig självurladdning jämfört med laddbara batterier. De flesta engångsbatterier har stort energiinnehåll, uttryckt både i Wh/kg eller Wh/liter. De flesta har större energiinnehåll än laddbara batterier - men fungerar oftast optimalt bara vid små eller måttliga strömuttag/effekter. Litium/svaveldioxidbatteriet (Li/SO<sub>2</sub>) är ett undantag. Det kan avge stora strömmar/effekter, även vid låga temperaturer, och används därför i militära radioapparater. I Irakkriget 2003, använde amerikanska marinsoldater *så gott som uteslutande* engångsbatterier av denna typ.

### Alkalinebatterier

Alkalinebatterier används i svenska försvaret. De har goda lagringsegenskaper. De kan användas då kraven på strömuttag och funktion i kyla är måttliga. Alkalinebatterier är ”kostnadseffektiva” och används därför ofta i konsumentprodukter, trots att andra alternativ finns. Battericellerna är alltid på cylindrisk form. (I handeln förekommer även uttrycket ”Alkaliska batterier”, för denna batterityp.)

*Elektrolyten i batterierna är frätande och korrosiv. Djupt urladdade batterier är särskilt läckningsbenägna.*

### Litiumbatterier

Litiumbatterier av högeffekttyp har *mycket goda* lagringsegenskaper. De har ett *stort* "temperaturfönster", d.v.s. de fungerar väl i både låg och hög temperatur. Kostnaden för denna typ av batterier är dock *hög*. De är 5 - 6 gånger dyrare än alkaliebatterier, räknat per kWh. Även stormakten använder av kostnadsskäl numera laddbara batterier i så stor utsträckning som möjligt. Litiumbatterier finns både i en platt, lättpackad påseform (pouch) och på cylindrisk form.

*Litiumbatterier är de mest explosionsbenägna av alla batterier. Felanvändning eller kraftig mekanisk påverkan kan utlösa en explosion.*



*Litium engångsbatteripack med påsebatterier (pouch) tar liten plats och väger mindre än batterier på cylindrisk form*

### Zink-luftbatterier

Metall-luftbatteriet, med aluminium, har det teoretiskt sett största energiinnehållet av alla batterityper. Aluminiumbatterierna befinner sig dock ännu på utvecklingsnivå. Zink-luftbatterier, har det största energiinnehållet av alla batterier, som är kommersiellt tillgängliga. I förslutet lufttätt skick, kan de förvaras 2 - 3 år. I öppnat skick är hållbarheten begränsad till några få månader. Zink-luftbatterier användes enligt uppgift i Irakkriget, 2003. Man har stor frihet vid utformning av detta batteri. Det förekommer i dag som knappcell till hörapparater, i ett mycket platt utförande som reservbatteri till mobiltelefon, i "chokladkakeform", på cylindrisk form - och i lådform. Den platta, tunna modellen är fördelaktig, eftersom luften lätt får tillträde. För att få ut stor effekt från ett lådformat batteri krävs fläkt.

*De Zink-luftbatterier som finns tillgängliga i dag påverkas negativt av kyla, hög luftfuktighet, höga halter av koldioxid, CO<sub>2</sub>, och av koloxid, CO.*

*-Utvecklingsarbete för att öka temperaturlågheten pågår.*

De engångsbatterier som kommer att vara aktuella under den närmaste framtiden, för radioapparater, är Alkaliebatterier, Litiumbatterier och Zink-luftbatterier.



*Ryggsäckanpassat Zink-luft engångsbatteri för laddning av de ordinarie batterierna, eller för direktdrift av strömförbrukare.*

### **LADDBARA BATTERIER**

De gamla typerna av batterier, Blybatterier och Nickel/kadmiumbatterier, har många goda "fältmässiga" egenskaper. De har lång livslängd, De kan förrådshållas lång tid, 10 - 15 år, med förhållandevis enkla underhållsrutiner. Nickel/kadmiumbatterier, NiCd, kan snabbbladdas, och både Bly och Nickel/kadmiumbatterier kan avge *mycket stor* ström/effekt, även i vinterkyla. Man använder begreppet "Effekttäthet", uttagbar effekt per viktsenhet, W/kg. Effekttäthet kan även uttryckas i W/liter. Blybatterierna förekommer oftast i lådform, NiCd-batteri-cellerna på cylindrisk form. Båda batterityperna är dåligt miljöval. Det låga energiinnehållet gör att man försöker att ersätta dem med nya typer av batterier med större energiinnehåll. Man får dock ofta den önskade egenskapen till priset av en försämring av de fältmässiga och totalekonomiska egenskaperna.

### **Li-jonbatterier**

Li-jonbatterier har *kort* livslängd, 3 - 5 år, *oavsett om man använder dem eller ej*. Batterier av Litiumtyp kan *ej* snabbbladdas. Li-jonbatterierna självurladdar påtagligt mycket snabbare vid höga temperaturer. "Vanliga" Li-jonbatterier av konsumenttyp kan *ej* framgångsrikt laddas i temperaturer under 0 grader C. Utprovning av mera köldtåliga batterier ska utföras i Sverige vintern 2004/2005. Li-jonbatteriet finns både i en platt, lättpackad påseform (pouch), prismatisk form och på cylindrisk form.

### **Li-polymerbatterier**

Li-polymerbatterier har något sämre prestanda än Li-jonbatterier. Man har *mycket stor* frihet vid utformning av detta batteri. Det kan göras platt och långsmalt, t. ex. för att passa in i ett ledigt utrymme i en mobiltelefon. Det kan även utföras i böjd form.

*Litiumbatterier är de mest explosionsbenägna av alla batterier. Felanvändning eller kraftig mekanisk påverkan kan utlösa en explosion. Litium i fri form kan förekomma i batterier som använts länge. Litium reagerar häftigt vid kontakt med vatten eller fukt och är brandfarligt.*



**Nickel/metallhydridbatterier**

Nickel/metallhydridbatterier, NiMH, används i många civila tillämpningar och är en bekant batterityp för många. Redan för flera år sedan beslöt man dock både i amerikanska armén och i svenska försvaret att "hoppa över" det utvecklingssteg som NiMH-batterierna utgör, och i stället gå direkt på Li-jonbatterier, som anses ha en större utvecklingspotential. NiMH-batterier av konsumenttyp kan ej laddas i temperaturer över + 40 grader C. NiMH-batterier självladdar också påtagligt snabbare än NiCd-batterier och blybatterier. NiMH-batterier förekommer i cylindrisk och prismatisk form.

*Bly, kadmium och kvicksilver är giftigt. Kvicksilverföreningar och kadmiumföreningar kan ge allvarliga och livshotande effekter redan efter några timmar/något dygn. Förgiftningsskador förorsakade av dessa tungmetaller kan medföra ökad risk för cancer och kan också ge bestående skador på nerver och lungor ( Se SKYDDSBLAD Nr. 131, 69, 68 från Kemikontoret i samverkan med ARBETARSKYDDSTYRELSEN )*

**Jämförelse laddbara batterier och engångsbatterier**

Batterityp	Energitäthet Wh/kg	Effekttäthet W/kg
NiCd-batterier till Ra 195	35	Mycket stor
Blybatteri, sluten modell	50	Mycket stor
Amerikanska militära NiCd-batterier	50	Mycket stor
Laddningsbara Li-jonbatterier	100	Stor
Laddningsbara Li-polymerbatterier	90 -100	Stor
Engångs Alkalinebatterier	100	Liten
Engångs högeffekt Litiumbatterier	200	Stor
Engångs Zink-luftbatterier	350	Liten

En kilowattimme producerad med engångs högeffekt Litumbatteri kostar 10 000 kr.  
 En kilowattimme producerad med engångs Alkalinebatteri kostar 2000 kr.  
 ( Kostnaden beräknad vid inköp av litet antal batterier. )

**När batteriet nått slutanvändaren är totala kostnaden *tre* gånger inköpspriset. (US Army)**

### Laddbara batterier, egenskaper

	Energi- innehåll Wh/kg	Snabbladdning/ laddningstid timmar	Temperatur- tålighet Både vid användning <i>och</i> laddning Låg/hög temp	Livslängd år/antal laddcykler
NiCd nuvarande militära svenska radiobatterier	35	Ja/1,5 - 14	Ja/Ja	15/300 - 500
Bly sluten modell	50	Nej/5 - 10	Ja/Ja	15/200 - 300
NiCd kommersiell variant	50	Ja/1,5 - 14	Ja/Ja	15/300 - 500
NiMH kommersiell variant	70 - 100	Ja/1 - 14	Ja/Nej	3 - 5/300 - 400
Li-jon kommersiell variant	100	Nej/4	Nej/Ja	3 - 5/300
Li-jon kommande militär variant?*	100?	Nej/4	Ja/Nej	?
Li-polymer civil variant	90 -100	Nej/3 - 5	Nej/Ja	3- 5/300

Anmärkning:

\* Utprovning i Sverige vintern 2004/2005

De laddbara batterier som kommer att vara aktuella under den närmaste framtiden, för radioapparater, är Nickel/kadmiumbatterier, Li-jonbatterier och Li-polymerbatterier.

### **Batteriladdning**

En korrekt/optimalt utförd batteriladdning ger flera fördelar. Den är mer ekonomisk och tidsbesparande. För batteriernas livslängd är det helt avgörande, om laddningen utförs korrekt eller ej. Alla laddbara batteriers livslängd förkortas vid överladdning.

