

CONTRIBUȚII PRIVIND ALIMENTAREA DE LA SURSE NECONVENȚIONALE DE ENERGIE A SERVICIILOR PROPRII ALE STAȚIILOR ELECTRICE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul ENERGETICĂ
de către

Ing. Ilie Ardelean

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing. Ștefan KILYENI

Referenți științifici: Prof.univ.dr.ing. Mircea EREMIA
Prof.univ.dr.ing. Ioan FELEA
Prof.univ.dr.ing. Bucur LUȘTREA

Data susținerii tezei: 27.11.2009

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2009

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

PREFAȚĂ

Teza de doctorat reprezintă rodul unei colaborări de lungă durată dintre subsemnatul și Catedra de Electroenergetică a Facultății de Electrotehnică și Electroenergetică din cadrul Universității „Politehnica” Timișoara. Această colaborare s-a permanentizat după anul 1998, an în care am preluat funcția de Șef Serviciu Tehnic la C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara, și a căpătat noi valențe după înscrierea mea la doctorat, în anul 2004. În tot acest răstimp colaborarea susmenționată s-a materializat prin soluționarea a numeroase contracte de cercetare încheiate între C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., S.T. Timișoara și Catedra de Electroenergetică (subsemnatul fiind responsabil de contract din partea beneficiarului) și scrierea în comun a peste 30 de lucrări științifice, publicate în țară sau străinătate.

Acum, la încheierea unui parcurs de peste cinci ani, consider ca o datorie de onoare ca primul meu gând de recunoștință și de mulțumire să-l dedic memoriei unui mare om, profesor reputat și prieten adevărat, plecat prea de timpuriu spre eternitate, celui care a fost primul meu conducător de doctorat, prof.dr.ing. Adrian Buta.

În egală măsură, doresc să-i mulțumesc conducătorului care m-a preluat și care m-a scos la liman, pentru solitudinea, dedicația, profesionalismul, rigoarea științifică și maniera academică de coordonare, calități de care a dat dovadă pe tot acest parcurs, prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni.

Adresez mulțumiri călduroase Decanului Facultății de Electrotehnică și Electroenergetică, prof.dr.ing. Petru Andea, fostului Decan al Facultății, prof.dr.ing. Dumitru Toader și șefului Catedrei de Electroenergetică, prof.dr.ing. Flavius Dan Șurianu, atât pentru implicare profundă în colaborarea cu C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., S.T. Timișoara, cât și pentru încurajarea și susținerea mea în finalizarea tezei.

Mulțumesc tuturor cadrelor didactice din Catedra de Electroenergetică, în mod deosebit prof.dr.ing. Bucur Luștea, prof.dr.ing. Mihai Moga, conf.dr.ing. Gheorghe Vuc, prof.dr.ing. Vasile Dușa, prof.dr.ing. Corneliu Velicescu, prof.dr.ing. Petru Gheju, conf.dr.ing. Viorel Titihazan, s.l.dr.ing. Ioan Borlea, s.l.dr.ing. Iлона Bucătariu și asist.dr.ing. Constantin Bărbulescu, pentru promptitudinea și profesionalismul cu care s-au angajat în rezolvarea problemelor contractuale, pentru timpul acordat scrierii în comun a multor lucrări științifice și pentru sugestiile pertinente pe care mi le-au dat cu prilejul prezentării în catedră a tezei de doctorat.

Mulțumesc în mod deosebit membrilor comisiei de analiză a tezei de doctorat, prof.dr.ing. Mircea Eremia (Universitatea POLITEHNICA din București), prof.dr.ing. Ioan Felea (Universitatea din Oradea) și prof.dr.ing. Bucur Luștea (Universitatea „Politehnica” din Timișoara), pentru atenția cu care au parcurs teza de doctorat, pentru criticile, sugestiile și aprecierile formulate asupra conținutului acesteia.

Mulțumesc în mod special domnului director al S.T. Timișoara, dr.ing. Nicolae Chiosa, pentru sprijinul acordat în soluționarea studiului de caz, dar și pentru lucrările scrise în colaborare.

Mulțumesc mai tinerilor colegi, doctoranzi la același conducător ca și mine unii deja cu titlul de doctor, dr.ing. Constantin Bărbulescu, drd.ing. Dana Pop și drd.ing. Dan Jigoria-Oprea, pentru colaborarea rodnică din ultimii ani și pentru lucrările scrise împreună.

Nu în ultimul rând, doresc să adresez cele mai sincere mulțumiri soției mele, Ecaterina Ardelean și fiicei noastre, Cătălina Ardelean, pentru înțelegerea și susținerea mea, mai ales în momentele de cumpănă.

Timișoara, octombrie 2009

Ilie Ardelean

Ardelean, Ilie

“Contribuții privind alimentarea de la surse neconvenționale de energie a serviciilor proprii ale stațiilor electrice”

Teze de doctorat ale UPT, Seria 3, Nr. 8, Editura Politehnica, 2009, 252 pagini, 167 figuri, 77 tabele.

ISSN: 2066-5156

ISBN: 978-606-554-016-3

Cuvinte cheie: stații de transformare, servicii proprii, surse alternative, pile de combustie, modelare, regimuri staționare, regimuri dinamice.

Rezumat:

Tematica tezei de doctorat se încadrează în preocupările actuale legate de eficietizare a consumului de energie electrică la consumatorul final și de identificare a unor soluții noi de surse alternative la cele clasice. În acest context, teza pledează pentru reevaluarea și adaptarea soluțiilor de alimentare a serviciilor proprii ale stațiilor electrice de interconexiune la condițiile actuale:

- liberalizarea pieței de energie, care impune decontarea riguroasă a consumurilor între producătorii, transportatorii și furnizorii de energie;
- creșterea prețului combustibililor clasici face rentabilă folosirea surselor alternative de energie;
- folosirea energiilor neconvenționale “curate” este un obiectiv major al Uniunii Europene pentru asigurarea unei independențe energetice față de sursele externe și pentru protejarea mediului ambiant față de extinderea tehnologiilor agresive.

Se face o analiză pertinentă a rolului pe care îl vor juca, pe termen mediu și lung, sursele alternative de energie, în special sursele regenerabile, în dezvoltarea durabilă. Dintre soluțiile alternative posibile privind alimentarea serviciilor proprii (SP) ale stațiilor de transformare, s-a optat pentru pilele de combustie. Partea teoretică abordează descrierea, funcționarea, clasificările și modelările regimurilor staționare și dinamice ale pilelor de combustie.

Partea aplicativă a tezei o reprezintă studiul de caz privind folosirea pilelor de combustie pentru alimentarea cu energie electrică a SP din stația 220/110 kV Săcălaz, din gestiunea CNTEE Transelectrica SA, ST Timișoara. Sunt analizate următoarele variante de soluții:

- pila de combustie ca sursă de siguranță
- pila de combustie ca sursă de rezervă și de siguranță
- pila de combustie ca sursă normală și de siguranță

Varianta optimă s-a stabilit în urma analizei efectuate cu programul Homer realizat de National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, adaptat de către autor. A rezultat ca variantă optimă soluția cu pila de combustie ca sursă normală și de siguranță. În final s-a propus schema electrică de alimentare a SP din stația Săcălaz utilizând o pilă de combustie tip PEM de 75 kW.

CUPRINS

Prefață	3
Cuprins	5
Lista de figuri	9
Acronime	14
Lista de tabele	15
1. INTRODUCERE	17
2. ROLUL ACTUAL ȘI LOCUL ENERGIILOR REGENERABILE ÎN DEZVOLTAREA DURABILĂ	23
2.1 Soluții globale la probleme globale	23
2.2. Perspectiva oferită de combustibilii fosili.....	25
2.3. Perspectiva oferită de sursa nucleară.....	30
2.4. Sursele regenerabile de energie - o alternativă viabilă pe termen lung.....	32
2.4.1. Prezentarea surselor regenerabile de energie.....	32
2.4.2. Politica energetică a României în domeniul SRE	34
2.4.3. Cadru legislativ și norme	37
2.4.4. Realizări în România, în UE și pe plan mondial privind valorificarea SRE	38
2.5. Concluzii.....	45
3. SERVICIILE PROPRII ALE STAȚIILOR ELECTRICE: CERINȚE, SCHEME, CONSUMURI	47
3.1. Consumatorii serviciilor proprii de curent alternativ.....	47
3.1.1. Instalația de răcire a autotransformatorului	47
3.1.2. Dispozitivul de acționare a comutatorului de ploturi	50
3.1.3. Dispozitivul de acționare al întrerupătorului	54
3.1.4. Dispozitivul de acționare al separatorului	54
3.1.5. Instalația de stingere a incendiilor.....	55
3.1.6. Grupul Diesel	57
3.1.7. Iluminat și încălzire.....	58
3.2. Consumatorii serviciilor proprii de curent continuu	59
3.3. Cerințe tehnice privind alimentarea serviciilor proprii	60
3.4. Scheme de alimentare ale serviciilor proprii	61
3.5. Consumul de energie electrică al serviciilor proprii.....	64
3.6. Concluzii	63
4. ROLUL PILELOR DE COMBUSTIE ÎN STRATEGIA DE EXTINDERE A UTILIZĂRII ENERGIILOR REGENERABILE ȘI RESPECTĂRII PROTOCOLULUI DE LA KYOTO	65
4.1. Scurt istoric al dezvoltării pilelor de combustie	65
4.2. Tehnologia pilelor de combustie	67
4.2.1. Comparație cu ciclul Carnot.....	67

4.2.2. Prezentarea tehnologiei	70
4.2.2.1. Componentele și procesele fundamentale	70
4.2.2.2. Structura membranelor electrolit din polimer (PEM).....	71
4.2.2.3. Pile de combustie cu membrane electrolit din polimer (PEM)	72
4.2.2.4. Electrozii.....	73
4.2.2.5. Electrochimia pilelor de combustie PEM	74
4.2.2.6. Platina ca și catalizator	75
4.2.2.7. Apa și performanța pilei de combustie	77
4.2.2.8. Ansamblul membrană / electrod	77
4.2.2.9. Realizarea ansamblului membrană / electrod.....	78
4.2.2.10. Straturile suport.....	78
4.2.2.11. Căile de curgere / colectoarele de curent	79
4.2.2.12. Determinarea tensiunii unei pile de combustie ideale	81
4.2.2.13. Randamentul, puterea și energia unei pile de combustie cu PEM	81
4.2.2.14. Viteza de generare a căldurii într-o pilă de combustie în funcțiune	82
4.2.2.15. Polarizarea pilelor de combustie.....	83
4.2.2.16. Bateria formată din pile de combustie PEM	84
4.3. Tipuri de pile de combustie	85
4.4. Pilele de combustie în contextul energiilor regenerabile	89
4.4.1. Beneficiile pilelor de combustie	89
4.4.2. Tendințe privind folosirea energiilor alternative	93
4.4.2.1. Rezervele de petrol, transportul și pilele de combustie	93
4.4.2.2. Gazele cu efect de seră, schimbările climatice și pilele de combustie	94
4.4.2.3. Efectul gazelor de seră.....	95
4.4.2.4. Protocolul de Kyoto	96
4.4.2.5. Emisii ale pilelor de combustie	99
4.4.2.6. Știința schimbărilor climatice	100
4.5. Concluzii	101
5. MODELAREA ȘI ANALIZA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE A PILELOR DE COMBUSTIE	103
5.1. Modelarea pilelor de combustie pentru regimuri staționare de funcționare	103
5.1.1. Aspecte generale ale modelării și identificării sistemelor	103
5.1.2. Evaluarea modelelor pentru pilele de combustie	104
5.1.2.1. Criterii de selectare a modelului pilei de combustie.....	104
5.1.2.2. Principalele modele ale sistemelor pilelor de combustie	107
5.1.2.3. Alegerea modelelor pilelor de combustie: exemplul NREL	110
5.1.3. Modele pentru regimuri staționare	115
5.1.3.1. Model empiric pentru caracteristica de funcționare	115
5.1.3.2. Aproximarea ecuației empirice pe baza datelor experimentale	118
5.1.3.3. Concluzii referitoare la modelul electric.....	120
5.2. Modelarea pilelor de combustie pentru regimuri dinamice de funcționare	122
5.2.1. Dezvoltarea modelului dinamic	122

5.2.2. Implementarea modelului matematic al PEMFC în Matlab	122
5.2.3. Implementarea modelului matematic al PEMFC în Pspice	123
5.2.3.1. Potențialul intern E	123
5.2.3.2. Circuitul pentru pierderile de activare	124
5.2.3.3. Circuitele pentru căderile de tensiune ohmice și de concentrație	125
5.2.3.4. Efectul de încărcare al condensatorului cu dublu-strat.....	125
5.2.3.5. Blocul termodinamic	125
5.2.3.6. Validarea modelului	126
5.2.4. Studiu experimental Wang	127
5.2.4.1. Caracteristicile regimului permanent de funcționare.....	127
5.2.4.2. Răspunsul la temperatură	128
5.2.4.3. Performanța tranzitorie	129
5.2.5. Model dinamic simplificat al PEMFC.....	131
5.2.5.1. Justificarea modelului	131
5.2.5.2. Ipoteze simplificatoare adoptate	131
5.2.5.3. Descrierea modelului considerat	132
5.2.5.4. Condițiile inițiale și finale	134
5.2.5.5. Determinarea experimentală a parametrilor modelului	135
5.2.5.6. Simulare folosind mediul de lucru Simnon	136
5.3. Concluzii	141
6. FOLOSIREA PILELOR DE COMBUSTIE CA SURSĂ DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A SERVICIILOR PROPRII. STUDIU DE CAZ: STAȚIA 220/110 KV SĂCĂLAZ	143
6.1. Aprecieri critice ale situației actuale.....	143
6.2. Variante de soluții posibile privind folosirea pilelor de combustie pentru alimentarea serviciilor proprii	144
6.2.1. Pila de combustie ca sursă de siguranță	145
6.2.2. Pila de combustie ca sursă de rezervă și de siguranță	146
6.2.3. Pila de combustie ca sursă normală și de siguranță.....	147
6.3. Metodologia de calcul a eficienței pilelor de combustie.....	148
6.3.1. Analiza tehnico-economică comparativă a soluțiilor propuse și alegerea variantei optime în raport cu soluțiile existente	148
6.3.2. Metodele utilizate pentru stabilirea fezabilității și ierarhizarea soluțiilor analizate.....	153
6.3.2.1. Metoda valorii nete actualizate (VNA)	153
6.3.2.2. Rata internă de rentabilitate (RIR)	154
6.3.2.3. Indicele de profitabilitate (IP).....	154
6.4. Studiu de caz: stația 220/110 kV Săcălaz.....	155
6.4.1. Prezentarea situației actuale	155
6.4.2. Consumuri și curbe de sarcini	155
6.4.2.1. Energie electrică	155
6.4.2.2. Energie termică.....	165
6.4.3. Variante analizate cu programul Homer.....	167
6.5. Concluzii	181
7. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	183
BIBLIOGRAFIE	189
SINTEZĂ PRIVIND LUCRĂRILE PROPRII	197