### **Intelligenta/smartha batterier**

Intelligenta batterier kommunicerar med batteriladdaren för bästa resultat.

Ett intelligent batteri kan också kommunicera med användaren, via en LCD display, och tala om laddningsstatus och sannolik återstående livslängd - och föreslå åtgärder. Tekniken finns redan, mer eller mindre utvecklad, både civilt och militärt.

### **”Charging on the move”**

Att på ett enkelt sätt ge soldaten möjlighet att ladda batterier vid förflyttning/transport i trupptransportvagn, stridsbåt, helikopter, etc, är något som man allvarligt arbetar med i stormaktsarméerna. Batteriladdare för placering i fordon, där 6 till 8 soldater kan ansluta sig, finns redan.

### **”Nödladdare” till laddbart batteri**

”Nödladdare” till mobiltelefoner, videokameror, digitalkameror och bilar, finns att tillgå. Engångs Litiumbatterier är de vanligaste, men även Zink-luftbatterier och Alkalinebatterier förekommer.



*Nödladdare för mobiltelefon  
med ett 9V Alkalinebatteri*

### **Ultrakondensatorer, UC/Superkapacitanser**

Ultrakondensatorer är tekniskt och användarmässigt ett mellanting mellan batteri och kondensator. Med Ultrakondensatorer kan man under en kort tid, 0,1 till 2 sekunder, ta ut *extremt stora* strömmar/effekter. Den har *hög* energitäthet, uttryckt i W/kg. Detta ger en möjlighet att förlänga användningen av ett delvis urladdat och svagt batteri vid korta sändningar med en radio. Ultrakondensatorn kopplas in och laddas upp på några sekunder före användning. Med en UC och ett batteri i parallellkoppling, kan man ta ut 10 gånger mera ström/effekt än med batteriet enbart. Ultrakondensatorer för låga spänningar har funnits i flera år. De kallas bland annat för backupkondensator, dubbellagerkondensator, etc. Utvecklingen av tekniken för högre spänningar och effekter är lovande. Flera olika tekniker kan användas, flera firmor arbetar med tekniken.

### ENERGIOMVANDLING

Batterier måste inköpas, förvaras och distribueras till den enskilde soldaten. Batteriladdning eller direktdrift av en strömförbrukare, med hjälp av energiomvandling av ett vanligt förekommande/logistiskt bränsle, med en bärbar energiomvandlare, kan vara ett alternativ, särskilt vid flerdygnsuppdrag. Energitätheten, volymmässigt och viktmässigt, är dramatiskt mycket större i brännbara ämnen än i varje typ av batteri.

### Jämförelse energitäthet, Wh/kg, för batterier och brännbara ämnen

Batterityp/Brännbart ämne	Energitäthet Wh/kg
NiCd-batterier till Ra 195	35
Amerikanska militära NiCd-batterier	50
Laddningsbara Li-jonbatterier	100
Engångs Alkalinebatterier	100
Engångs Litiumbatterier	200
Engångs Zink-luft-batterier	350
Vätgas	33 000
Fotogen, Bensin, Gasol, m. fl. kolväten	<b>12 000</b>
Etanol/T-sprit	<b>8 000</b>
Metanol/Träsprit	<b>6 000</b>
Torr ved	4 000

Exempel: Hur stor verkningsgrad behövs vid omvandling av 1 kg bensin till elektricitet, för att få samma resultat som man får med 1kg engångs Litiumbatteri?

$$200/12000 = 1,67 \%$$

Ett kilo engångs Litiumbatteri kostar 2000 kr.

Ett kilo bensin kostar 10 kr.

### ALTERNATIVA STRÖMKÄLLOR

För soldater på flerdygnsuppdrag, utan tillgång till stödplattform, skulle en "Alternativ bärbar Strömkälla", som drivs med solljus eller med ett lättillgängligt, logistiskt bränsle, sprit, bensin, dieselolja - eller ved, kunna öka uthålligheten. Det som man närmast tänker på när det gäller möjlig bärbar utrustning, en "Alternativ Strömkälla", är solceller eller någon form av bränslecell.

Fler möjligheter har dock varit aktuella under arbetet med "Den Nya Soldaten", "Land Warrior" och "Future Warrior". Amerikanska försvaret uppmuntrade många universitet och firmor att peka på vad just deras energiomvandlingsteknik var värd, och hur den kunde utvecklas, eller modifieras, för att passa soldaten.

**Solceller/Photovoltaic energy conversion, PV**

Mer än 100 tillverkare av solceller har ett stort utbud för olika behov:

Robusta solceller för användning på segelbåtar, lätttransporterbara, hopvikbara, lämpliga för placering på kläder o.s.v. Åtskilliga tusen enheter användes i Gulfkriget 1991.

Forskningen är främst inriktad på att få fram billigare kiselceller med högre verkningsgrad. Verkningsgrader på över 15% är möjliga. Man brukar räkna med 1W/dm<sup>2</sup> vid klart väder och med rätt orientering av solcellerna. Med ljuskoncentrering, med billiga plastlinser eller med en reflektor, kan resultaten ytterligare förbättras.

Ljuset från en låga, en glödstrumpelampa, eller liknande, kan användas för att driva vanliga solceller. Bättre resultat får man dock med anpassade ”solceller”, som tillgodogör sig den långvågiga IR-strålningen från ljuskällan. (Se även Thermophotovoltaic energy conversion, TPV, nedan )



*Bärbar  
solcellsutrustning,  
15W/12V*



*Solcellsladdare till mobiltelefon*

### Termogenerator/Thermoelectric Generator, TEG

TEG är en känd och sedan länge använd teknik. Eftersom det är en värme-till-el-teknik kan alla bränslen användas.

F:a Global Thermoelectric, Kanada, tillverkar tillförlitliga strömkällor med blytelluridmoduler för användning på "avlägsna platser". De är luftkylda och drivs med propangas, som fungerar även vid låga temperaturer. De finns i storlekar från 15 W till 550W. Den lättaste väger 20 kg. Den tyngsta väger 102 kg. Servicebehovet är litet, en till två timmar per år. Sannolika livslängden är ca 15 år. Se <http://www.globalte.com/specs.htm>

GW Industries i San Diego, USA, tillverkar en fotogenlampa med TEG-tillsats, som ger 0,4W/3V, tillräckligt för att driva en enkel radiomottagare. Produkten är främst avsedd för användning i utvecklingsländer.



*Luftkyld TEG-fotogenlampa, effekt 0,4W/3V  
Pris 1000 kronor för fotogenlampa  
och TEG-tillsats*

En bärbar luftkyld TEG avsedd för soldaten konstrueras på uppdrag av FMV under 2004 av FOI i samarbete med Termo-Gen AB. Vikt 1 kg, uteffekt 0,5W/12V.

På FOI har fyra fungerande termogeneratorkastruller med vismuttellurid-moduler byggts. Med fyra termogeneratormoduler får man direkt, och utan användning av DC/DC-omvandlare, användbara spänningar. Bästa resultat 15,6W/12 eller 24V. Den lättaste väger 1,2 kg och ger 4W/6 eller 12V. Vid försöken har svenska campingkök använts, med sprit, bensin, fotogen och gasol som bränsle. Även med förbränning på sparlåga eller med vanliga stearinljus, får man användbara spänningar. För den kommersiella utvecklingen av produkten ansvarar Termo-Gen AB, Gotland.

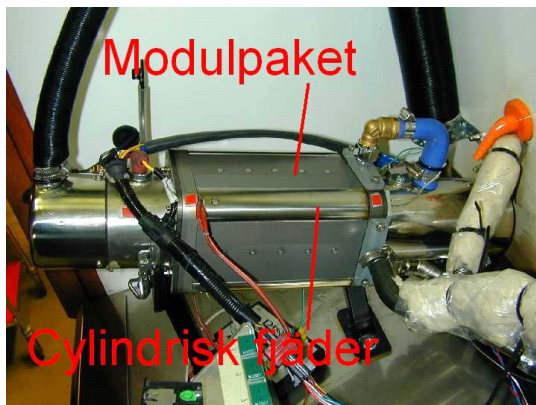
( I FOI-rapporten "Modifiering och Mätningar/studie av termogeneratorutrustning för enskild soldat" FOI-R- - 0610- -SE Oktober 2002 ISSN 1650-1942 finns mer om FOI's TEG-kastruller )



*Campingköksanpassad TEG-kastrull  
4W/6 eller 12V, vikt 1,2 kg  
Kastrullen ryms i det hoppackade  
campingköket tillsammans med den  
ordinarie kokutrustningen*

Volvo med samarbetspartners arbetade under några år med en motorvärmare med termogeneratorer, som efter start strömförsörjer sig själv. Den senaste varianten med vismuttelligurid-moduler gav 100W bruttoeffekt, vilket gott och väl räcker till för värmarens kringutrustning. Överskottet skulle kunna användas för batteriladdning, eller för direkt drift av strömförbrukare. Idén förs nu vidare av Termo-Gen AB.

Se <http://www.termo-gen.se/index.htm>



*En ARDIC motorvärmare med  
TEG-tillsats*

F:ra Hi-Z, Ca, USA, som tillverkar vismuttelliguridmoduler, har fått ett uppdrag av U S Army, TACOM, Picatinny Arsenal, att tillverka ett antal luftkylda TEG-prototyper i området 300mW till 40W, i första hand för användning i fordon. Utvecklingsarbetet utfördes under åren 2000 - 2002. Se <http://www.hi-z.com/index.html> för firmans övriga TEG-tillämpningar.