Anexa 1. CONSUMUL DE ENERGIE ELECTRICĂ AL SERVICIILOR PROPRII ALE STAȚIILOR S.T. TIMIȘOARA, C.N.T.E.E. TRANSELECTRICA S.A.....	199
Anexa 2. PILE DE COMBUSTIE	205
A2.1. PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell / Polymer Electrolyte Membrane. Pilele de combustie cu membrană schimbătoare de protoni / cu membrană electrolit din polimer	205
A2.2. MFC – Direct Methanol Fuel Cell / Pile de combustie directe cu metanol	206
A2.3. AFC – Alkaline Fuel Cell / Pile de combustie alcaline	206
A2.4. PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell / Pile de combustie cu acid fosforic.....	207
A2.5. MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell / Pile de combustie cu carbonat lichid	207
A2.6. SOFC – Solid Oxide Fuel Cel / Pile de combustie cu oxid solid	208
A2.7. Pile de combustie cu carbonat	210
A2.8. Pile de combustie regenerative	216
A2.9. Pile de combustie directe cu hidrazină fără platină cu membrană de schimbare a anionilor.....	220
A2.10. Pile de combustie directă cu metanol	221
Anexa 3. INVERTOARE ȘI UNITĂȚI DE ALIMENTARE NEÎNTRERUPTIBILE	223
A3.1. Considerații preliminare	223
A3.2. Tipuri de UPS	224
A3.3. Alegerea unui UPS	225
A3.4. Sistemele UPS și mediul lor de funcționare	226
Anexa 4. CONSIDERENTE TEORETICE ALE MODELĂRII SISTEMELOR	235
A4.1. Definiții	235
A4.2. Construirea modelului	236
A4.3. Utilizarea modelului	237
A4.4. Clasificarea modelelor matematice	238
A4.5. Descrieri standard pentru diverse tipuri de modele matematice deterministe	240
A4.6. Etapele modelării și identificării unui sistem	242
Anexa 5. ELABORAREA MODELULUI DINAMIC	243
A5.1. Ipoteze de lucru	243
A5.2. Difuzia gazului în electrozi.....	243
A5.3. Ecuațiile de conservare ale masei	246
A5.4. Tensiunea de ieșire a pilei de combustie	246
A5.5. Efectul stratului dublu de sarcini	248
A5.6. Bilanțul termodinamic al energiei	249

LISTA DE FIGURI

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
1.	Fig. 2.1.	Energia mondială în anul 1998
2.	Fig. 2.2.	Acoperirea curbei de sarcină în anul 2007 și 2008
3.	Fig. 2.3.	Evoluția prețurilor combustibililor fosili în România
4.	Fig. 2.4.	Structura puterii instalate pe bază de cărbune în EU-15, în 2004
5.	Fig. 2.5.	Evoluția vârstei centralelor electrice la nivel mondial
6.	Fig. 2.6.	Evoluția cererii de energie în Europa versus capacități de producție
7.	Fig. 2.7.	Costul energiei fără luarea în considerare a riscurilor (stg.) și cu luarea în considerare (dr.)
8.	Fig. 2.8.	Structura producției de energie electrică a României în 2008, pe tipuri de resurse
9.	Fig. 2.9.	Structura puterii instalate în centralele electrice din România în anii 2004-2009
10.	Fig. 2.10.	Evoluția consumului (MWh/h) mediu, minim și maxim în anii 2006-2008
11.	Fig. 2.11.	Cotele obligatorii stabilite prin HGR 958/2005, pentru atingerea țintei naționale din 2010
12.	Fig. 2.12.	Producția lunară în anul 2007 a energiei electrice produse din SRE în România, defalcată pe cele două surse princ. hidro și vânt
13.	Fig. 2.13.	Evoluția gradului de îndeplinire a țintei naționale privind ponderea energiei produse din SRE, în perioada 2005-2007
14.	Fig. 3.1.	Cuvă cu radiatoare cu circulație forțată a uleiului și suflare cu aer
15.	Fig. 3.2.	Modul de fixare a corpurilor de răcire
16.	Fig. 3.3.	Schema de principiu a sistemului de comutare
17.	Fig. 3.4.	Comutator de prize cu două rezistențe
18.	Fig. 3.5.	Sistem de comutare trifazat
19.	Fig. 3.6.	Amplasarea detectoarelor de incendiu
20.	Fig. 3.7.	Instalație de stropit a AT
21.	Fig. 3.8.	Schema de principiu a instalației de stingere a incendiului cu apă
22.	Fig. 3.9.	Schema de alimentare a SP fără sursă de siguranță
23.	Fig. 3.10.	Schema de alimentare a SP cu sursă de siguranță
24.	Fig. 4.1.	Schema de funcționare a unei pile de combustie
25.	Fig. 4.2.	Experiența lui Grove
26.	Fig. 4.3.	Comparație între randamentul de conversie electrică al pilelor de combustie și al altor sisteme de conversie energetică
27.	Fig. 4.4.	Efectul temperaturii de funcționare asupra eficienței pilei de combustie
28.	Fig. 4.5.	Alcătuirea unei pile de combustie
29.	Fig. 4.6.	Schema principială a unui electro-vehicul
30.	Fig. 4.7.	Procesul electrochimic într-o pilă de combustie
31.	Fig. 4.8.	Structura chimică a membranei de Nafion TM de la DuPont

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
32.	Fig. 4.9.	Schema unei pile de combustie H_2/O_2 cu membrană polimerică, utilizată în programul spațial Gemini
33.	Fig. 4.10.	O variantă avansată a unui ansamblu de celulă PEM cu catalizator depus
34.	Fig. 4.11.	PEM cu electrozi poroși formați din particule de Pt uniform împrăștiate în particulele de C
35.	Fig. 4.12.	Modelul stratului electrocatalitic al CCM
36.	Fig. 4.13.	Ansamblul membrană/electrod
37.	Fig. 4.14.	Secțiune transversală mărită; detalii constructive referitoare la straturile suport
38.	Fig. 4.15.	Căile de curgere/colectoare de curent
39.	Fig. 4.16.	Căile de curgere frezate în fibră de carbon; înălțime, lățime, spațierea dintre canale, toate de 0,8 mm
40.	Fig. 4.17.	Pilă de combustie cu electrolit din membrană de polimer
41.	Fig. 4.18.	Caracteristica tensiune/densitate de curent a unei pile de combustie PEM
42.	Fig. 4.19.	Tipuri de polarizări ale pilelor de combustie
43.	Fig. 4.20.	O baterie de 3 pile de combustie cu 2 plăci bipolare și 2 plăci terminale
44.	Fig. 4.21.	Baterie din pile de combustie cu PEM
45.	Fig. 4.22.	Producția mondială de petrol (jos) și din S.U.A. (sus în dreapta)
46.	Fig. 4.23.	Variația temperaturii medii a Pământului între 1860-2000
47.	Fig. 4.24.	Efectul gazelor de seră.
48.	Fig. 5.1.	Modele de pile de combustie disponibile
49.	Fig. 5.2.	Modelul VT al sistemului de pile de combustie
50.	Fig. 5.3.	Ieșirii ale modelului VT, funcție de temperatura de funcționare
51.	Fig. 5.4.	Ieșirii ale modelului VT integrat în ADVISOR™ 2003
52.	Fig. 5.5.	Sistemul KTH pentru pile de combustie
53.	Fig. 5.6.	Modelul KTH pentru un sistem integrat în ADVISOR™ 2003
54.	Fig. 5.7.	Caracteristica pilei de combustie – tensiune/densitate de curent
55.	Fig. 5.8.	Ipoteza fundamentală a modelului expus
56.	Fig. 5.9.	Date experimentale și curbe simulate ale electrolizorului – influența temperaturii ($P=9,6$ bar)
57.	Fig. 5.10.	Date experimentale și curbe simulate ale electrolizorului – influența presiunii ($T=52-56^\circ C$)
58.	Fig. 5.11.	Date experimentale și curbe simulate ale pilei de combustie – influența temperaturii ($p_{O_2}=1,4$ bar)
59.	Fig. 5.12.	Date experimentale și curbe simulate ale pilei de combustie – influența presiunii ($T=35^\circ C$).
60.	Fig. 5.13.	Caracteristica de sarcină PEM FC pentru $t=35^\circ C$
61.	Fig. 5.14.	Diagrama modelului construit în Matlab/Simulink.
62.	Fig. 5.15.	Diagrama pentru a elabora un model electric al PEMFC în Pspice
63.	Fig. 5.16.	Circuitul electric pentru potențialul intern E
64.	Fig. 5.17.	Circuitul electric pentru determinarea pierderilor de activare
65.	Fig. 5.18.	Circuitul electric aferent căderilor de tensiune ohmice
66.	Fig. 5.19.	Circuitul electric aferent căderii de tensiune de concentrație

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
67.	Fig. 5.20.	Circuitul echivalent al efectului de încărcare în dublu strat în interiorul unei PEMFC
68.	Fig. 5.21.	Circuitul echivalent al proprietății termodinamice din PEMFC
69.	Fig. 5.22.	Configurația standului experimental pentru pila PEMFC SR-12
70.	Fig. 5.23.	Caracteristicile V-I pentru SR 12 și modele
71.	Fig. 5.24.	Caracteristicile P-I pentru SR 12 și modele
72.	Fig. 5.25.	Răspunsurile temperaturii pilei SR 12 și modelelor
73.	Fig. 5.26.	Răspunsurile tranzitorii ale modelelor în domeniu scurt de timp
74.	Fig. 5.27.	Răspunsurile tranzitorii ale modelelor în domeniu lung de timp
75.	Fig. 5.28.	Variația tensiunii la bornele pilei de combustie la pierderea sarcinii
76.	Fig. 5.29.	Schema echivalentă a pilei de combustie în regim dinamic.
77.	Fig. 5.30.	Caracteristica de sarcină
78.	Fig. 5.31.	Caracteristica de sarcină experimentală și estimată
79.	Fig. 5.32.	Curbele de polarizare
80.	Fig. 5.33.	Variația pe durată scurtă de timp a tensiunilor la borne Vout, dinamice Ed și pe condensator Vc (semnal treaptă de amplitudine 18 A; regim inițial 2 A)
81.	Fig. 5.34.	Variația pe durată lungă de timp a tensiunilor la borne Vout, dinamice Ed și pe condensator Vc (semnal treaptă de amplitudine 18 A; regim inițial 2 A)
82.	Fig. 5.35.	Comportarea pilei la o variație în trepte a încărcării
83.	Fig. 6.1	Schema de principiu - pila de combustie ca sursă de siguranță
84.	Fig. 6.2	Schema de principiu - pila de combustie ca sursă de rezervă și siguranță
85.	Fig. 6.3	Schema de principiu - pila de combustie ca sursă normală și siguranță
86.	Fig. 6.4	Costuri și emisii de CO ₂ pentru diferite configurații
87.	Fig. 6.5	Creșterea producției anuale de pile de combustie la 50MW poate aduce a reducere de costuri de 25 – 30%.
88.	Fig. 6.6	Schema normală a stației 220/110 kV Săcălaz
89.	Fig. 6.7	Schema normală de distribuție a SP c.a.din stația 220/110 kV Sacalaz
90.	Fig. 6.8	Curbele de sarcină P,Q,S din 04.01.2008
91.	Fig. 6.9	Curbele de sarcină P,Q,S din 04.02.2008
92.	Fig. 6.10	Curbele de sarcină P,Q,S din 04.03.2008
93.	Fig. 6.11	Curbele de sarcină P,Q,S din 04.04.2008
94.	Fig. 6.12	Curbele de sarcină P,Q,S din 06.05.2008
95.	Fig. 6.13	Curbele de sarcină P,Q,S din 04.06.2008
96.	Fig. 6.14	Curbele de sarcină P,Q,S din 03.07.2008
97.	Fig. 6.15	Curbele de sarcină P,Q,S din 04.08.2008
98.	Fig. 6.16	Curbele de sarcină P,Q,S din 03.09.2008
99.	Fig. 6.17	Curbele de sarcină P,Q,S din 02.10.2008
100.	Fig. 6.18	Curbele de sarcină P,Q,S din 05.11.2008
101.	Fig. 6.19	Curbele de sarcină P,Q,S din 03.12.2008
102.	Fig. 6.20	Variația zilnică a consumului de energie termică pentru lunile în care nu funcționează încălzirea

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
103.	Fig. 6.21	Variația zilnică a consumului de energie termică pentru lunile în care funcționează încălzirea
104.	Fig. 6.22	Schema variantelor analizate
105.	Fig. 6.23	Sumarul fluxurilor de capital (cash-flow)
106.	Fig. 6.24	Fluxurile anuale de capital
107.	Fig. 6.25	Producția de energie electrică medie lunară
108.	Fig. 6.26	Producția de energie termică medie lunară
109.	Fig. 6.27	Puterea electrică furnizată de pila de combustie
110.	Fig. 6.28	Puterea transferată prin convertor
111.	Fig. 6.29	Sumarul fluxurilor de capital (cash-flow)
112.	Fig. 6.30	Fluxurile anuale de capital
113.	Fig. 6.31	Producția de energie electrică medie lunară
114.	Fig. 6.32	Producția de energie termică medie lunară
115.	Fig. 6.33	Puterea electrică furnizată de pila de combustie
116.	Fig. 6.34	Puterea transferată prin convertor
117.	Fig. 6.35	Sumarul fluxurilor de capital (cash-flow)
118.	Fig. 6.36	Fluxurile anuale de capital
119.	Fig. 6.37	Producția de energie electrică medie lunară
120.	Fig. 6.38	Producția de energie termică medie lunară
121.	Fig. 6.39	Puterea electrică furnizată de pila de combustie
122.	Fig. 6.40	Puterea transferată prin convertor
123.	Fig. A1.1	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Timișoara
124.	Fig. A1.2	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Sacălaz
125.	Fig. A1.3	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Arad
126.	Fig. A1.4	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Reșița
127.	Fig. A1.5	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Iaz
128.	Fig. A1.6	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Hășdat
129.	Fig. A1.7	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Peștiș
130.	Fig. A1.8	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Baru Mare
131.	Fig. A1.9	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Paroseni
132.	Fig. A1.10	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Mintia
133.	Fig. A1.11	Evoluția energiei active consumate lunar în stația Nadab
134.	Fig. A1.12	Evoluția energiei active consumate lunar în stațiile S.T. Timișoara
135.	Fig. A2.1	Pila de combustie cu membrană electrolit de polimer
136.	Fig. A2.2	Pila de combustie alcalină
137.	Fig. A2.3	Pila de combustie cu acid fosforic
138.	Fig. A2.4.	Pila de combustie cu carbonat lichid
139.	Fig. A2.5	Pila de combustie cu oxid solid
140.	Fig. A2.6	Pila de combustie cu carbonat directă
141.	Fig. A2.7	Istoria dezvoltării pilelor de combustie cu carbonat
142.	Fig. A2.8	Configurația pachetului de pile bipolare de combustie cu carbonat
143.	Fig. A2..	Structura anodului după 18000 h de funcționare
144.	Fig. A2.10	Catod DFC® în timpul funcționării pe teren: în timpul funcționării de lungă durată au avut loc doar mici creșteri ale particulelor.
145.	Fig. A2.11	Protecția la etanșarea hidraulică a aluminiului
146.	Fig. A2.12	Pilă de combustie regenerativă bazată pe energia solară

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
147.	Fig. A2.13	Electrochimia pilelor de combustie regenerative
148.	Fig. A2.14	Structura unei pile de combustie Zinc-Aer.
149.	Fig. A2.15	Model pe calculator al unui sistem cu baterie din pile de combustie și instalație de reformare a combustibilului gazos
150.	Fig. A2.16	Schema DHAFC și principiul ei de funcționare
151.	Fig. A2.17	Caracteristicile DHAFC și DFFC
152.	Fig. A2.18	Schema unui sistem de pilă de combustie cu metanol
153.	Fig. A3.1	Simbolul și rolul inverterului în circuitele electrice
154.	Fig. A3.2	Sistemul UPC off-line
155.	Fig. A3.3	Sistemul UPC on-line
156.	Fig. A3.4	Modul clasic de conectare a unei instalații UPC, cu inverter
157.	Fig. A3.5	Surse UPC cu putere nominală $P/2$, folosite pentru alimentarea unui consumator care necesită un nivel înalt de fiabilitate
158.	Fig. A3.6	Schema TT/TT
159.	Fig. A3.7	Schema TN-C/TN-S
160.	Fig. A3.8	Schema IT/IT
161.	Fig. A3.9	Alegerea parametrilor nominali ai disjunctorilor
162.	Fig. A3.10	UPS bidirecțional cu surse multiple de energie electrică
163.	Fig. A4.1	Căile de obținere a modelului matematic din sistemul real
164.	Fig. A4.2	Schema procesului iterativ aplicat pentru perfecționarea modelării
165.	Fig. A4.3	Conexiunile existente între formele posibile ale modelelor matematice ale unui sistem
166.	Fig. A5.1	Pila PEMFC și căderile interne de tensiune
167.	Fig. A5.2	Circuitul echivalent al efectului stratului dublu de sarcini din interiorul PEMFC

ACRONIME

ANRE	- Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei
ARCE	- Agenția Română pentru Conservarea Energiei
AT	- autotransformator
c.a.	- curent alternativ
c.c.	- curent continuu
CLP	- separator de legare la pământ
CNR	- Comitetul Național Român
CV	- Certificate Verzi
ETSO	- European Transmission System Operators (Operatorul European de Transport și de Sistem)
IRE	- Institutul Român pentru Studiul Amenajării și Folosirii Surselor de En.
I.T.	- înaltă tensiune
J.T.	- joasă tensiune
LEA	- linie electrică aeriană
LES	- linie electrică subterană
M.T.	- medie tensiune
OPCOM	- Operatorul Pieței de Energie Electrică din România
OTS	- Operatorul de Transport și de Sistem
PE	- Prescripție Energetică
ppm(p/m)	- părți per milion, reprezintă o unitate de măsură a concentrației
RED	- Rețeaua Electrică de Distribuție
RET	- Rețeaua Electrică de Transport
SEE	- Sistem electroenergetic
SEN	- Sistemul Energetic Național
SP	- servicii proprii (ale stațiilor și/sau centralelor electrice)
SRE	- surse regenerabile de energie
S.T.	- Sucursala de Transport (a Transelectrica)
T	- Transformator
TC	- transformator de curent
tep	- tone echivalent petrol
TSI	- transformator de servicii proprii
TT	- transformator de tensiune
UCTE	- Union for the Coordination of Transmission of Electricity (Uniunea pentru Coordonarea Transportului de Energie Electrică)
UE	- Uniunea Europeană
UnO-DEN	- Unitatea Operațională „Dispecerul Energetic Național”
WEC(CME)	- World Energy Council (Consiliul Mondial al Energiei)

LISTA DE TABELE

Nr. crt.	Numărul tabelului	Titlul tabelului
1.	Tabelul 2.1	Rezervele mondiale de combustibili minerali
2.	Tabelul 2.2	Repartiția consumului de energie electrică
3.	Tabelul 2.3	Rezervele și resursele energetice fosile globale [Gtep]
4.	Tabelul 2.4	Potențialul energetic al SRE din România
5.	Tabelul 2.5	Capacități energetice noi și efortul investițional
6.	Tabelul 2.6	Ponderele SRE în consumul total de resurse primare din România
7.	Tabelul 2.7	Producția netă de energie electrică la nivel mondial în 2000 [TWh]
8.	Tabelul 2.8	Energia electrică obținută din SRE în EU-15
9.	Tabelul 3.1	Datele tehnice pentru motorul de la ventilator
10.	Tabelul 3.2	Datele tehnice pentru pompă
11.	Tabelul 3.3	Caracteristicile tehnice ale sistemului de monitorizare HYDROCAL
12.	Tabelul 3.4	Caracteristicile dispozitivului de acționare al comutatorului de ploturi
13.	Tabelul 3.5.	Caracteristicile dispozitivului de acționare tip MOP
14.	Tabelul 3.6.	Caracteristicile tehnice ale dispozitivelor ASE
15.	Tabelul 4.1.	Caracteristicile principalelor tipuri de pile de combustie
16.	Tabelul 4.2.	Caracteristicile emisiilor pilelor de combustie
17.	Tabelul 5.1.	Particularitățile unor modele ale sistemelor pilelor de combustie
18.	Tabelul 5.2.	Software comercial pentru câteva modele de pilă de combustie
19.	Tabelul 5.3.	Compararea modelelor VT și KTH
20.	Tabelul 5.4.	Constante ale modelului electric: valori pentru electrolizor și pentru pila de combustie
21.	Tabelul 5.5.	Echivalența între mărimile termodinamice și electrice
22.	Tabelul 5.6.	Caracteristicile pilei SR-12
23.	Tabelul 5.7.	Valorile parametrilor modelului electric pentru pila SR-12
24.	Tabelul 6.1.	Specificațiile modelului
25.	Tabelul 6.2	Pile de combustie cu carbonat instalate
26.	Tabelul 6.3	Costuri pentru pile instalate
27.	Tabelul 6.4	Costuri inițiale pentru alte tehnologii
28.	Tabelul 6.5	Costuri de capital pentru pile de combustie
29.	Tabelul 6.6	Costuri de capital pentru pile de combustie în aplicații CHP
30.	Tabelul 6.7	Costuri de operare și mentenanță
31.	Tabelul 6.8	Energii active și reactive ale SP din stația Săcălaz în 2008
32.	Tabelul 6.9	Coeficienții de încărcare ai T la Smax. anual
33.	Tabelul 6.10	Compararea pierderilor între T400 kVA și T100 kVA
34.	Tabelul 6.11	Curbele de sarcină P, Q, S din 04.01.2008
35.	Tabelul 6.12	Curbele de sarcină P, Q, S din 04.02.2008
36.	Tabelul 6.13	Curbele de sarcină P, Q, S din 04.03.2008
37.	Tabelul 6.14	Curbele de sarcină P, Q, S din 04.04.2008
38.	Tabelul 6.15	Curbele de sarcină P, Q, S din 06.05.2008
39.	Tabelul 6.16	Curbele de sarcină P, Q, S din 04.06.2008
40.	Tabelul 6.17	Curbele de sarcină P, Q, S din 03.07.2008
41.	Tabelul 6.18	Curbele de sarcină P, Q, S din 04.08.2008
42.	Tabelul 6.19	Curbele de sarcină P, Q, S din 03.09.2008

Nr. crt.	Numărul tabelului	Titlul tabelului
43.	Tabelul 6.20	Curbele de sarcină P, Q, S din 02.10.2008
44.	Tabelul 6.21	Curbele de sarcină P, Q, S din 05.11.2008
45.	Tabelul 6.22	Curbele de sarcină P, Q, S din 03.12.2008
46.	Tabelul 6.23	Consumurile medii orare de energie termică pentru anul 2008 [kWh], aferente stației 220/110 kV Săcălaz – lunile mai-septembrie
47.	Tabelul 6.24	Consumurile medii orare de energie termică pentru anul 2008 [kWh], aferente stației 220/110 kV Săcălaz – lunile ianuarie-decembrie
48.	Tabelul 6.25	Subvariantele Variantei 1
49.	Tabelul 6.26	Costuri nete actualizate
50.	Tabelul 6.27	Costuri anuale
51.	Tabelul 6.28	Bilanțul electric
52.	Tabelul 6.29	Bilanțul termic
53.	Tabelul 6.30	Caracteristicile de funcționare ale pilei de combustie
54.	Tabelul 6.31	Caracteristicile de funcționare ale convertorului (redresor/invertor)
55.	Tabelul 6.32	Parametrii de funcționare ai rețelei
56.	Tabelul 6.33	Emisii poluante ale pilei de combustie
57.	Tabelul 6.34	Subvariantele variantei 2
58.	Tabelul 6.35	Costuri nete actualizate
59.	Tabelul 6.36	Costuri anuale
60.	Tabelul 6.37	Bilanțul electric
61.	Tabelul 6.38	Bilanțul termic
62.	Tabelul 6.39	Caracteristicile de funcționare ale pilei de combustie
63.	Tabelul 6.40	Caracteristicile de funcționare ale convertorului (redresor/invertor)
64.	Tabelul 6.41	Parametrii de funcționare ai rețelei
65.	Tabelul 6.42	Emisii poluante ale pilei de combustie
66.	Tabelul 6.43	Subvariantele variantei 3
67.	Tabelul 6.44	Costuri nete actualizate
68.	Tabelul 6.45	Costuri anuale
69.	Tabelul 6.46	Bilanțul electric
70.	Tabelul 6.47	Bilanțul termic
71.	Tabelul 6.48	Caracteristicile de funcționare ale pilei de combustie
72.	Tabelul 6.49	Caracteristicile de funcționare ale convertorului (redresor/invertor)
73.	Tabelul 6.50	Parametrii de funcționare ai rețelei
74.	Tabelul 6.51	Emisii poluante ale pilei de combustie
75.	Tabelul A1.1	Energia activă consumată de SP ale stațiilor S.T. Timișoara în anul 2007 [MWh]
76.	Tabelul A1.2	Energia activă consumată de SP ale stațiilor S.T. Timișoara în anul 2008 [MWh]
77.	Tabelul A4.1	Modele parametrice ale sistemelor

1. INTRODUCERE

Problema energiei este una dintre problemele fundamentale ale societății, unul dintre pilonii fără de care societatea contemporană nu ar putea funcționa și pentru care se investesc eforturi intelectuale și financiare considerabile. Energia asigură un serviciu esențial pentru toate angrenajele sociale, iar problema cercetării resurselor și a tehnologiilor de producere a energiei, a pieței de energie, a impactului pe care industria de energie o are asupra mediului și dezvoltării durabile a societății, reprezintă, fără nici o îndoială, priorități majore.