Termogeneratorsystem finns i området 10 mikrowatt till 10kW. TEG-utrustning upp till 7 kW används, och har använts av olje-och gasindustrin i Alaska, Sibirien och på oljeplattformar till havs.

Verkningsgraden för en standard-TEG-modul är låg, 4,5%. Termogeneratormoduler med högre verkningsgrad finns idag, men är dyra. Utveckling av billiga moduler, med 2 till 3 gånger högre verkningsgrad, bland annat med hjälp av nanoteknik, pågår. KTH är samordnare för ett EU-projekt på området.

Fördelar och nackdelar med termogeneratorer som strömkälla

- + Robusthet, eftersom förbränningsprocessen och de elproducerande modulerna är skilda åt.
- + Alla brännbara ämnen kan användas, fasta, flytande eller gasformiga.
- + Förbränningsprocessens hastighet är ej kritisk.
- + Lång sannolik livslängd för termogeneratormodulerna.
- + TEG ger perfekt ”glättad” likström som efter spänningsstabilisering väl lämpar sig för drift av elektronisk utrustning.
- Låg verkningsgrad med användning av standardmoduler.
- De moduler med hög verkningsgrad, som nu finns, är dyra.

### **Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG**

F:a Biapos i Ryssland tillverkar RTG för måttliga effekter, upp till 20W. Eftersom enheten är helt sluten passar den bra för användning i rymden, på havsbotten eller som strömkälla på ”avlägsna platser”. Livslängden är 10 till 20 år. I det amerikanska rymdprogrammet används RTG´s för färder långt ut i solsystemet. Rymdsonden ”Cassini” som anlände till Saturnus i Juni 2004 efter 7 års resa, får sin strömförsörjning, ca 600W, med RTG´s. Mini-RTG´s används som strömkälla i ”pacemakers”.

### **Thermophotovoltaic energy conversion, TPV**

TPV har använts främst i rymden, med radioisotopisk värmekälla. Intresset för denna teknik har varit stort på universitet och högskolor under lång tid. Verkningsgraden för TPV-celler är hög, över 20%. Systemverkningsgraden blir dock betydligt lägre, eftersom kylningen av cellerna tar mycket energi. Ett litet antal demonstratorer har byggts, men ännu ingen som är anpassad för soldaten.

F:a JX Crystals tillverkar en gasoleldad TPV-kamin, som ger 100W/12V. De använder TPV-celler av galliumantimonid, GaSb, som också tillgodogör sig den långvågiga IR-strålningen från ljuskällan. Flera andra användbara typer av TPV-celler finns, men för närvarande är det bara celler av galliumantimonid som är kommersiellt tillgängliga.

<http://www.jxcrystals.com/>

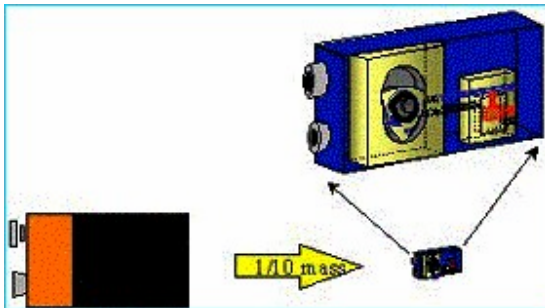


### **Alkali Metal Thermal to Electric Conversion, AMTEC**

AMTEC är en ung teknik, bara 20 år, som med framgång använts i rymden med radioisotopisk värmekälla. Man arbetar för att anpassa den till markförhållanden. AMTEC kräver avsevärt högre temperaturer än TEG och RTG, över 1000 grader C på den heta sidan. Värmeåtervinning kommer att bli en nödvändighet för att uppnå en godtagbar verkningsgrad vid förbränning med vanliga bränslen.

### **Motordrivna minielverk/mikroelverk**

Under 2001 och 2002 fick forskningsresultat från Massachusetts Institute of Technology, MIT, och Berkeleyuniversitetet stor uppmärksamhet. Extremt små turbiner och Wankelmotorer, i millimeter - eller centimeterstorlek, kopplade till en ny typ av elektrostatisk generator, skulle kunna ge stor effekt och hög verkningsgrad på en mycket liten volym och vikt. Man förutsåg möjliga prestanda väl över vad en bränslecell kan prestera - och långt utöver vad som är möjligt med batteriteknik. Material och tillverkningsmetoder skulle kunna ge masstillverkningsfördelar av den typ som vi känner från elektronikutvecklingen. De inledande framgångarna följdes ej av fortsatta framgångar. Det valda kiselmaterialiet i motorerna, står ej emot värmeutvecklingen. Man fick mycket korta livslängder, bara några få sekunder. Kiselkarbid skulle vara ett bättre materialval, men kan ej bearbetas på samma sätt som kisel. Utveckling av tekniken till en färdig produkt kommer sannolikt att ta 10 till 20 år.



*Minielverk med Wankelmotor och bränsletank, med ytermått som ett 9V batteri, enligt en idé från Berkeleyuniversitetet*

**Bränsleceller**

En bränslecell påminner till funktionen om ett batteri, likström produceras direkt från kemisk energi utan några mellanled. När batteriet förbrukat sin kemiska energi, ersätts det med ett nytt. Bränslecellen arbetar så länge som bränsle och luft/syre tillförs.

**Bränsleceller av högtemperaturtyp, över 200 grader C:**

Phosphor Acid Fuel Cell, PAFC, och Solid Oxide Fuel Cell, SOFC.

Ca 200 stationära bränsleceller i storleken 100kW och större har långtidsprovats på flera platser i världen, även i Sverige. Vattenfall har provat två PAFC-bränsleceller i en hotellbyggnad i Varberg. Den senaste utvecklade 200kW el och 150kW värme. Den drevs med naturgas som omvandlas till vätgas i en reformer. Proven föll ut väl, och avslutades 2001. Reformern visade sig vara den svagaste länken. Rapporter finns på Internet. Se [http://www.vattenfall.se/om\\_vattenfall/var\\_verksamhet/forskning\\_och\\_utveckling/minikraft/bransleceller.asp](http://www.vattenfall.se/om_vattenfall/var_verksamhet/forskning_och_utveckling/minikraft/bransleceller.asp) m. fl.

**Solid Oxide Fuel Cell, SOFC**

SOFC-enheter utvecklas nu även i mindre storlekar, för ett bostadshus behov, eller för ett fordon. Biltillverkaren BMW och Delphi Automotive Systems arbetar med anpassningen av bränslecellen till personbilar eller fordon med en konstant och hög strömförbrukning, t. ex. för luftkonditionering. Man kallar strömförsörjningsenheten för Auxiliary Power Unit, APU. Serieproduktion var planerad för år 2003. Lämpliga bränslen är naturgas, propan eller bensin, som sönderdelas i en konventionell hetvattenreformer till vätgas. SOFC-cellens känslighet för naturligt förekommande föroreningar, typ koloxid, är låg. Kraven på reformern och den efterföljande filtreringen av vätgasen är därför måttliga.

SOFC-cellen har den högsta arbetstemperaturen av alla bränsleceller, ca 1000 grader C. Uppstarttiden är därför relativt lång. En konventionell hetvattenreformer har också en lång uppvärmningstid. För att den sammanlagda starttiden för ett Reformert - SOFC - system ej ska bli orimligt lång brukar man därför ha en mellanlagring av väte till bränslecellen.

Den höga arbetstemperaturen ger materialproblem och kort livslängd. Under senare år, 2000 - 2004, har man arbetat för att få SOFC-cellen att fungera vid lägre temperaturer, 600 till 800 grader C.

**Bränsleceller av lågtemperaturtyp, under 100 grader C:**

Proton Exchange Membran Fuel Cell, PEMFC, och Direct Methanol Fuel Cell, DMFC.

PEMFC är den mest kända och tillämpade för användning i bilar och bussar. Stötstenen är att vätgas är det enda lämpliga bränslet. Med en reformer kan man relativt enkelt framställa vätgas av naturgas och metanol. Även andra brännbara ämnen, bensin och liknande, kan användas. Kraven på reformern och efterföljande filtrering blir då stora, eftersom PEM - cellen är mycket känslig för föroreningar.

Fältförsök har utförts med bärbara PEMFC's med vätgas och syrgas i behållare. Lösningen som sådan är robust och fältmässig, men att framställa vätgas och syrgas under fältmässiga förhållanden har visat sig svårare. Intresset för den typen av lösningar har påtagligt minskat efter år 2000.



*Bärbar PEMFC med syrgas och vätgas i behållare under högt tryck. Bränslecellen kan avge stor effekt, 200W eller mer. Fältprov har utförts med ett antal exemplar på Fort Bragg. Leverantören, ElectroChem Inc, ansåg att man kunde ladda om behållarna med en utrustning i en mindre terrängbil på stridsfältet.*

Biltillverkaren TOYOTA avsåg 2001 att utveckla ett särskilt bränsle, Clean Hydrocarbon Fuel, CHF, anpassat till reformern i deras miljöbil, FCHV 5. CHF kommer även att kunna användas i vanliga förbränningsmotorer och borde därför kunna passa i det ordinarie distributionssystemet av motorbränslen.