Economia europeană se vrea o economie a consumurilor energetice scăzute, bazată pe surse de energie mai sigure, mai curate, mai competitive și sustenabile. Prioritățile energetice vizează asigurarea unei piețe interne europene funcționale, stabile și continue, securitatea strategică a surselor de energie, structuri ale energiei care să asigure conservarea și protejarea mediului ambiant, precum și unitatea de acțiune a partenerilor europeni pe plan global. Atingerea acestor obiective impune o funcționare sinergică a tuturor factorilor implicați: decidenți politici, învățământ, cercetare fundamentală și aplicativă, tehnologi, firme de producere, transport, distribuție și comercializare, precum și utilizatorii finali.

În prezent, ne găsim într-o perioadă extrem de dinamică, caracterizată de mari și rapide progrese tehnologice în toate domeniile, o reorganizare a tuturor activităților economice, manifestată în domeniul energetic prin liberalizarea piețelor de energie și o reevaluare permanentă a resurselor energetice, simțită prin creșterea continuă a prețului mediu al combustibililor fosili și o grijă sporită față de mediul ambiant. Toate aceste elemente se pot regăsi în întreaga Legislație a Uniunii Europene și constituie o bază de reevaluare a situației existente la ora actuală și de adaptare la noile oportunități.

Subiectul prezentei teze de doctorat se circumscrie acestui context de eficientizare a consumului de energie electrică la consumatorul final și de identificare a unor soluții noi, de surse alternative la cele clasice.

Teza reprezintă o preocupare a autorului pentru reevaluarea și adaptarea soluțiilor de alimentare a serviciilor proprii (SP) ale stațiilor electrice de interconexiune la cerințele actuale, în contextul următoarelor tendințe:

- liberalizarea pieței de energie, atât pe plan mondial și european, cât și în România, ceea ce impune decontarea consumurilor între producătorii, transportatorii și furnizorii de energie (resellers);
- creșterea prețului combustibililor, care face să devină rentabilă folosirea surselor alternative de energie;
- folosirea energiilor neconvenționale "curate" este un obiectiv major al Uniunii Europene, pentru asigurarea unei independențe energetice față de sursele externe și pentru protejarea mediului ambiant față de extinderea tehnologiilor agresive.

Așa cum se prezintă în capitolele următoare ale tezei, actualele soluții de alimentare cu energia electrică a SP ale stațiilor electrice, acceptate și validate prin experiență, nu mai corespund noilor cerințe. Reactualizarea lor reprezintă o problemă complexă de optimizare, care cu siguranță va cunoaște noi evoluții în viitor.

Față de tehnologiile tradiționale, utilizarea pilelor de combustie reprezintă o abordare complet diferită a producerii energiei electrice. Pilele de combustie sunt similare bateriilor de acumulatori, în sensul că ambele produc energie electrică în curent continuu (c.c.) printr-un proces electrochimic, fără combustia directă a sursei primare. Totuși, în vreme ce un acumulator livrează puterea electrică dintr-o cantitate finită de energie pe care o are acumulată, pilele de combustie pot funcționa la nesfârșit, cu condiția să le fie asigurată sursa de combustibil. Pentru a genera energie electrică și căldură, între cei doi electrozi (catod și anod) se deplasează ionii încărcăți cu sarcină electrică, aflați într-un electrolit, în prezența unui catalizator care mărește viteza reacției.

Pilele de combustie oferă o generare curată, fără zgomot și eficientă, a energiei electrice. La fel ca cele mai multe dintre tehnologiile noi, pilele de combustie se găsesc în fața provocării de a penetra pe piață într-un număr foarte mare de aplicații, ca urmare a maturizării produsului, a complexității ingineresti a sistemului, precum și a durabilității și fiabilității. Multiplele avantaje ale pilelor de combustie sugerează că ele pot fi principalul motor în viitor pentru anumite aplicații și produse.

Inventatorul tehnologiei pilelor de combustie este Sir William Grove, care a demonstrat funcționarea pilelor de combustie la Londra în 1830. Tehnologia descoperită de Grove a rămas fără aplicații pentru următorul secol. Tehnologia pilelor de combustie s-a reîntors în laboratoarele de cercetare în anii `50 ai secolului XX, când programul spațial al Statelor Unite a cerut dezvoltarea unor noi sisteme de producere a energiei electrice, care să fie cât mai ușoare și să nu ocupe mult spațiu. Pilele de combustie au o mai mare "densitate de putere", "împachetând" puterea eficient într-un spațiu redus și această proprietate a făcut posibilă utilizarea lor în programele spațiale Gemini și Apollo.

În zilele noastre, pile de combustie înglobează o mare varietate de tehnologii, soluții tehnice și dinamici de piață, care se îndreaptă către un viitor promițător. Un număr tot mai mare de investitori sunt implicați în dezvoltarea producției de pile de combustie, atât pentru aplicații statice, cât și pentru cele mobile (transportabile).

În practică se utilizează în special 5 tipuri de pilele de combustie, aflate în continuă dezvoltare. Acestea se clasifică, după electrolitul folosit și după temperatura de funcționare:

1. *PEMFC* (Proton Exchange Membrane Fuel Cell / Polymer Electrolyte Membrane, pile de combustie cu membrană schimbătoare de protoni / cu membrană electrolit din polimer;
2. *AFC* (Alkaline Fuel Cell), pile de combustie alcaline;
3. *PAFC* (Phosphoric Acid Fuel Cell), pile de combustie cu acid fosforic;
4. *MCFC* (Molten Carbonate Fuel Cell), pile de combustie cu carbonat lichid;
5. *SOFc* (Solid Oxide Fuel Cell), pile de combustie cu oxid solid.

Temperaturile de funcționare variază de la temperatura ambientală normală până la 1000°C. Pentru conversia combustibilului în energie, pila de combustie este de 2-3 ori mai eficientă decât o mașină cu ardere internă. Motoarele cu ardere internă sunt mai puțin eficiente, fiindcă ele implică întâi conversia energiei chimice în căldură, care apoi este convertită în lucru mecanic, proces al cărui randament este limitat de principiile termodinamicii. Pilele de combustie au performanțe diferite, avantaje și dezavantaje, fiind necesară o analiză riguroasă, pentru a stabili care este cea mai potrivită soluție pentru fiecare aplicație în parte.

Caracteristicile de bază, pentru diferitele tipuri de pile de combustie, sunt comune. O primă caracteristică este aceea că pilele de combustie nu sunt mașini

bazate pe ciclul Carnot. Dimpotrivă, ele utilizează un proces electrochimic, pentru a face conversia energiei chimice a hidrogenului în apă și electricitate și pot atinge eficiențe ridicate. O a doua caracteristică comună, este aceea că ele utilizează ca și combustibil hidrogenul, care de regulă este obținut din hidrocarburi. Cea de-a treia caracteristică se referă la elementele constructive ale acestora. Orice pilă de combustie este compusă din trei părți:

1. pila de combustie propriu-zisă;
2. procesorul de combustibil care convertește gazul natural într-un jet de gaz bogat în hidrogen;
3. echipamentul care prelucrează energia electrică, transformând-o ori în c.a. ori în c.c. regularizat.

Toate tipurile de pile de combustie au emisii poluante scăzute. Acesta pentru că procesele de combustie sunt asociate doar reformării gazului natural sau a altor combustibili, pentru a produce hidrogenul necesar și arderea de energie joasă a hidrogenului, pentru a asigura energia termică pentru procesorul de combustibil.

În contextul prezentat, tematica tezei se încadrează în preocupările actuale din domeniul analizei, eficientizării și optimizării consumului de energie electrică, precum și cel al găsirii unor soluții alternative la combustibilii fosili. În final, teza propune realizarea unei aplicații pilot în stația 220/110 kV Săcălaz, aflată în gestiunea operatorului național de transport al energiei electrice și de sistem. C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara.

Direcțiile viitoare de cercetare în acest domeniu, vor trebui să vizeze obținerea hidrogenului la fața locului, adică în stația unde este amplasată pila, folosindu-se, după caz, cea mai adecvată sursă regenerabilă de energie (eoliană, fotovoltaică etc.)

Teza de doctorat, extinsă pe 250 de pagini, este structurată pe 7 capitole, o prefață, 5 anexe și o listă bibliografică, conținând un număr de 167 figuri, scheme și 77 tabele. Lista bibliografică cuprinde 130 de titluri, semnalându-se prezența unor lucrări reprezentative, atât cele considerate deja clasice, cât și cele de dată relativ mai recentă, apărute în țară sau în reviste de prestigiu din străinătate.

Capitolul 1 are un caracter introductiv. El cuprinde încadrarea și justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul actual și prezentarea succintă a conținutului fiecărui capitol al tezei. În încheiere se evidențiază atât modul de valorificare a cercetărilor efectuate în cadrul elaborării tezei de doctorat, cât și direcțiile viitoare de cercetare.

Capitolul 2 prezintă rolul actual și locul energiilor produse din surse regenerabile de energie (SRE), în contextul dezvoltării durabile. Se face o trecere în revistă a primelor semnale de alarmă de la începutul anilor '70, privind epuizarea combustibililor fosili (Rapoartele către Clubul de la Roma) și nevoia de a găsi soluții alternative. Se evidențiază apoi o alternativă viabilă pe termen lung la combustibilii fosili, sursele regenerabile de energie. Sunt prezentate principalele realizări în România, în UE și pe plan mondial, privind valorificarea SRE. La concluzii sunt trecute în revistă principalele piedici care stau în calea accelerării valorificării SRE în România.

Capitolul 3 are ca obiect prezentarea consumatorilor de servicii proprii (SP) din stațiile de transformare, atât cei alimentați în curent alternativ (c.a.), cât și cei alimentați în curent continuu (c.c.). După nominalizarea lor, este prezentat în detaliu fiecare tip de consumator, arătându-se rolul, componența, modul de funcționare și principalele caracteristici. În continuare se evidențiază cerințele tehnice privind

alimentarea cu energie electrică a SP, schemele de alimentare utilizate funcție de complexitatea stației, precum și consumul de energie electrică aferent acestora (Anexa 1). La concluzii se reliefează rolul deosebit de important al SP în siguranța funcționării sistemelor electroenergetice.

Capitolul 4 dezvoltă rolul pilelor de combustie în strategia de extindere a utilizării energiilor regenerabile și respectării Protocolului de la Kyoto. Se prezintă un scurt istoric al dezvoltării pilelor de combustie, începând cu anul 1830 când a fost descoperită tehnologia, și până în prezent. În continuare este abordată tehnologia pilelor de combustie și comparația acestora cu ciclul Carnot al motoarelor cu combustie. În Anexa 2 sunt prezentate tipurile de pile de combustie, cu descrierea mai detaliată a principalelor tipuri. În Anexa 3 sunt prezentate invertoarele și unitățile de alimentare neîntreruptibile. Sunt evidențiate apoi tendințele privind folosirea energiilor alternative și beneficiile pilelor de combustie în acest context. Se subliniază contribuția majoră pe care o poate avea pilele de combustie în viitor, pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră (Protocolul de la Kyoto) și diminuarea schimbărilor climatice. La concluzii se subliniază faptul că utilizarea pilelor de combustie pentru alimentarea SP reprezintă o soluție de viitor, atractivă, oportună și fezabilă. Uniunea Europeană acordă sprijin financiar nerambursabil pentru finanțarea proiectelor ce vizează înlocuirea surselor convenționale cu surse alternative de energie, argument foarte important pentru a promova o aplicație pilot privind alimentare a SP cu pile de combustie, într-o stație din gestiunea S.T. Timișoara din cadrul C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.

Capitolul 5 prezintă modele de pile de combustie și simulări ale regimurilor de funcționare. Sunt descrise aspecte cu caracter general privind modelarea și identificarea sistemelor, modul de evaluare al modelelor sistemelor de pile de combustie și modelarea acestora pentru regimuri staționare de funcționare. În Anexa 4 sunt prezentate o serie de aspecte fundamentale legate de modelarea sistemelor. În continuare se prezintă modelarea pilelor de combustie pentru regimuri dinamice de funcționare. În Anexa 5 se prezintă în detaliu dezvoltarea modelului dinamic. Pentru simularea regimurilor de funcționare s-au utilizat o serie de instrumente software performante: Matlab, MathCad, Simnon, Pspice etc.. La concluzii se subliniază faptul că pila de combustie se comportă ca un generator de tensiune puternic influențat de curentul debitat, cauza principală fiind fenomenul de polarizare electrochimică. Din cauza neliniarității rezistenței interne, pierderea de tensiune, în funcție de sarcină, poate ajunge până la 30% din valoarea tensiunii la mers în gol, creând probleme la pornirea motoarelor mari. De aceea, pentru contracararea acestei probleme, se impune o analiză atentă, prin simulări adecvate, a regimurilor extreme. Dacă pila de combustie funcționează în regim tampon cu rețeaua electrică, pornirea motoarelor mari este asigurată de caracteristicile aceste surse de alimentare.

Capitolul 6 este în întregime original și reprezintă partea aplicativă a tezei de doctorat. După o analiză critică a situației actuale, se prezintă un studiu de caz privind folosirea pilelor de combustie pentru alimentarea cu energie electrică a SP din stația 220/110 kV Săcălaz, aflată în gestiunea S.T. Timișoara. Sunt discutate variante de soluții posibile și metodologia de calcul a eficienței pilelor de combustie. Sunt analizate următoarele variante de soluții:

- pila de combustie ca sursă de siguranță;
- pila de combustie ca sursă de rezervă și de siguranță;
- pila de combustie ca sursă normală și de siguranță.