*Den klassiska hetvattenreformern bör kunna ersättas med en snabb, kompakt, katalytisk reformer, med användning av mikrokanalteknik. Pacific Northwest National Laboratory, PNNL, har fått ett uppdrag att utveckla tekniken. DARPA sponsrar.*

Önskemålet att ersätta vätgaslagringen i trycksatta tankar, i fordon, med en kontinuerlig tillverkning av vätgas i en reformer har funnits länge. Men problemen tycks vara stora. Flera satsningar har gjorts utan att man fått fram en tekniskt - ekonomiskt godtagbar lösning.

Dock rapporterar PNNL 2003 och 2004 framgångar både med den katalytiska reformern och med en liten *snabbstartande* vanlig hetvattenreformers. Med en metanol/vattenblandning erhålles en "vätgasrik" gasblandning, ca 70%. Den koloxid som också medföljer sänker allvarligt funktionen hos en konventionell lågtemperatur - PEMFC. En PEMFC med högre temperatur - och högre koldioxidtolerans, anser man, är den naturligaste vägen att gå för att utnyttja framgångarna med reformertekniken.

En lågtemperatur - PEMFC arbetar vid 25 - 90 grader C. Försök med högtemperatur - PEMFC, 100 till 200 grader C har redovisats. Ju högre temperatur desto bättre koloxidtolerans. Vid högre temperatur blir dock livslängden hos protonutbytesmembranet kortare.

"Vanlig" bensin och dieselolja, från bensinmacken, innehåller tillsatser som är fördelaktiga för förbränningsmotorer, men som är skadliga för en reformer.

### Direct Methanol Fuel Cell, DMFC

Under de senaste åren har förhoppningarna på ett genombrott för DMFC varit stora. Tekniken skulle vara lämplig bl.a. för mobiltelefoner och bärbara professionella videokameror, som drar mycket ström. Den produkt som den tyska firman "Smart Fuel Cell" visade upp på en mäsas i oktober 2001 har fått bra kritik. Serieproduktion och försäljning av enheten har kommit igång. Se <http://www.smartfuelcell.com/de/> och <http://www.fuelcellstore.com/cgi-bin/fuelweb/view=Item/cat=7/product=644>



*Direktmetanolbränslecell, DMFC, från Smart Fuel Cell. Vikt 10 kg inklusive en 2 kg metanolbehållare. Uteffekt 25W. En behållare metanol räcker till 70 till 80 timmars drifttid på full effekt.*



*DMFC för laddning av mobiltelefonbatterier, enligt en idé från Toshiba. Uteffekt 1W. Bränslecellen laddas med 30 g metanolpatroner som ger en drifttid på 20 timmar.*

*PEM-bränslecellen och DM-bränslecellen är mycket känsliga för föroreningar av typ koloxid eller svavel. Koloxiden kan komma från en bensinmotor. Svavlet kan komma från en dieselmotor.*

*PEM-bränslecellen och DM-bränslecellen innehåller rent vatten och kan frysa sönder om de utsätts för frostgrader i avstängt läge.*

PEMFC-och DMFC-system som använder luft från omgivningen avger varm fuktig luft. En DMFC avger dessutom koldioxid, vilket snabbt ger upphov till "tungandad luft" i trånga utrymmen.

I alla bränsleceller, utom Zink-luftbränslecellen, används ädelmetaller, främst platina. Priset för platina är högt och brytvärda fyndigheter finns bara på några få platser i världen.

**Zink-luftbränslecell**

Zink-luftbränslecellen arbetar vid temperaturer obetydligt över rumstemperatur. Tekniken är en vidareutveckling av Zink-luftbatteriet. Den använda zinken kan regenereras och återanvändas.

Energiinnehållet räknat i Wh/kg är många gånger bättre för ett Zink-luft-system än för blybatterier. <http://www.metallicpower.com/technology/index.htm>

*Ett Zink-luft-system påverkas negativt av kyla, hög luftfuktighet, höga halter av koldioxid och koloxid.*

**Bränsleceller, överblick**

Temperatur, grader C	Lämplig för Soldaten eller för Marksensör	Ej lämplig för Soldaten eller Marksensör	Kommentar
1000	<b>SOFC,</b> <b>högtemperatur</b> Fastoxidbränslecell		Lång uppstarttid Lämplig för kontinuerlig drift
600 - 800	<b>SOFC,</b> <b>lågtemperatur</b> Fastoxidbränslecell		Lång uppstarttid Lämplig för kontinuerlig drift
650		<b>MFC</b> Smältkarbonat-bränslecell	På utvecklingsstadiet
200		<b>PAFC</b> Fosforsyrabränslecell	Används i fasta anläggningar
100		<b>AFC</b> Alkalisk bränslecell	<i>Dyr teknik</i> Används i rymden
25 - 90	<b>PEMFC</b> Proton utbytes-membran-bränslecell		Kraftkälla i eldrivna bilar och bussar
25 - 90	<b>DMFC</b> Direktmetanol-bränslecell		Kraftkälla i eldrivna bilar och bussar och i bärbar utrustning
Över omgivnings temperatur	<b>Zink-luft-bränslecell</b>		Kraftkälla i eldrivna miljövänliga fordon

**Bränsleceller, sammanfattning**

Förhoppningarna på bränslecellstekniken har varit stora - och många optimistiska förutsägelser har gjorts under årens lopp, vad gäller egenskaper och tidpunkten när användbara produkter ska kunna finnas tillgängliga på marknaden.

Det stora problemet med bränsleceller, under alla år, har varit den höga kostnaden i förening med kort livslängd. Detta har gjort att det ekonomiska genombrottet låtit vänta på sig. Många fasta demonstratoranläggningar, demonstrationsbilar och bussar har funnits. Men eftersom annan tillgänglig teknik har varit så överlägsen tekniskt-praktiskt-ekonomiskt har det stannat vid - just demonstratorer.

Ett bränslecellsfordon med vätgas som bränsle och luft från omgivningen *är* miljövänligt, och verkningsgraden är hög. Om man använder bensin eller dieselbränsle behövs en reformer. Reformern förbrukar energi, vilket innebär att totalverkningsgraden minskar. Reformern avger dessutom koldioxid och ohälsosamma avgaser.

En konventionell hetvattenreformer arbetar vid 1000 grader C. En katalytisk reformer med platina arbetar vid lägre temperaturer. Den skulle därför kunna passa i en bärbar utrustning. Mycket forskningsarbete återstår innan tekniken kan bli kommersiell. ( Se även sid 17 )

Under 2003 och 2004 har man i massmedia haft en koncentration kring direktmetanol-tekniken, DMFC. Med metanol som bränsle och med luft från omgivningen ska man kunna få en bärbar energikälla med 2 till 4 gånger större energitäthet än vad som är möjligt med Li-jonbatterier. Metanol, har det sagts, ska kunna finnas tillgängligt, i läckningssäkra ampuller, där batterier säljes. Ampullerna ska också kunna uppfylla de stränga regler som gäller för inrikesflyget i USA.

En bränslecell med DMFC-teknik, är principiellt enkel, men även en DMFC-enhet av "enklaste slag" innehåller ett antal stödfunktioner. Förutom själva bränslecellsstacken finns ett startbatteri, bränslepump, fläkt, ett system för vattenhantering, sensorer, och två styrsystem. Efter vad man idag känner till på FOI finns ännu ingen sådan "bärbar" DMFC-produkt som uppfyller rimliga krav på funktion och livslängd.

## Litteratur

FMV's rapport: "Teknisk prognos för teknikområdet Strömförsörjning", Februari 2004. Behandlar bland annat IT-soldatens strömförsörjning.

FMV's hemsida om strömförsörjning: [www.stromforsorjning.info](http://www.stromforsorjning.info)

CD från FMV, Temadag Strömförsörjning, 2002 - 01 - 18

CD från FMV, Temadag Strömförsörjning 19 Mars 2004

Boken "Energy-Efficient Technologies for the Dismounted Soldier", NATIONAL ACADEMY PRESS Washington, D.C. 1977, 266 sidor ges ett samlat grepp över stora delar av området. Boken är fortfarande det bästa som skrivits i ämnet. Den finns även på Internet : <http://books.nap.edu/html/energy/>

"Front End Analysis of Mobile Electric Power Research and Development for the 2015 - 2025 Time Frame" 66 sidor, 35 bilagor, av Herbert L. Hess, PhD, PE Lieutenant Colonel, US Army Reserve; US Army Communication – Electronics Command and Engineering Center Command and Control Systems Directorate Fort Monmouth, New Jersey, 07703, July 2002

Boken "Batteries in a Portable World, a handbook on rechargeable batteries for non-engineers" av Isidor Buchmann Cadex Electronics Inc, 292 sidor. Boken kan beställas från: Cadex Electronics Inc. 22000 Fraserwood Way Richmond, BC Canada V6W 1J6. Cadex är mest känt för sin tillverkning av batteriladdare och batterianalysatorer.

FOI-rapporten "Modifiering och Mätningar/studie av termogeneratorutrustning för enskild soldat" FOI-R- - 0610- -SE Oktober 2002 ISSN 1650-1942

## Bilaga 1

### **Strömförsörjningen, ett sannolikt problemområde för framtidens soldat**

#### **Batterier, tillverkning - leverans**

Under det kalla kriget, hade många stater, även Sverige ett stort försvar, och försvarsmakterna var en stor och betydelsefull marknad för batteriproducenterna. Efter det kalla kriget har försvarsbeställningarna minskat, samtidigt som den civila marknaden för batterier till bärbar utrustning dramatiskt ökat. Marknaden för militära batterier krymper och därmed sjunker också produktionskapaciteten av militära batterier i världen. Produktionen av militära batterier minskar i Europa och USA. De flesta battericeller och batterier tillverkas nu i Fjärran östern, Kina Japan och Korea.