Varianta optimă s-a stabilit în urma analizei efectuate cu programul Homer, realizat de National Renewable Energy Laboratory ('NREL') U.S. Department of Energy ('DOE'), adaptat de către autor specificului aplicației. Programul este orientat pe analiza mini-sistemelor independente sau conectate la rețea pentru furnizarea energiei electrice pe baza surselor alternative. A rezultat ca variantă optimă, soluția cu pila de combustie ca sursă normală și de siguranță. Pornind de la consumurile de energie electrică ale SP din stația Săcălaz, monitorizate în perioada 2007-2008, s-a stabilit puterea pe care trebuie să o furnizeze pila de combustie. În final s-a propus schema electrică de alimentare a SP din stația Săcălaz, cu o pilă tip PEM de 75 kW.

Ultimul capitol cuprinde concluziile generale ale tezei și prezentarea sistematizată a contribuțiilor originale ale autorului, modul de valorificare a tezei, precum și relieful direcțiilor și perspectivele oferite de lucrarea de față pentru continuarea cercetărilor și aplicarea rezultatelor și a experienței obținute. Se menționează că aceste concluzii, precum și elementele originale ale tezei, sunt prezentate și la finele fiecărui capitol.

Cele 5 Anexe la teza de doctorat, oferă o serie de informații cu caracter teoretic privind pilele de combustie, descrieri ale principalelor tipuri de pile, clasificări ale acestora, modelări pentru regimuri staționare și dinamice, precum și informații despre invertoare și unități de alimentare neîntreruptibile, utilizate în tandem cu pilele de combustie. Tot în Anexe, este prezentat consumul de energie electrică al SP din cele 11 stații aflate în gestiunea S.T. Timișoara, monitorizat de către autor pe o perioadă de doi ani (2007 și 2008) și prezentat distinct pentru fiecare stație, atât sub formă tabelară cât și grafică.

Rezultatele cercetării privind monitorizarea consumatorilor de SP au fost parțial valorificate, în sensul că măsurile propuse în 2007 pentru optimizarea consumului de energie electrică pentru cele 11 stații aflate în gestiunea S.T. Timișoara, au condus în 2008 la o scădere importantă a acestui consum (a se vedea graficele comparative pentru cei doi ani, din Anexa 1). De asemenea, ca urmare a analizei gradului de încărcare a celor două transformatoare care alimentează SP ale stației 220/110 kV Săcălaz (obiectul studiului de caz din subcapitolul 6.4), s-a propus înlocuirea lor cu altele, de puteri mai mici.

Cea mai mare parte a rezultatelor obținute pe parcursul anilor de cercetări asupra SP ale stațiilor, au fost publicate cu prilejul unor manifestări științifice interne sau internaționale de prestigiu (inclusiv cu cotație ISI Thomson): [Ardelean2006a], [Ardelean2006c], [Ardelean2006d], [Buta2003a], [Ardelean2006e], [Kilyeni2001], [Buta2002b], [Buta2003a], [Pop2008], [Florea2006], [Ardelean2007a], [Ardelean2008c], [Buta2002b], [Vuc2007], [Ardelean2009a], [Ardelean2009b].

De asemenea, o serie de aspecte abordate în cadrul tezei de doctorat au fost valorificate și în elaborarea protocoalelor unor contracte de cercetare științifică, derulate între Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., S.T. Timișoara. Autorul tezei de doctorat a fost implicat în dublă calitate în soluționarea acestor contracte: membru în echipa de cercetare (în cadrul Centrului de Cercetare al Catedrei de Electroenergetică, director prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni) și responsabil din partea beneficiarului în derularea contractelor și valorificarea rezultatelor cercetărilor întreprinse [***2004], [***2006], [***2007], [***2008].

Analizele teoretice și practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele obținute, deschid o serie de perspective și direcții de continuare și aprofundare a cercetărilor în domeniu:

- analiza posibilităților de producere a hidrogenului la fața locului, adică în stația unde este amplasată pila, folosindu-se după caz, cea mai adecvată SRE locală (eoliană, fotovoltaică, etc.);
- perfecționarea schemelor de alimentare a SP, utilizând diverse combinații ale SRE;
- promovarea unei aplicații pilot de alimentare a SP dintr-o stație aflată în gestiunea C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., S.T. Timișoara, utilizând pila de combustie, prin atragerea de fonduri structurale.

2. ROLUL ȘI LOCUL ENERGIILOR REGENERABILE ÎN DEZVOLTAREA DURABILĂ

2.1. Soluții globale la probleme globale

La începutul deceniului al 8-lea al secolului XX, brusc, aproape peste noapte, raportat la scara evoluției istorice, omenirea s-a trezit confruntată cu o mulțime de crize fără precedent: criza demografică, criza ecologică, criza alimentară, criza energetică, criza de materii prime, nominalizându-le pe cele mai importante. Se prefigura apariția unor noi crize, pe fundalul persistenței celor vechi, efectele căpătând o amploare globală. Încercările de a le rezolva separat, una câte una, s-au dovedit a fi iluzorii, generând noi probleme. A combate lipsa de energie, spre exemplu, prin măsuri care agravează starea mediului ambiant, înseamnă în realitate a nu rezolva nimic. Adevăratele soluții sunt interdependente, iar crizele în totalitatea lor, constituie un sindrom al dezvoltării omenirii [Mesarovic1975]. Omenirea se afla așadar "la răspântie". Se căutau pentru prima dată, soluții globale la probleme globale, pentru perioade medii și lungi de timp.

Unul dintre cercurile neoficiale care s-au impus în epoca respectivă, un adevărat for, care a refuzat să fie o instituție, a fost Clubul de la Roma. El a luat ființa în anul 1968 din inițiativa lui Aurelio Peccei, mobilizând în jurul meselor rotunde, personalități din cele mai diverse domenii din întreaga lume, pentru a dezbate în comun problemele lumii contemporane, pentru confruntarea punctelor de vedere și pentru mobilizarea opiniei publice în jurul temelor de cea mai presantă actualitate.

Primul raport către Clubul de la Roma l-a constituit cartea "Limitele creșterii", scrisă de patru specialiști de la Massachusetts Institute of Technology – Donella și Dennis Meadows, Jorgen Randers și William Bechrens [Meadow1972]. Raportul se ocupa de interacțiunea a cinci factori principali la nivel mondial: hrana, populația, producția industrială, resursele și poluarea. S-au desenat curbele de evoluție pentru secolul XX, curbe caracterizate de o creștere exponențială. S-a pus în evidență legătura reciprocă dintre diferiții factori ai dezvoltării. Din analiza asupra trecutului, s-a identificat forma interdependenței dintre factorii modelului, ceea ce autorii au numit *structura sistemului mondial*. Modelul spune cum depind și cât influențează fiecare dintre factorii menționați, evoluția celuilalt. Concluziile studiului sunt alarmante: susținerea ritmurilor actuale de creștere (adică ale începutului deceniului 8 al secolului XX), este imposibilă și că în curând (în sens istoric) se va produce o stagnare a activității economice, oprirea creșterii populației și o intoxicare ireversibilă a mediului. Raportul se încheie cu o chemare la oprirea creșterii, înainte de a fi prea târziu (se introduce sintagma "creșterea zero"). Concluziile Raportului au fost foarte contestate, iar Clubul de la Roma nu și le-a însușit, dar a recunoscut meritul unei zguduiri a conștiinței contemporane. De altfel, după numai un an de la apariția Primului raport către Clubul de la Roma, Universitatea din Sussex a publicat o critică, intitulată "Modelele apocalipsului" (Models of Doom. A Critique of Limits to Growth, Ed. H.S.D. Cole, C. Freeman, M. Jahoda, K.L.R. Pavitt, Universe Book, N.Y. 1973). Chiar dacă primul model a fost eronat, el reprezintă o primă aproximație, iar lipsurile lui sunt instructive. Cu el se deschide capitolul modelelor globale, care folosesc instrumente de estimare cantitativă și structurală a sistemelor mari.

În [Mesarovic1975], considerat al doilea Raport către Clubul de la Roma, autorii fac un comentariu asupra modelului propriu-zis, redactat în limbajul programelor de

calculator și ale cărui rezultate se pot citi pe ecranele sau pe imprimantele acestora. Se menționează ideile cele mai valoroase ale acestui al doilea Raport:

- un ascuțit rechizitoriu al mersului la întâmplare, generator de dezechilibre în viața societății ("creșterea liberă este o creștere canceroasă, creșterea controlată este o creștere organică");
- se renunță la ficțiunea mediilor artificiale ("un individ având un venit de 150 \$ și un altul 1850 \$, nu înseamnă doi indivizi cu câte 1000 \$");
- în afară de influența reciprocă a factorilor legați de peste 100 000 de ecuații (față de cele câteva sute din primul Raport), se ia în considerare și decizia umană;
- lumea este împărțită în 10 regiuni mai mult sau mai puțin omogene, iar fenomenele sunt discutate în funcție de specificul fiecăreia: 1) America de Nord, 2) Europa Occidentală, 3) Japonia, 4) Australia, Africa de Sud și restul țărilor dezvoltate cu economie de piață, 5) Europa Răsăriteană și URSS, 6) America Latină, 7) Africa de Nord și Orientul Mijlociu, 8) Africa Tropicală, 9) Asia de Sud-Est și 10) China.

Autorii, atrăgeau atenția asupra rezervelor limitate de combustibili minerali, mai ales asupra celor de petrol și gaze. Lucrarea nu-și propune să comenteze scenariile de dezvoltare luate în considerare (lucrarea menționată s-a bazat pe o largă colaborare cu oameni de știință din diverse domenii) și nici concluziile. Ea se limitează doar la "semnalul de alarmă" tras cu acest prilej, privind rezervele mondiale de combustibili minerali și la indicatorii de durată estimați pentru epuizarea lor. În [Mesarovic1975], rezervele de combustibili minerali sunt prezentate defalcate pe cele 10 regiuni ale globului, susmenționate. Eu le voi prezenta cumulat, ca valori globale, în Tabelul 2.1.

Tabelul 2.1. Rezervele mondiale de combustibili minerali

Denumirea sursei	Rezerve mondiale	Producția în 1972	Indicatori de durată	
			Statistic	Dinamic (creșteri anuale)
Petrol ¹ [mii barili]	nete 666 883 281	18 140 122	37	(5%) 21
Gaze naturale ² [10 ⁹ m ³]	certe 53 317	1 299	41	(5%) 23
Cărbune ³ [10 ⁶ tec]	identificate 4 155 656	2 410	1 725	(2%) 180

1. Datele privind rezervele certe sunt extrase din Oil and Gas Journal – decembrie 1972: 1 tonă de petrol = 7,47 barili
2. 750 m³ de gaze naturale echivalează cu 1t de cărbuni. În prezent, cea mai mare cantitate estimată la rezervele exploatabile de gaze, este de 8 ori mai mare decât rezervele certe
3. Datele pentru 9 regiuni au fost extrase din Proceedings of the World Power Conference 1968, iar pentru China, din Die Energiewirtschaft der Volksrepublik China, Verlag Gluekauf, 1973.

Cifrele privind indicatorii de durată ai exploatării rezervelor de combustibili minerali pe plan mondial sunt absolut îngrijorătoare, prevestind parcă Apocalipsa. La ritmul de producție din anul 1972, rezervele mondiale de petrol urma să se epuizeze în următorii 37 de ani, iar gazele naturale în următorii 41 de ani. La cărbune situația era mai liniștitoare, rezervele mondiale fiind estimate pentru o durată de 1725 de ani, dar și aici, o creștere economică (implicit și a consumului) doar de 2% anual, reducea la 180 de ani indicatorul de durată estimat pentru epuizarea rezervelor.

Din fericire estimările menționate mai sus, nu s-au confirmat în realitate!

O altă lucrare de referință este "Sfidarea mondială" [Schreiber1982]. Apărută simultan în 15 țări, cartea este de fapt produsul final al activității unui grup – *La*

Groupe de Paris – înființat în 1979 de J.J. Servan-Schreiber împreună cu profesorul Karl Schiller și economistul Samuel Pizar. Întreaga activitate s-a axat pe problematica dezvoltării internaționale, iar rezultatul ei este o pledoarie înflăcărată în favoarea unei *noi ordini economice internaționale*. Se atrage atenția asupra pericolului care amenință întregul sistem economic capitalist, dacă lumii a treia nu i se acordă un loc corespunzător în cadrul acestuia: "Vom ajunge la dezvoltare generală sau vom pieri împreună", avertizează Schreiber. Se subliniază importanța vitală a petrolului pentru întreaga civilizație industrială. Cartea prezintă divergența crescândă dintre Washington și țările vest-europene, primul urmărind poziția hegemonică în Orientul Mijlociu, în timp ce europenii văd periclitare furnizările de petrol de care depind în proporție de 70-80%.

2.2. Perspectiva oferită de combustibilii fosili

Energia a reprezentat în toate timpurile și în toate zonele globului, o problemă esențială, un factor de prim ordin în dezvoltarea societății. În perioada imediat următoare sfârșitului Primului Război Mondial, au început să fie căutate soluții privind necesarul de energie care să asigure creșterea economică. În acest context, în anul 1924 a fost fondat World Energy Council / Consiliul Mondial al Energiei (WEC/CME), ca organizație neguvernamentală, menită să identifice problemele specifice domeniului și să găsească soluțiile de rezolvare ale acestora. Printre cele 24 de țări fondatoare s-a aflat și România. În prezent CME are aproape 100 de țări membre, care activează prin Comitetele Naționale, în cazul nostru, prin Comitetul Național Român (CNR).