Beredskapstillverkningen av batterier i Sverige i ÖCB's regi har upphört. I dagsläget, under fredstida förhållanden har FMV svårigheter att förse utlandstjänstgörande trupp med batterier. Även stormakterna har problem med batteriförsörjningen. Snabba leveranser är ej längre en möjlighet.

Under IRAK-kriget 2003 fick batterifabrikerna i USA arbeta dygnet runt i 11 dygn för att förse soldaterna med batterier. Logistikansvariga i amerikanska försvaret byggde upp nya transportrutiner. 30 länder "dammsögs" på batterier! Som sämst hade de stridande trupperna i IRAK batterireserver för endast 24 timmars verksamhet. <http://www.nationaldefensemagazine.org/article.cfm?Id=1190>

#### **Konstruktionsrelaterade strömförsörjningsproblem**

40 till 60% av de driftsstörningar som drabbar bärbar utrustning brukar kunna hänföras till strömförsörjningen.

Mobiltelefonstillverkaren Ericsson förlorade kunder - och anseende på grund av batteriproblem under 1990-talet. Man litade länge på batterifabrikernas uppgifter, men man har lärt av erfarenheten och har numera egen batteriexpertis.

Luftförsvarsroboten Rb 70 från Bofors hade länge strömförsörjningsproblem. Även i exportversionen av roboten var strömförsörjningen/batterierna en svag punkt. Så småningom löstes problemen genom att en ny batterityp kom ut på marknaden.

Under Falklandskriget hade britterna felfunktion på flera av sina luftvärnsrobotar på grund av batteriproblem!

I ELEKTRONIKTIDNINGEN n.r 3, 2004 analyserar man strömförsörjningsproblemet och efterlyser ett bättre samarbete mellan elektronikkonstruktörer på elektronikföretagen och leverantörerna av strömförsörjningsutrustningen. "Alla vill ha ström men ingen vill bygga den" är en rubrik i tidningen.



**Medvetenhet och satsningar på strömförsörjning**

I USA identifierade man tidigt strömförsörjningen som ett problemområde för framtidens soldat. I boken "Energy-Efficient Technologies for the Dismounted Soldier" tog man ett samlat grepp över stora delar av området. Boken är fortfarande det bästa som skrivits i ämnet. Den finns även på Internet : <http://books.nap.edu/html/energy/>

Intresset för strömförsörjningsfrågor i USA har varit fortsatt stort, och stora summor och personella resurser har satsas. Även i NATO - länderna har man gjort stora satsningar.

I Sverige har de resurser som avsatts i området strömförsörjning för det framtida försvaret, i allmänhet, och för soldaten i synnerhet varit *anmärkningsvärt små*.

**Bilaga 2****Faktorer som påverkar val av strömkälla****BATTERIER****Röjande IR-signatur**

Batterier som belastas hårt under en längre tid blir varma och avger IR-strålning som avviker från omgivningen.

**Logistik**

I fredstid har FMV's Strömförsörjningsgrupp svårigheter att förse utlandstjänstgörande trupp med batterier. I Irakkriget, 2003, hade Stormakten (USA) påtagliga problem med batteriförsörjningen. Stridande förband använde engångsbatterier. Nu avser man att göra en policyförändring så att även stridande förband ska använda laddbara batterier.

**Lagringsegenskaper**

Litium engångsbatterier av högströmstyp har *mycket goda lagringsegenskaper* De kan förvaras i 10 år, med endast blygsam försämring.  
Laddningsbara Li-jonbatterier åldras snabbt, maximal livslängd med godtagbara prestanda 3 till 5 år.

**Kostnader**

Litium engångsbatterier av högströmstyp är den överlägset bästa strömkällan för kommunikationsradio. Kostnaden är dock *flera gånger större* än för andra alternativ.

**Användbart temperaturområde**

Litium engångsbatterier av högeffekttyp har *mycket goda egenskaper* i både låga och höga temperaturer. Laddningsbara Li-jonbatterier självurladdar påtagligt snabbare vid höga temperaturer. Dagens Li-jonbatterier tar ej laddning på godtagbart sätt vid temperaturer under +6 grader C. Alkalinebatterier och Zink-luftbatterier har starkt nedsatt funktion i vinterkyla.

**Robusthet**

Vanliga slutna battericeller tål dränkning och påverkas ej av förorenad luft.  
Zink-luftbatterier tål ej dränkning och påverkas negativt av förorenad luft.

**Explosionsrisk/brandrisk vid felanvändning**

Litium engångsbatterier och laddbara Litiumbatterier, med stort energiinnehåll, är också de farligaste. Li-jonbatterier får ej snabbaddas på grund av explosionsrisken.

## ALTERNATIVA STRÖMKÄLLOR

### Röjande signatur

Bränsleceller och energiomvandlare med förbränning som arbetar vid temperaturer på 90 grader C eller högre, avger en IR-strålning som avviker från omgivningens. Solcellen har en arbetstemperatur som ligger endast obetydligt över omgivningens temperatur. Den har därför en *låg* IR-signatur - men den blanka ytan ger solreflexer.

### Kan logistiskt, lättillgängligt bränsle användas?

Ex, Termogeneratorer, TEG, är en värme-till-el-teknik, *alla* brännbara ämnen kan användas, fasta, flytande, gasformiga.

### Uppstarttid, tillgänglighet

Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG, arbetar oavbrutet i 10 till 20 år. Solceller startar momentant när de utsätts för ljus. De TEG – tillämpningar som utvecklats på FOI, ger full effekt först 10 minuter efter start. Den ”bärbara” direktmetanolbränslecell, DMFC, som provats av FMV/FOI/Catella Generics har 30 minuters uppstarttid innan den ger full effekt.

### Användbart temperaturområde

Bränsleceller av PEMFC-och DMFC-typ innehåller vatten och kan frysa sönder i avstängt, ej värmeproducerande läge. TEG-tillämpningar med luftkylning reagerar positivt på låga yttertemperaturer.

### Robusthet

Solceller tål att dränkas, de fungerar även under vattenytan. Luftkylda TEG-tillämpningar, med litet servicebehov, för användning ”på avlägsna platser”- och i alla klimat, upp till 4000 meters höjd, har använts i årtionden. Bränsleceller av PEMFC-typ och DMFC-typ, som använder luft från omgivningen, tål ej dränkning och reagerar negativt på luftföroreningar.

### Hälsorisk

Elverk/minielverk med kolvmotor, som drivs med flytande bränslen avger ohälsosamma avgaser. Med gasoldrift, eller med katalytisk efterförbränning får man renare avgaser.

### Vikt, hanterlighet

Den mest utvecklade av de TEG-tillämpningar, som utvecklats på FOI, väger 1,2 kg och ger 4W. Den ”bärbara” direktmetanolbränslecell, DMFC, som provats av FOI och Catella Generics på uppdrag av FMV, väger 10 kg och ger 25W.

### Energitäthet, Wh/kg och Effekttäthet, W/kg

Se tabell på följande sida

## Energitäthet, Effekttäthet

Strömkälla	Vikt för strömkällan  kg	”Energitäthet” (El energiutbyte för bränslet i tillämpningen)  Wh/kg	Effekttäthet för energikällan  W/kg
NiCd-batterier till Ra 195 NiCd-batteri	1 1	35 50	<sup>50-100</sup> 50-100
Engångsbatteri, Li	1	200	50-100
Engångsbatteri Zn-luft	1	350	?
TEG-kastrull från FOI 16W	4*	140 ( Fotogen )	4
TEG-kastrull från FOI 4W	1*	60 ( Fotogen )	4
Bränslecell, DMFC från SFC, 25W	8 (3)**	1200 ( Metanol )	3 (8)
Svenskt militärt elverk, 1200W	100	1200 - 2400 ( bensin )	12
Honda Elverk likström, 300W	8,5	700 ( bensin )	35
Mikroturbinidé från MIT, USA 50 - 100W	0,1	800	500 - 1000

\* Gäller båda prototyperna, lägre vikt med oförändrade prestanda är möjligt.

\*\* Ny produkt, annonserad 2003.

### ”Vikten” av en kWh för olika strömkällor

Strömkälla	Antal kg som åtgår av batteri eller bränsle för 1 kWh	Egenvikt för energi-omvandlaren kg	Totalvikt kg
Zink/luft - batteri	3		3
Engångsbatteri, Li högeffekt	5	-	5
Alkalinebatteri	10 (3)***	-	10 (3)
NiCd-batteri	20	-	20
NiCd-batteri till Ra 195	29	-	29
Bränslecell, DMFC från SFC, 25W	1,2 ( Metanol )	8 (3)**	9 (4)
Honda Elverk, likström, 300W, ”EX 350”	1,4 ( bensin )	8,5	10
TEG-kastrull från FOI 16W	7,1 ( Fotogen )	4*	11
TEG-kastrull från FOI 4W	16,7 ( Fotogen )	1*	17
Mikroturbinidé från MIT 50 - 100W	1,2 (vätgas, gasol?)	0,1	1,3

\* Gäller båda prototyperna, lägre vikt med oförändrade prestanda är möjligt.

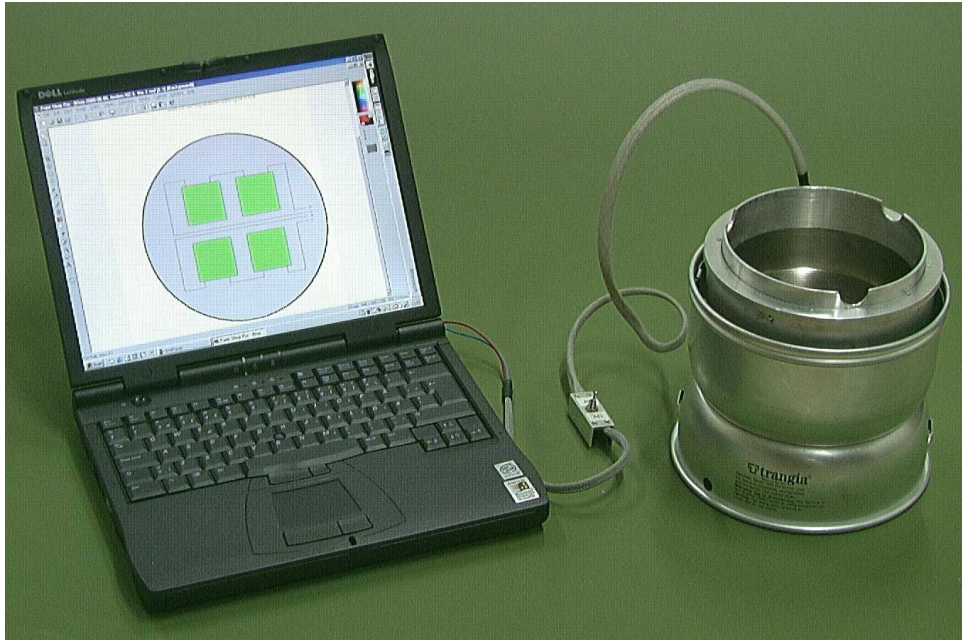
\*\* Ny produkt, annonserad 2003.

\*\*\* Ny civil produkt, Nickel/Zink, på marknaden 2004.

**FOI**

Defence Research  
Establishment, Sweden

FOA  
thermoelectric  
**Battery Charger**



in  
a smart  
**All in one Pack**



for the off-grid man

**FOA**

Defence Research  
Establishment, Sweden

**FOA Battery Charger with four Hi-Z HZ-2-modules**

*Water and low burning speed charging mobile phone battery*

Mode switch for matching of Battery Charger to load and burning speed

Burning speed	Cooling		Modules connection alternative		Open loop voltage (V)	Battery	Charging current (mA)
	Ice water	Boiling water	Four in series	Four in series to parallel			
Four candles	*		*		9	NiMh 4,8 V	200
60 grammes of Alcohol/h	*		*		14	*	400
60 grammes of Alcohol/h		*	*		10	*	200
100 grammes of Kerosene/h	*		*		20	*	600
100 grammes of Kerosene/h	*			*	10	*	700 (1)
100 grammes of Kerosene/h		*	*		14	*	300
100 grammes of Kerosene/h	*		*		20	NiCd 12V	300

"Icewater" with more ice than water for best result

(1) Charging time for 700mAh battery, 90min

# Alternativa Strömkällor

för Framtidens Soldat och för "Marksensorer"

## **Mogen, "fältmässigt" användbar teknik**

Solceller/Photovoltaic energy conversion, PV

Termogenerator/Thermoelectric Generator, TEG

Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG

## **Ej helt fältmässig teknik**

Thermophotovoltaic energy conversion, TPV

Proton Exchange Membran Fuel Cell, PEM/PEMFC

Direct Methanol Fuel Cell, DMFC

Solid Oxide Fuel Cell, SOFC

Zink-luft-bränslecell

## **Teknik f.n. enbart för användning i rymden**

Alkali Metal Thermal to Electric Conversion, AMTEC

## **Lovande teknik**

Motordrivna minielverk/mikroelverk



## **Batteriladdning eller direktdrift?**

Verkningsgraden vid batteriladdning i fält är som bäst 70%

\*

1. Strömkällan laddar batteriet med verkningsgraden 0 till 70%.
2. Batteriet driver strömförbrukaren med verkningsgraden 0 till 99%.

\*

*Batteriladdning tar tid!*

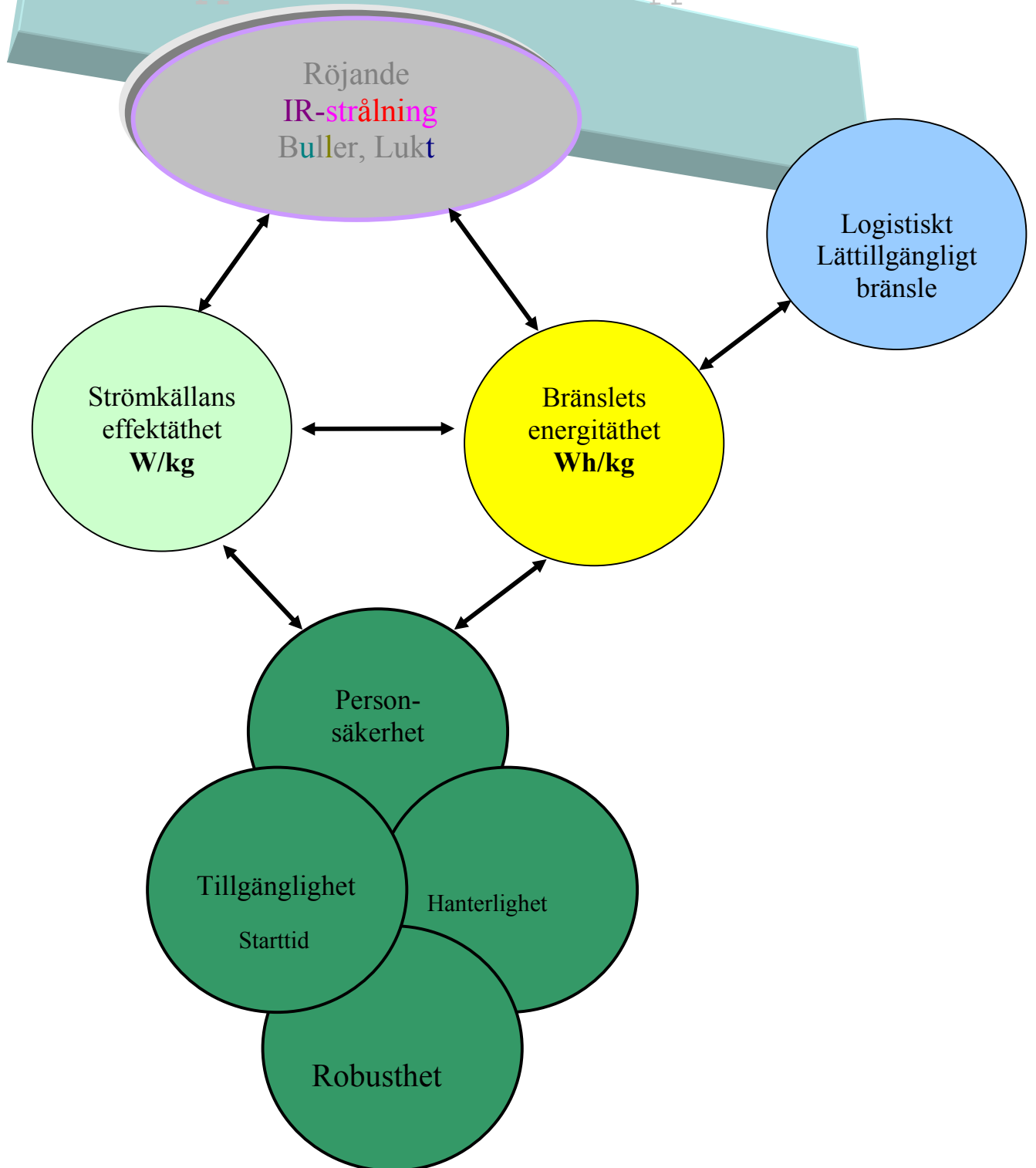
Vid direktdrift bortfaller mellanleden 1. och 2.

\*

Termogeneratorer och ett antal andra alternativa strömkällor påverkas i allmänhet mindre av temperaturen än batterier.