În anul 2000 WEC a publicat studiul (raportul) "Energie pentru lumea de mâine, să acționăm acum! Declarația 2000", care a apărut și în limba română în anul 2002, prin grija CNR-CME [CME2002]. Concluzia acestui studiu, care vine după aproape 30 de ani de la al doilea Raport către Clubul de la Roma, este în totală contradicție cu cea prezentată în [Mesarovic1975]. De data aceasta, se afirmă că resursele de energie sunt suficiente și nu se întrevide ca ele să fie un factor de limitare în creșterea economică globală. Dar, pentru că întotdeauna există și un dar, existența resurselor pe plan local și ritmul în care sunt produse și distribuite, sunt total nesatisfăcătoare. Se opinează că nu vor apărea probleme majore în producerea energiei necesare asigurării ritmului de creștere economică la care ne putem aștepta în mod realist în deceniile viitoare, dar situația actuală este caracterizată prin inegalități de distribuție și de impacturi dăunătoare asupra mediului global, regional și local, precum și asupra sănătății umane. Cea mai gravă inechitate constă în faptul că cca. un miliard de oameni din țările industrializate (adică cca. 17% din populația globului), consumă aproape 60% din resursele totale de energie, în timp ce cca. cinci miliarde de oameni din țările în curs de dezvoltare (adică cca. 83% din populația globului), consumă restul de 40 % din resursele totale de energie. Alte scenarii, alți indicatori de creștere economică, alte priorități și evident, alte concluzii, pe care nu le voi comenta aici.

Producția mondială de energie electrică, la începutul secolului XXI, a fost de cca. 15 000 TWh, iar repartizarea ei s-a realizat după cum urmează [CME2002]:

- 9.000 TWh (60%) pentru economiile de piață dezvoltate (800 milioane locuitori);
- 1.700 TWh (11,33%) în țările din Europa Centrală și de Est și CSI (400 milioane locuitori);
- 1.300 TWh (8,66%) în China (1,3 miliarde locuitori);
- 3.000 TWh (20%) pentru economiile de piață în curs de dezvoltare (3,5 miliarde locuitori)

Se observă că țările industrializate au obținut cea mai mare parte din energia produsă, adică 10.700 TWh, în timp ce țările în curs de dezvoltare au obținut doar 4.300 TWh. Repartiția consumului de energie electrică în kWh/an/cap de locuitor, conform aceleași surse, este prezentată în Tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Repartiția consumului de energie electrică

Țările industrializate (1,2 miliarde locuitori)	20% - cele mai mari venituri 20% - cele mai mici venituri	22.000 kWh/an/cap de locuitor 2.000 kWh/an/cap de locuitor
Țările industriale medii	20% - cele mai mari venituri	9.000 kWh/an/cap de locuitor
Țările în curs de dezvoltare	20% - cele mai mici venituri	3.400 kWh/an/cap de locuitor
Locuitori cu acces la energie (3,2 miliarde locuitori)	venituri medii	1.300 kWh/an/cap de locuitor
Locuitori fără acces la energie (1,6 miliarde locuitori)		0 kWh/an/cap de locuitor
Țările în curs de dezvoltare medii		900 kWh/an/cap de locuitor

Se văd în mod foarte clar diferențele imense existente între țări în privința valorilor medii ale consumului de energie electrică, respectiv accesul la energie modernă suficientă. Harta din Fig. 2.1 ilustrează trei caracteristici importante ale energiei, care au rămas neschimbate de la apariția raportului "Energie pentru lumea de mâine, să acționăm acum!" [CME2002]:

- energia este globală, așa cum o arată comerțul său internațional;
- țările industrializate au un rol predominant în cererile de energie mondiale;
- țările în curs de dezvoltare sunt exportatori foarte mari de energie, dar importatori foarte mici.

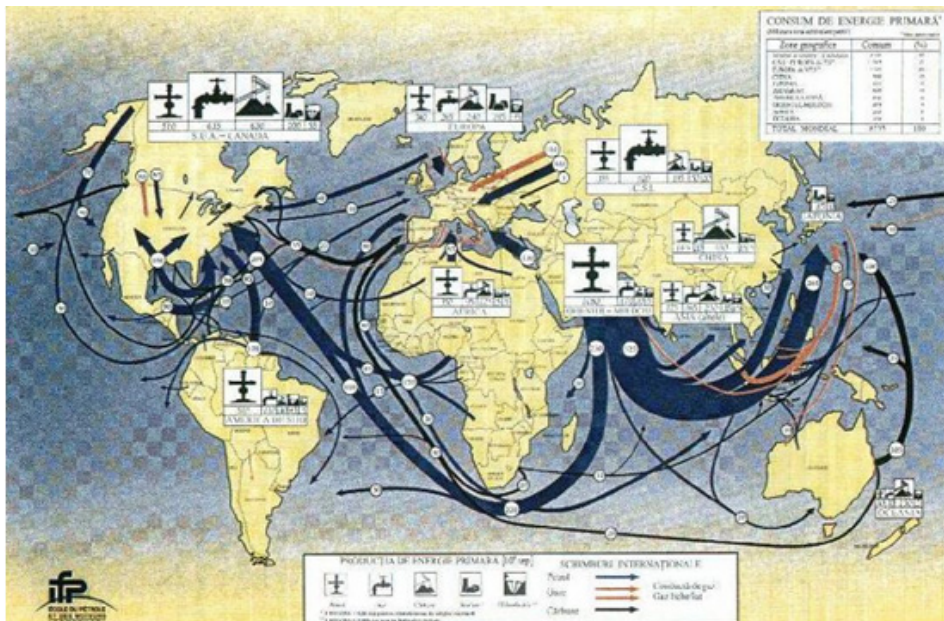


Fig. 2.1. Energia mondială în anul 1998

Aproximativ în aceeași perioadă de timp, mai exact în 2003, tot prin grija CNR-CME s-a editat lucrarea [CME2003], în care este abordată problema dezvoltării durabile, văzută dintr-o perspectivă energetică. În capitolul 4 al acestei lucrări, se prezintă un scenariu extrem de sumbru privind existența planetei în perspectiva anului 2050, ajungându-se la amenințarea "unei planete pe care să nu se poată trăi". Acest scenariu prezintă imaginea celei mai defavorabile schimbări care ar putea

surveni în următorii 50 de ani. CME consideră totuși că acesta este un scenariu care cu certitudine poate fi evitat, cu condiția să se dea problemelor răspunsuri corecte și la timp. Din punctul de vedere al intereselor energetice ale planetei, aceasta înseamnă că trebuie să atingem obiectivele de accesibilitate, disponibilitate și acceptabilitate ale energiei, acționând acum. Și, pentru ca finalul să fie într-un ton optimist, în capitolul 7 al [CME2003] se prezintă speranța: "într-o planetă pe care să se poată trăi". Se va prezenta în subcapitolul 2.4 definirea conceptelor de *dezvoltare durabilă*, *accesibilitate*, *disponibilitate și acceptabilitate* ale energiei.

În Tabelul 2.3 se prezintă valorile estimate pentru rezervele și resursele combustibililor fosili, așa cum sunt ele menționate în [CME2003].

Tabelul 2.3. Rezervele și resursele energetice fosile globale [Gtep]

	Consum	Rezerve	Resurse	Baza de resurse
Petrol convențional	123	140	123	263
neconvențional	-	193	332	525
Gaz natural convențional	61	142	280	422
neconvențional	-	192	258	450
Cărbune	148	600	2770	3370

Gtep – gigatone (10^9) echivalent petrol; Rezerve + Resurse = Baza de resurse

Datele sunt extrase din N. Nakenovic s.a. "Global Energy Perspectives, 1998, Cambridge Univ. și Statistical Review of World Energy, iunie 2000.

Aceste valori estimate, nu includ ceea ce se denumește uneori ca resurse adiționale, cum ar fi hidrații de metan, care există în și sub ghețurile permanente și în oceane în cantități substanțiale (probabil echivalentul a 18 000 Gtep) și pentru care nu se poate face o evaluare fermă, din punct de vedere tehnic și economic. Există controverse și în privința estimărilor de resurse și rezerve, inclusiv incertitudini referitoare la cât de mult vor permite tehnologiile, economia și preocupările ecologice, exploatarea bazei geologice de resurse.

Pe termen mediu și lung, combustibilii fosili vor mai avea de jucat un rol important. Nu întâmplător, toate lucrările prezentate în cadrul Conferinței organizate de CNR-CME și ISPE în 27.10.2005 "Tehnologiile energetice ale secolului XXI" [Ms.En.50/2005], s-au referit la creșterea eficienței energetice a utilizării combustibililor fosili, reducerea impactului asupra mediului la utilizarea acestora pentru producerea energiei electrice și termice, precum și la noi tehnologii de utilizare cu randamente sporite. Pentru România, importanța deosebită pe care o reprezintă în momentul de față combustibilii fosili, rezultă din gradul de utilizare al acestora, în acoperirea curbei de sarcină a Sistemului Energetic Național (SEN).

În Fig. 2.2 se prezintă acoperirea curbei de sarcină în 2007 și 2008 [www.tel.2008].

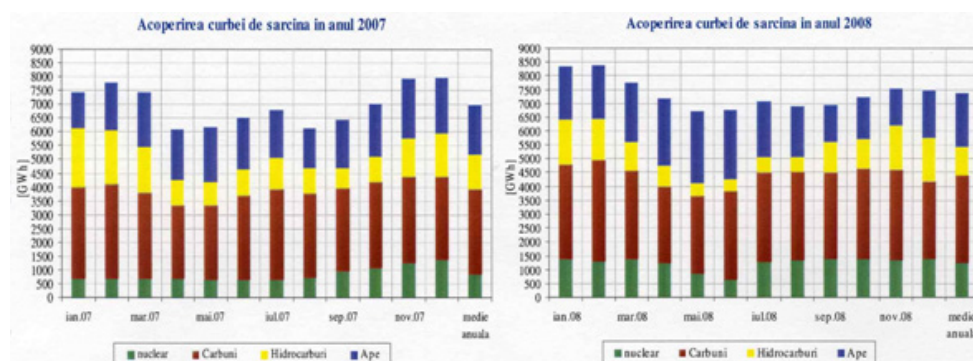


Fig. 2.2. Acoperirea curbei de sarcină în 2007 și 2008

Din cele două grafice rezultă un grad de acoperire al curbei de sarcină pe sursa cărbune foarte ridicat, de cca. 43%. Problema cu care se confruntă majoritatea centralelor noastre pe cărbune, este că nu respectă condițiile de mediu și au termen de rezolvare a acestor probleme până în anul 2015, în caz contrar urmând a fi închise.

Din categoria combustibililor fosili, în [MS.En.50/2005] sunt menționate argumentele care pledează în favoarea utilizării cărbunelui pentru producerea energiei electrice și termice. Aceste argumente sunt următoarele:

- evoluția prețului cărbunelui este mult mai stabilă decât cea a gazelor naturale și petrolului;
- conferă grad sporit de independență energetică – reduce importurile de gaze naturale și păcură;
- rezervele de cărbune sunt, de departe, cele mai mari rezerve de combustibili fosili din lume (rezervele de cărbune din România se estimează la cca. 3 Gt lignit și 1 Gt huilă – conform WEC);
- distribuția geografică a rezervelor de cărbune este semnificativ mai diversă decât cea a gazelor naturale și mai ales a petrolului;
- industria energetică reprezintă principala piață de desfacere pentru industria extractivă minieră, cu puternice implicații sociale;
- randamentul utilizării cărbunelui ca resursă energetică, deși mai slab decât cel al gazelor naturale, este, deocamdată, mai bun decât cel al metodelor alternative de producere a energiei (resurse regenerabile, altele decât apa).

În Fig. 2.3. se reprezintă evoluția prețurilor combustibililor fosili în România, în perioada 1997-2005, din care rezultă limpede primul dintre argumentele prezentate mai sus, în favoarea cărbunelui și anume că prețul cărbunelui este mult mai stabil decât cel al gazelor naturale și al petrolului.

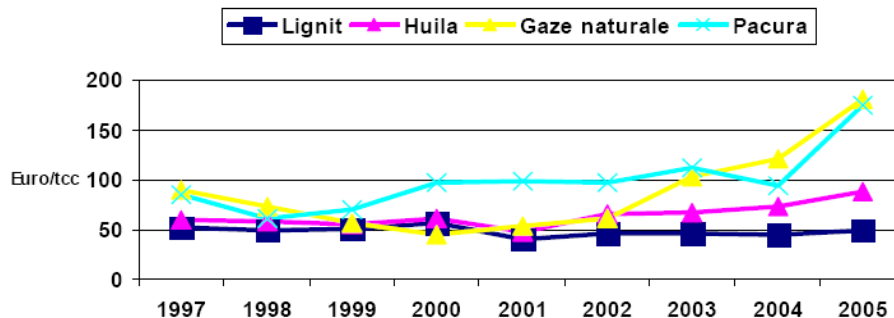


Fig. 2.3. Evoluția prețurilor combustibililor fosili în România

Titlul acestui subcapitol a fost sugerat de opiniile deosebit de optimiste în legătură cu viitorul combustibililor fosili, exprimate de Spencer Abraham, Secretar pentru Energie al SUA, în articolul "Tehnologii pentru securitatea energetică", articol preluat în [Ms.En.50/2005] din Global Energy, 2004, First Magazine. Se menționează aici doar aprecierile referitoare la combustibilii fosili:

- în următorii 20 de ani, gazele naturale vor fi componenta cu cea mai rapidă creștere în consumul de energie la nivel mondial (pană în 2020, actualul consum de 2 400 miliarde m³ va ajunge la 4 600 miliarde m³, reprezentând 28 % din consumul total de energie la nivel mondial);
- lumea dispune de rezerve de gaze naturale estimate la 155 740 miliarde de m³; dacă în viitor se va pune în valoare potențialul impresionant al hidraților de metan, se poate afirma cu încredere, că vor exista rezerve pentru a acoperi cererea în continuă creștere, timp de mai multe decenii de acum înainte;