### Faktorer som påverkar val av strömkälla

Att upptäcka eller - att upptäckas

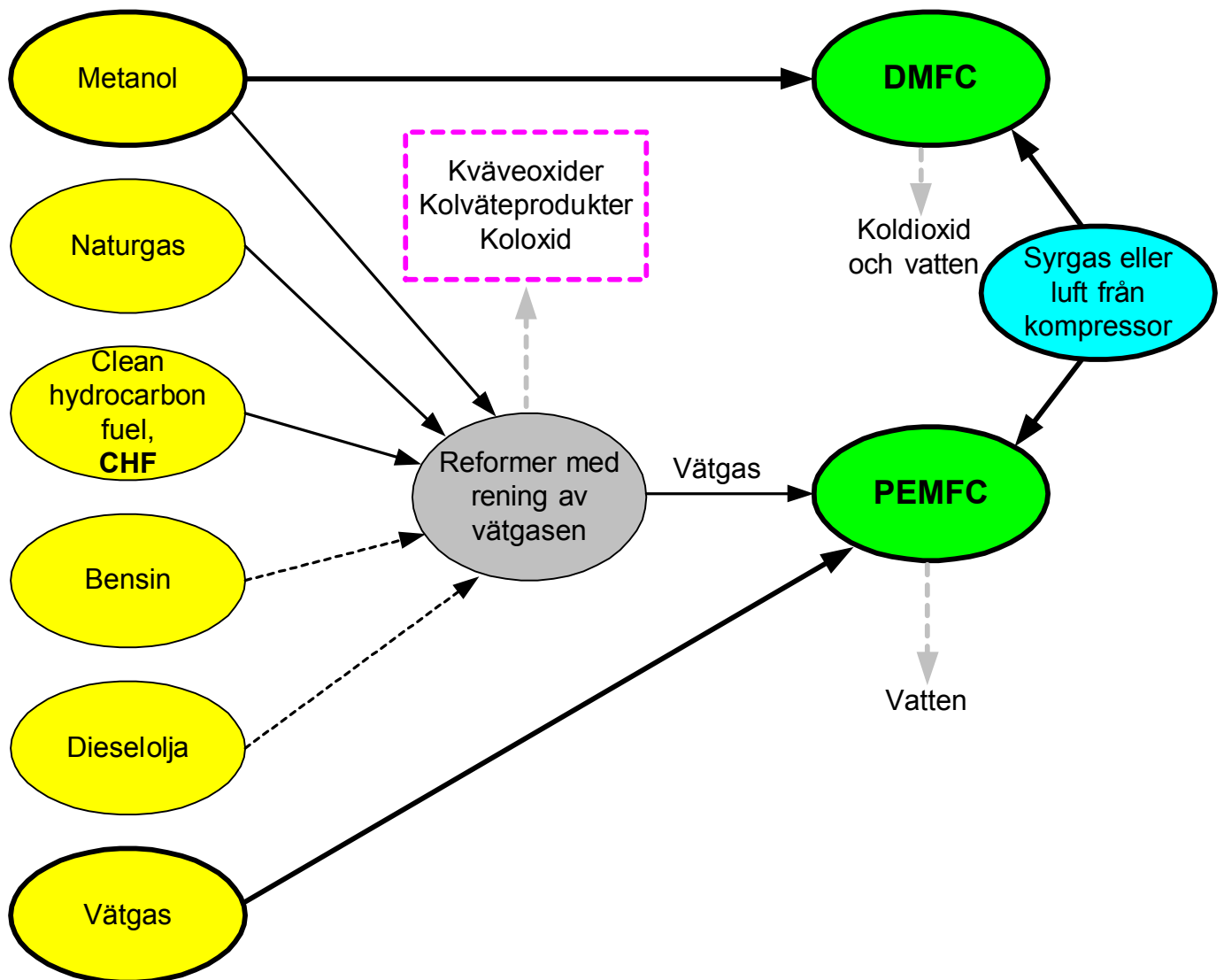


## Lågtemperaturbränsleceller, 25 till 90 grader C

Båda bränslecellerna är - dynamiska - svarar snabbt på gaspådrag

Proton Exchange Membran Fuel Cell, **PEMFC**, som kraftkälla i eldrivna bilar och bussar

Direct Methanol Fuel Cell, **DMFC**, för användning till bärbar utrustning



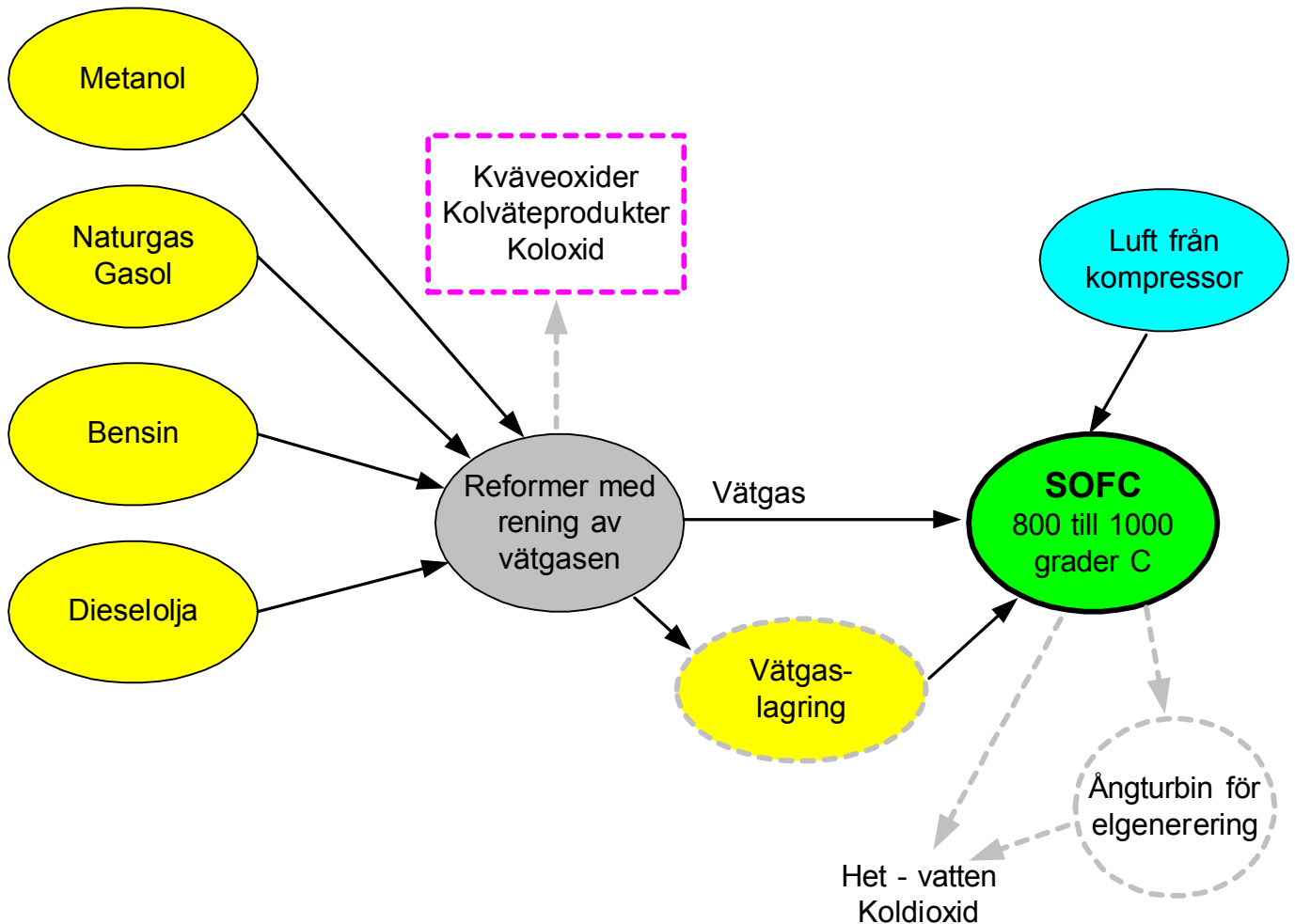
- PEMFC - cellen är mycket känslig för föroreningar av typ koloxid eller svavel.
- En reformer fungerar bäst med metanol, naturgas - eller ett reformeranpassat bränsle, t. ex. Clean Hydrocarbon Fuel, CHF\*. Om man använder bensin eller dieselloja som bränsle, blir kraven på reformern och den efterföljande reningen av vätgasen mycket stora.
- En hetvattenreformer arbetar vid 1000 grader C och behöver lång uppvärmningstid för att uppnå full effekt.

\* I TOYOTA's kommande miljöbil FCHV 5

## Högtemperaturbränsleceller, 200 till 1000 grader C

Solid Oxide Fuel Cell, **SOFC**, för el/värme-produktion i bilar och bussar\*, i enfamiljshus, eller fasta anläggningar

Phosfor Acid Fuel Cell, PAFC, för el/värme-produktion i fasta anläggningar



- SOFC - cellen är ej så känslig för föroreningar. Kraven på reformern och den efterföljande reningen av vätgasen är därför måttliga.

- En hetvattenreformer arbetar vid 1000 grader C och behöver lång uppvärmningstid för att uppnå full effekt.

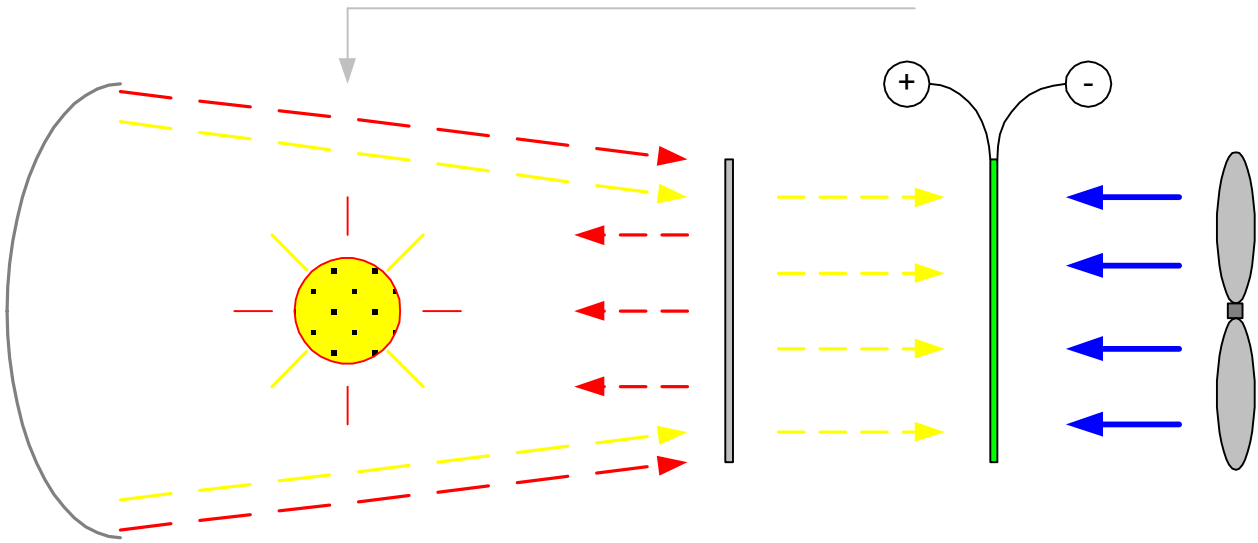
- SOFC-cellen har den högsta arbetstemperaturen av alla bränsleceller, ca 1000 grader C. Upstarttiden är relativt lång.

- För att den sammanlagda upstarttiden för ett Reformer - SOFC - system ej ska bli orimligt lång brukar man ha en mellanlagring av väte till bränslecellen.

\* Biltillverkaren BMW i samarbete med Delphi Automotive Systems och Global Thermoelectric

## Thermophotovoltaic Energy Conversion, TPV

Fövärmad luft och bränsle till förbränningen



Reflektor för koncentring av strålningen. Reflektorn kombineras ofta med filterverkan, t. ex genom val av material (Wolfram) eller med ytbehandling.

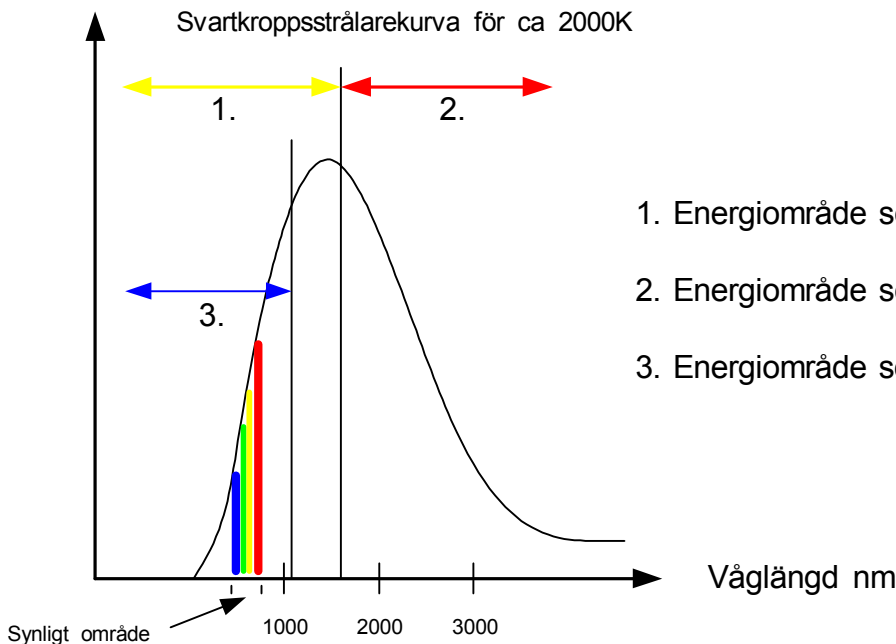
Strålkälla/Emitter med hög förbrännings-temperatur. För att komma ifrån den flacka "svartkropsstrålarekurvan" och få en topp i önskat våglängdsområde tillsätter man Ytterbiumoxid,  $Yb_2O_3$ , Erbiumoxid,  $Er_2O_3$ , eller liknande.

Filter som släpper fram den önskade kortvågiga strålningen och som reflekterar den långvågiga tillbaka till emittern. Filtret behöver eventuellt kylas.

TPV-cell, en "solcell" som ger elektricitet med längre våglängder än en vanlig kiselsolcell. En TPV-cell av Galliumantimonid, GaSb, kan tillgodogöra sig våglängder upp till ca 1800nm. Man får ett bättre energiutnyttjande och mindre värmeutveckling med "stackade" celler. Först en solcell med Galliumarsenid, GaAs, som tillgodogör sig de kortare våglängderna och som släpper igenom de längre till den underliggande cellen av Galliumantimonid. Effektiv kylning av cellerna behövs. **Så mycket som 50% av den framställda elektriska energin kan åtgå till kylningen.**

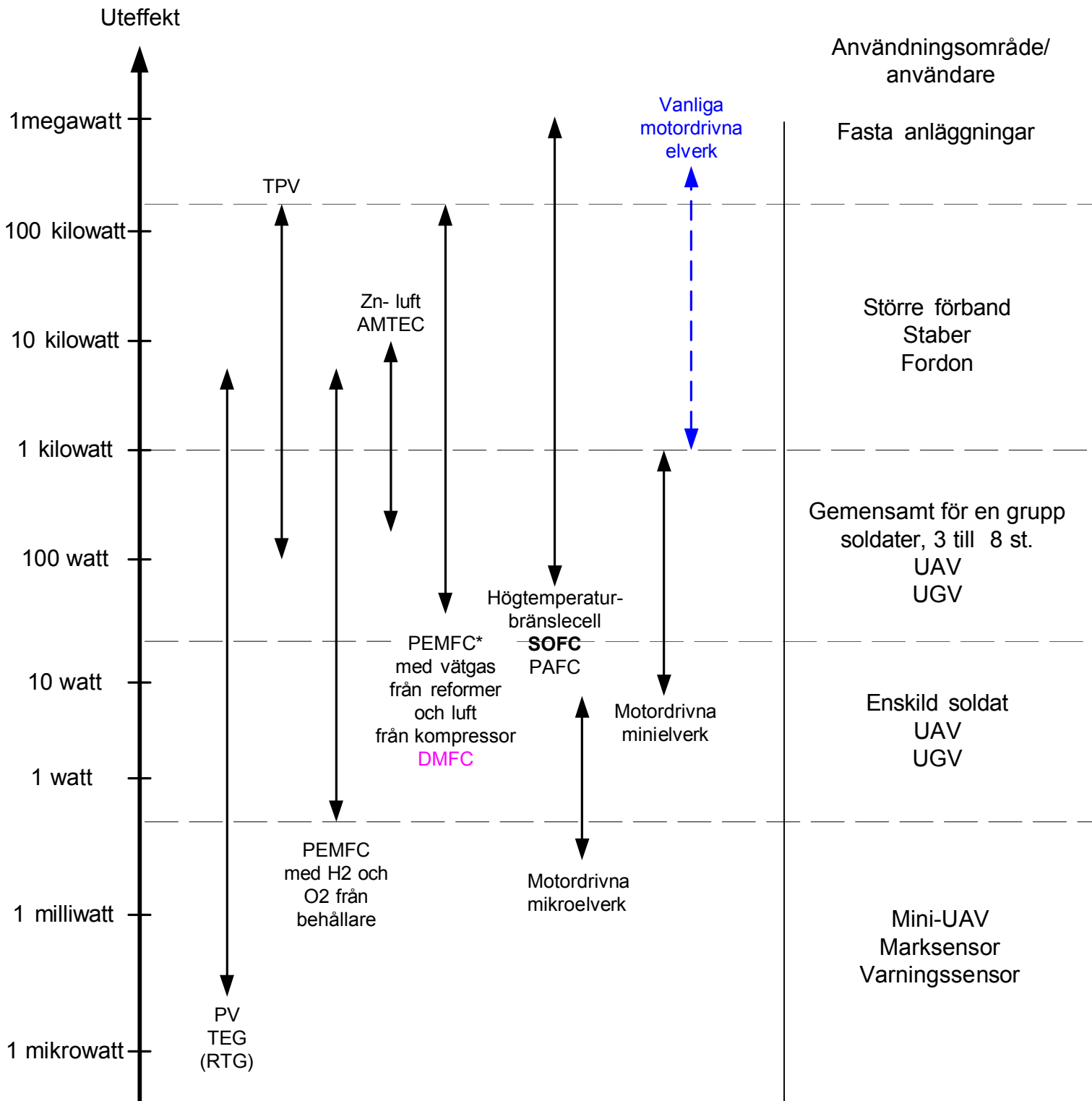
Intensitet

Svartkropsstrålarekurva för ca 2000K



1. Energiområde som en GaSb-cell kan tillgodogöra sig
2. Energiområde som en GaSb-cell ej kan tillgodogöra sig
3. Energiområde som en kiselsolcell kan tillgodogöra sig

## De tekniskt och ekonomiskt lämpligaste arbetsområdena för olika alternativa energikällor



En TPV-driven bil har byggts. JX Crystals säljer en gasoleldad kamin med 100W el. uteffekt.

Direct Methanol Fuel Cell, DMFC, stort intresse för tekniken på forskningscentra. Den tyska firman Smart Fuel Cell, SFC, presenterade på en mäsas i Oktober 2001 en 10 kg tung 25W's DMFC. De har fått bra kritik. Viss serieproduktion år 2004.

\* Fordon, bussar och bilar, med PEM-bränsleceller, matas med vätgas från behållare och med omgivningsluft från kompressor. Stockholm m.fl. EU-städer provar bussar i stadstrafik med början år 2004.

PAFC har framgångsrikt provats av Vattenfall i två anläggningar i Varberg.