- cel mai abundent combustibil fosil de care dispune omenirea este cărbunele, care produce peste jumătate din energia electrică a lumii;
 - SUA derulează în prezent un program foarte ambițios de 10 ani, în valoare de 2 miliarde USD, menit să facă mai eficientă utilizarea cărbunelui, reducând în același timp emisiile sale poluante și de gaze cu efect de seră – Inițiativa pentru Energie pe bază de Cărbune Curat, în cadrul căruia, cel mai interesant proiect este FutureGen, care vizează crearea primei centrale electrice din lume funcționând pe combustibili fosili și cu emisii zero! În contextul dezvoltării noilor tehnologii, combustibilii fosili care susțin economia de astăzi, vor continua să constituie sursele prioritare ale SUA, pentru încă mulți ani de acum înainte.
- La nivelul Uniunii Europene (EU-15), situația energiei electrice produse pe bază de cărbune, funcție de vârsta/numărul de grupuri generatoare și de procentajul din puterea totală instalată, așa cum era ea la nivelul anului 2002, este redată în Fig. 2.4 [Ardelean2006a]:

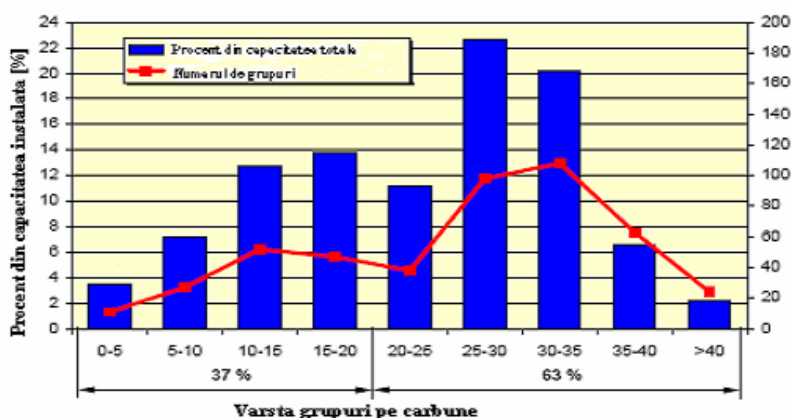


Fig. 2.4. Structura puterii instalate pe bază de cărbune în EU-15, în anul 2004

Se observă că 63% dintre grupuri au o vechime în exploatare de peste 20 de ani. În România procentajul este de 100%, reprezentând cca. 35% din puterea instalată.

Dezvoltarea centralelor electrice pe cărbune la nivel mondial (implicit și cel european), depinde într-o mare măsură de poziția competitivă a centralelor pe gaz, a celor nucleare, a centralelor hidro și a celor ce utilizează surse regenerabile de energie, pe de o parte, dar și de vârsta capacităților deja instalate, această dezvoltare făcându-se în contextul în care problemele de mediu au devenit reglementări obligatorii. La nivel global, centralele electrice pe bază de cărbune sunt cele mai îmbătrânite, comparativ cu celelalte enumerate, cu o mențiune în plus pentru cele bazate pe ciclul clasic, cu turbine pe abur și cărbune pulverizat, care sunt cel mai aproape de terminarea duratei lor de viață până în anul 2015.

În Fig. 2.5 se prezintă o evoluție a vârstei centralelor electrice la nivel mondial, funcție de capacitatea instalată, durata de viață și tipul centralei [Ardelean 2006a].

Se constată din figura de mai sus, că în anul 2005 peste 40% dintre centralele electrice aveau o vârstă mai mare de 30 de ani, necesitând să fie reabilitate și re tehnologizate.

De o importanță deosebită în privința viitorului combustibililor fosili și în special a cărbunelui, mi se pare identificarea unor tehnologii noi "curate" de exploatare și utilizare a acestuia. Recent, Autoritatea Cărbunelui din Marea Britanie, a acordat unei firme din Scoția – Thornton New Energy, filială a BCG Energy – prima licență pentru o astfel de tehnologie curată [www.bbc2009]. Tehnologia se numește UCG (Underground Coal Gasification) și constă în transformarea cărbunelui în combustibil gazos,

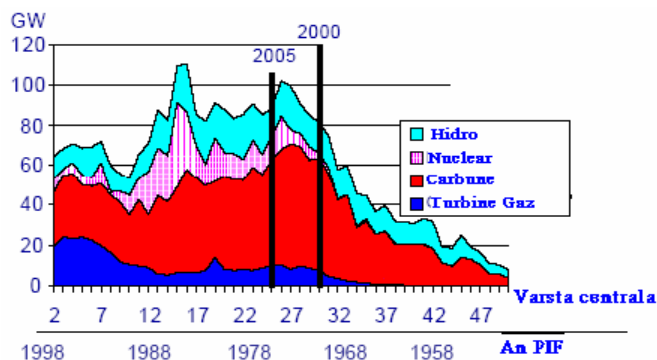


Fig. 2.5. Evoluția vârstei centralelor electrice la nivel mondial

încă din faza în care acesta se află sub pământ. Steve Walters director din Aberdeen al Thornton New Energy, afirmă că noua tehnologie permite captarea și stocarea CO₂, astfel încât întregul proces este însoțit de un nivel foarte scăzut al emisiilor de gaze. El apreciază această primă licență ca "o piatră de hotar" pentru Scoția, care va permite asigurarea integrală a energiei din surse proprii, eliminând importurile. "Combinând cu posibilitatea de captare și stocare a carbonului, gazeificarea subterană a cărbunului, poate furniza o soluție durabilă pe termen lung, ieftină, sigură și cu impact redus asupra mediului, care poate sigura aprovizionarea cu energie nu numai a Scoției, ci și a restului Marii Britanii, în următorii 200 de ani".

Din cele prezentate, se poate concluziona cu un grad ridicat de certitudine, că cel puțin pentru următoarele decenii, combustibilii fosili vor constitui surse prioritare de energie ("să dăm cezarului, ce este al cezarului !"). Baza de resurse existente pe plan mondial (aceasta însemnând *rezerve + resurse*), mai ales cea de cărbune, îndreptățește această afirmație. Preocupările viitoare privind valorificarea acestei baze de resurse, vor trebui să conducă la noi tehnologii cu randamente sporite și cu reducerea impactului asupra mediului, în activitatea de producere a energiei electrice și termice pe bază de combustibili fosili.

2.3. Perspectiva oferită de sursa nucleară

Grupul de lucru al Asociației Britanice pentru Europa (BEA) a încercat să dea un răspuns competent la întrebarea privind perspectiva sursei nucleare. Intoleranța publică față de opțiunea nucleară pare să scadă în fața realităților legate de cerințele de energie mereu crescânde și de siguranță în alimentarea cu energie. Cum este exploatată această tendință actuală de acceptare publică ? Iată câteva răspunsuri avizate [Ms.En.47/2005]:

- în SUA, un sondaj recent arată că opt din zece chestionați cred că energia din sursă nucleară va fi importantă în satisfacerea necesarului de energie electrică al SUA, 60% dintre cei chestionați susținând că ar trebui construite mai multe centrale nucleare;
- record în producția de uraniu din Australia, cu o producție totală de peste 10.500 tone de U₃₀₈, în 2004;
- Japonia este preocupată să-și dubleze participarea la programul nuclear până în 2050. Cu 53 reactoare nucleare active în prezent, domeniul nuclear va acoperi cca. 60% din producția totală de energie a țării, până în 2050;
- Grupul de Analiză al Centrului Suedez de Specializare și Siguranță Nucleară (KSU) susține că uraniul trebuie considerat ca o resursă energetică durabilă pe termen

lung, care va ajunge pentru sute de ani în condițiile tehnologiilor din prezent, dar care ar putea ajunge mii de ani dacă vor fi dezvoltate tipuri noi de reactoare;

- China a decis să se angajeze într-o extindere masivă a industriei sale civile pe bază de resurse nucleare, până în anul 2020.

La ora actuală în întreaga lume există 440 de reactoare nucleare comerciale, care operează în 31 de țări și care furnizează cca. 18% din producția mondială de energie electrică. Majoritatea capacităților nucleare noi apar în regiunea Asia-Pacific și în fostele state sovietice. Generarea energiei electrice din sursă nucleară produce emisii de bioxid de carbon foarte reduse, în comparație cu alte surse de generare. În perioada 2001-2003, cărbunul era combustibilul cu cea mai mare pondere dintre resursele majore pentru generare, în anul 2003 el reprezentând 26,5% din energia primară comercializată la nivel mondial. Această pondere va fi puternic modificată de Protocolul de la Kyoto, conceput să fie un angajament obligatoriu din punct de vedere legal pentru 38 de țări industrializate și Comunitatea Europeană. El prevede pentru aceste țări să-și limiteze sau să-și reducă emisiile pentru șase gaze cu efect de seră luate împreună, cu ponderi fixate la nivelul anului 1990 pentru CO₂, CH₄ și N₂O, respectiv la nivelul anului 1995 pentru hidrocarburile fluorurate. Aceste ținte trebuie atinse până în perioada 2008-2012. În această perspectivă, unul dintre argumentele serioase pentru viitoare investiții în energia din sursă nucleară, îl reprezintă emisiile de carbon aproape nule.

Recapitulând, se constată o ușoară revigorare a domeniului nuclear în lume, principalele argumente pentru viitoare investiții în acest domeniu fiind următoarele:

- emisiile de carbon sunt aproape nule în procesul de generare a energiei electrice;
- dependența redusă față de gazul din import;
- alimentare sigură cu energie electrică din surse nucleare, va spori rezistența față de inflația prețurilor la combustibilii fosili.

Acestea ar fi argumentele pro, dar continuă să persiste și unele argumente contra, dintre care cele mai importante sunt următoarele:

- costurile ridicate ale investițiilor inițiale în sursa nucleară;
- producția relativ inflexibilă a acestor surse;
- nesiguranța legată de viitoarele reglementări cu privire la planificarea și obținerea de licențe.

În orice caz, atitudinea publică față de energia electrică din sursă nucleară pare să fie în schimbare, cu un sprijin tot mai mare acordat construirii de noi centrale nucleare, pentru a le înlocui pe cele depășite, care vor fi dezafectate. Astfel, în Africa de Sud se construiește, cu titlu de pionierat, Reactorul Modular cu strat de "piatră mărunță", care utilizează mici sfere de combustibil pentru a produce o foarte eficientă generare a electricității din căldura nucleară (centrala va fi finalizată în anul 2015). În Finlanda se construiește un reactor nuclear nou, există posibile comenzi pentru noi reactoare în Franța, iar în SUA se acordă permisiuni pentru terenuri, pentru deschiderea de șantiere cu profil nuclear. Se acordă o susținere publică mai mare în Italia, Suedia și Germania. Un avantaj important al combustibilului nuclear, în termeni de siguranță în alimentare, îl reprezintă volumul său extrem de redus. Ca exemplu, o țară ca Franța sau Marea Britanie, în orice moment este capabilă să stocheze cantitatea de uraniu necesară producției de energie pentru mai mulți ani, în timp ce necesarul de petrol sau gaze naturale, nu se poate depozita decât ca rezerve pentru câteva săptămâni sau luni.

Specialiștii de la BEA sunt de acord că situația viitoare a energiei din sursă nucleară, va fi determinată de modul în care vor evolua răspunsurile la întrebări de următorul gen:

- se va putea baza industria pe proiecte care sunt mai rapid și mai ieftin de construit și mai fiabile în operare ?
- pot guvernele să producă regimuri stabile de planificare și de acordare a licențelor, care să nu ia în considerare tehnologia ?
- este oare lumea în stare să ia în serios schimbările climatice ?

Revitalizarea domeniului nuclear va depinde de măsura în care guvernele, întreprinderile de afaceri și industria, vor găsi modalitățile practice pentru realizarea acestui deziderat, acordând în același timp o atenție deosebită problemei reziduurilor, finanțării și sprijinului guvernamental.

În România, există o singură centrală nucleareo-electrică – CNE Cernavodă, care a fost gândită pentru o capacitate finală de 5x700 MW. În momentul de față sunt în funcțiune două grupuri de 700 MW. Primul grup a intrat în exploatare la 1 decembrie 1996, iar cel de al doilea la 1 noiembrie 2007. Factorul de utilizare a puterii instalate la unitatea 1, pe toată durata de funcționare a acesteia (decembrie 1996 - octombrie 2008), este de 87,97% [Energ.12/2008]. În anul 2008, până la 31 octombrie, Unitatea 1 a înregistrat un factor de utilizare a puterii instalate de 81,45%. Valoarea mai redusă față de realizările anterioare, a fost determinată de durata mai mare a opririi planificate în 2008 (52 zile), care, pentru prima dată s-a desfășurat conform ciclului "1 revizie la 2 ani". Acest ciclu va permite în final o creștere generală a producției și o îmbunătățire a indicatorilor de performanță ai centralei. În perioada amintită a anului 2008, Unitatea 2 a realizat un factor de utilizare de 96,69%, performanță remarcabilă pentru primul său an de exploatare. Nuclearelectrica este, după Hidroelectrică, al doilea mare producător de energie electrică din România.

Nuclearelectrica, împreună cu șase investitori – ArcelorMittal, CEZ, GdF-Suez, Enel, Iberdrola și RWE Power – au semnat la 20 noiembrie 2008, Acordul Investitorilor pentru înființarea companiei de proiect SC EnergoNuclear SA, care va construi, pune în funcțiune și exploata Unitățile 3 și 4 de la CNE Cernavodă [NewsIn2009].

În urma negocierilor s-a decis ca împărțirea acțiunilor între partenerii de proiect să fie astfel: Nuclearelectrica (51%), CEZ, GdF-Suez, Enel și RWE Power (câte 9,15%) și ArcelorMittal și Iberdrola (câte 6,2%). Compania de proiect este cea care își va recalcula singură suma necesară investiției la cele două reactoare. Ea are termen un an și jumătate pentru a anunța noua sumă necesară finalizării proiectului. Proiectul urmează să fie notificat Comisiei Europene în baza tratatului Euratom. Proiectul se va realiza în două etape: etapa de pre-proiect, care se estimează să dureze 18 luni de la înregistrarea viitoarei societăți comerciale și a doua etapă, care este etapa propriu-zisă de realizare a proiectului, având o durată de circa șase ani.

Costul estimat pentru cele două reactoare este de 4 miliarde euro. Fiecare unitate va avea o putere instalată de 720 MW. Durata de viață a unei unități este de 30 de ani, cu posibilitatea prelungirii la 40 de ani. Unitățile 3 și 4 de la CNE Cernavodă vor folosi tehnologie de tip CANDU 6.

2.4. Sursele regenerabile de energie – o alternativă viabilă pe termen lung

Subcapitolul 2.4 are la bază lucrările proprii [Ardelean2006a] și [Ardelean2006e], actualizate cu elementele specifice ultimilor trei ani.

2.4.1. Prezentarea surselor regenerabile de energie

De mii de ani omenirea a zeificat puterea soarelui, a vântului și a apei, iar acestor "zei" le-au oferit ofrande. Era o formă de recunoaștere a energiei nelimitate primite de la ei. De aceea nu este de mirare, că cea mai cuprinzătoare, dar și cea mai simplă și sintetică definiție pentru un concept care va apărea peste mai bine de două milenii – *regenerabil* – îl găsim în "Cartea Cărților", adică în Biblie. Cartea Ecclesiastul, scrisă în jurul anului 935 î.H. de către împăratul Solomon (care se intitulează pe sine "fiul lui David, rege în Ierusalim"), menționează la Cap. 1, versetele 5, 6 și 7:

5. Soarele răsare, soarele apune și zorește către locul lui ca să răsară iarăși.
6. Vântul suflă către miazăzi, vântul se întoarce către miazănoapte și, făcând roate-roate, el trece neîncetat prin cercurile sale.
7. Toate fluviile curg în mare, dar marea nu se umple, căci ele se întorc din nou la locul din care au plecat.

Absolut fascinante înțelepciunea, adevărul, claritatea și simplitatea exprimării!

Într-o singură privință, părerile tuturor organismelor internaționale care se preocupă de problemele energiei, sunt convergente: în viitor vor fi promovate doar tehnologiile curate, adică acelea care nu dăunează în nici un fel mediului.

În [Ardelean2006a] se apreciază că sursele regenerabile de energie împreună cu promovarea unei eficiențe sporite în producerea, transportul, distribuția, furnizarea și utilizarea energiei electrice, vor constitui pe termen lung o alternativă viabilă, capabilă să răspundă nevoilor de energie mereu crescânde ale omenirii, cel puțin datorită următoarelor argumente:

- sursele regenerabile sunt nepuizabile;
- sursele regenerabile au cel mai scăzut impact asupra mediului;
- cea mai sigură sursă de energie este economisirea ei, printr-o eficiență sporită.

De aceea se consideră că abordarea surselor regenerabile de energie cu toată seriozitatea în România nu este decât o chestiune de timp. Bani s-au găsit și până acum și cu atât mai vârtos se vor găsi în viitor, având în vedere sprijinul pe care Uniunea Europeană (UE), îl acorda promovării energiilor regenerabile.

Sursele de energie primară, numite în general regenerabile, sunt acele surse din mediul natural, disponibile în cantități practic nelimitate sau care se regenerează prin procese naturale, într-un ritm mai rapid decât cel în care sunt consumate. Conform [HG1535/2003], care aprobă Strategia de valorificare a surselor regenerabile de energie (SRE), acestea sunt surse de energie din categoria nefosile: energia solară, energia eoliană, hidroenergia, biomasa, energia geotermală, biogazul, gazele rezultate din fermentarea deșeurilor (gazul de depozit), gazul de fermentare a nămolurilor în instalațiile de epurare a apelor uzate:

- *energia solară* – provine din radiația solară, din care se obține fie energie electrică pe baza tehnologiei fotovoltaice, fie energie termică prin conversie termo-solară;
- *energia eoliană* – provine din potențialul energetic al vântului și transformarea lui în energie electrică, transferată către sistemul energetic sau direct către consumatori;
- *energia hidro* – este energia furnizată de unitățile hidroenergetice. Cele cu putere instalată mai mică sau egală cu 10 MW constituie categoria "hidroenergie mică", iar unitățile hidroenergetice mai mari de 10 MW categoria "hidroenergie mare";
- *biomasa* – reprezintă fracțiunea biodegradabilă a produselor, deșeurilor și reziduurilor din agricultură, silvicultură sau sectoare industriale conexe, precum și a deșeurilor industriale și urbane;
- *energia geotermală* – rezultă din energia înmagazinată în depozite și zăcăminte hidrogeotermale subterane, exploatabile în condiții de eficiență economică;
- *biogazul, gazele de fermentare deșeuri sau nămoluri etc.* sunt produse de animale sau de reziduurile menționate și pot fi utilizate pentru producerea de energie termică sau electrică.

În literatura de specialitate mai sunt menționate și alte surse din această categorie de regenerabile:

- *energia valurilor* – derivă din energia eoliană, potențialul acestui tip de energie fiind repartizat, ca o consecință, în funcție de frecvența și intensitatea vânturilor care pun în mișcare stratul superficial de apă al Oceanului Planetar;
- *energia mareelor* – denumită și "cărbunele verde", este determinată de atracția exercitată de Soare și Lună asupra apei mărilor și oceanelor. Valorificarea eco-

nomică a mareelor este posibilă numai acolo unde diferența de nivel dintre flux și reflux depășește 8 m, fenomen întâlnit cel mai adesea în golfuri și strâmtori;

- *energia curenților marini* – curenții marini sunt mișcări orizontale ale unor mase mari de apă, sub influența vântului, a diferențelor de densitate, de temperatură sau salinitate dintre două puncte. Se consideră că această sursă de energie va fi fezabilă după anul 2020, când se vor descoperi tehnologii adecvate.

În ceea ce privește *Hidrogenul ca sursă de energie*, Oceanul Planetar poate constitui principala sursă de hidrogen pentru energia mondială. Acesta nu poate fi considerat ca o resursă energetică primară, deoarece se găsește în combinație stabilă, apa, a cărei descompunere prin electroliză, implică un consum de energie mai mare decât cea obținută prin valorificarea hidrogenului rezultat. Cu toate acestea, hidrogenul este considerat de foarte mare perspectivă, datorită avantajelor pe care le prezintă: posibilitatea de a fi obținut prin diverse procedee chimice, electrotehnice și biologice, randament energetic ridicat, toxicitate redusă, capacitatea de a fi stocat în stare lichidă și de a fi transportat prin conducte, acceptabilitate din punct de vedere ecologic etc.

Energia electrică produsă din SRE este energia electrică furnizată exclusiv din SRE, precum și cota de energie electrică produsă din SRE în centrale hibride, care utilizează și surse convenționale de energie.

Valorificarea SRE se realizează pe baza a trei premise importante conferite de acestea: accesibilitate, disponibilitate și acceptabilitate [CME2002], [Ardelean2002c], [Ardelean2002d]:

Accesibilitatea la o energie modernă, înseamnă că energia trebuie să fie disponibilă la prețuri suportabile (suficient de scăzute pentru persoanele cele mai sărace) și durabilă. Prețurile care reflectă costurile reale de producere, transport și distribuție a energiei, să fie în așa fel stabilite încât să sprijine capacitatea financiară a întreprinderii, să mențină și să dezvolte serviciile energetice.

Disponibilitatea energiei, se referă la continuitatea în furnizare pe termen lung și servicii de calitate pe termen scurt, deoarece o penurie de energie sau o întrerupere a furnizării, împiedică activitatea economică.

Acceptabilitatea energiei, se referă la luarea în considerare a aspectelor sociale și a protecției mediului (poluarea locală, regională și globală).

În mod deosebit se discută despre locul SRE într-o piață a energiei deschisă, având rolul de principale promotoare ale conceptului de *generare distribuită* și de componente esențiale ale efortului de *dezvoltare durabilă*, semnificând o dezvoltare care îndeplinește nevoile prezentului, fără a compromite posibilitatea ca generațiile viitoare să-și îndeplinească propriile cerințe.

2.4.2. Politica energetică a României în domeniul SRE

Potențialul energetic al SRE din România, în conformitate cu studiile de specialitate, ale căror rezultate au fost preluate în [HG1535/2003], este prezentat în Tabelul 2.4.

Tabelul 2.4. Potențialul energetic al SRE din România

SRE	Potențialul energetic anual	Echivalent economic energie [mii tep]	Aplicație
Energie solară: termică	60 x 10 ⁶ GJ	1433,0	energie termică
fotovoltaică	1.200 GWh	103,2	energie electrică
Energie eoliană	23.000 GWh	1978,0	energie electrică
Energie hidro din care: < 10 MW	40.000 GWh 6.000 GWh	516,0	energie electrică
Biomasă	318 x 10 ⁶ GJ	7597,0	energie termică
Energia geotermală	7 x 10 ⁶ GJ	167,0	energie termică

În sectorul energetic, SRE oferă o soluție fezabilă și accesibilă pe termen mediu și lung. Promovarea valorificării SRE este unul dintre obiectivele prioritare ale politicii energetice actuale, după cum rezultă din Strategia de valorificare a SRE. Accelerarea ritmului de exploatare a SRE din România, se justifică prin beneficiile pe care acestea le conferă:

- creșterea securității în alimentarea cu energie;
- promovarea dezvoltării regionale;
- asigurarea normelor de protecție a mediului;
- diminuarea emisiilor de gaze cu efect de seră.

Obiectivele generale ale Strategiei naționale de valorificare a SRE, sunt:

- integrarea SRE în structura Sistemului Energetic Național (SEN);
- diminuarea barierelor tehnico-funcționale și psiho-sociale în procesul de valorificare a SRE, simultan cu identificarea elementelor de cost și de eficiență economică;
- promovarea investițiilor private și crearea condițiilor pentru facilitarea accesului capitalului străin pe piața SRE;
- asigurarea independenței consumului de energie al economiei naționale;
- asigurarea, după caz, a alimentării cu energie a comunităților izolate, prin valorificarea potențialului SRE locale;
- crearea condițiilor de participare a României la piața europeană de "CertIFICATE VERZI" pentru energie din SRE.

Obiectivele specifice ale Strategiei naționale de valorificare a SRE sunt prezentate distinct pentru fiecare tip de sursă [HG1535/2003]:

- *energia solară* – se vor crea sisteme energetice solar-fotovoltaice și/sau solar-termice, cu sau fără conectarea la rețeaua energetică. Aplicațiile solar-termale se vor realiza cu captatori (inclusiv componentele auxiliare), care vor însuma o suprafață de cca. 150 000 mp. În aplicațiile fotovoltaice s-au identificat mai multe tipuri de proiecte:
 - sisteme fotovoltaice autonome pentru electrificări rurale, cu aplicații în Munții Apuseni, în nordul Moldovei, parcuri naturale (Delta Dunării) etc.;
 - sisteme fotovoltaice conectate la Rețeaua Electrică de Distribuție (RED):
 - minicentrale solar-fotovoltaice, cu puteri instalate de la câteva sute de kW până la 1 MW, în zona litoralului Mării Negre;
 - sisteme fotovoltaice de 1-5 kW, conectate la rețea în orașe mari, litoral etc.
- *energia eoliană* – studiile de specialitate au identificat un potențial de cca. 14.000 MW putere instalată, care ar putea furniza 23 000 GWh/an. În zona platoului continental al Mării Negre ("off-shore"), studiile întreprinse evidențiază un potențial eolian de cca. 2 000 MW, considerat fezabil pe termen lung (> 20 ani);
- *hidroenergia* – studiul privind valorificarea potențialului hidroenergetic din România, conferă posibilități de realizare a unui număr de 780 de unități (cu putere instalată maximă de 10 MW/unitate), cu o putere totală de 2 150 MW, care ar putea furniza 6.000 GWh/an. Pe termen lung, se estimează că puterea totală instalată în unități hidro noi va fi de cca. 840 MW, din care 240 MW în centrale de mică putere;
- *biomasa* – ar putea să acopere cca. 70% din angajamentele României referitoare la aportul SRE în energia totală consumată. Obiectivul principal privind utilizarea biomasei, constă în asumarea unui consum echivalent de cca. 3 350 tep, până în anul 2010. Pentru realizarea obiectivelor specifice de exploatare energetică a biomasei, se va acorda prioritate următoarelor acțiuni:
 - creșterea cantității disponibile de biomasă pentru producerea de energie;
 - diversificarea formelor de biomasă cu potențial energetic atestat în unități pilot, prin ardere/gazeificare;
 - promovarea de soluții tehnice prin arderea combinată de cărbune și biomasă, adoptarea de soluții adecvate condițiilor locale și de rețehnologizare a capacităților existente;

- organizarea de campanii promoționale referitoare la avantajele producerii de energie din biomasă, cu consecințe directe asupra mediului înconjurător, sau în restructurarea economiei rurale/locale;
- *energia geotermală* – obiectivele programului de valorificare eficientă a potențialului hidrogeotermal din România, constau din:
 - elaborarea de studii de fezabilitate și consultanță, cu soluții de implementare și asimilarea de tehnologii și echipamente performante;
 - diseminarea și valorificarea datelor și informațiilor aferente programelor de tehnologizare și implementare curentă;
 - definitivarea proiectelor (aplicații) demonstrative de valorificare complexă a potențialului hidrogeotermal din România;
 - elaborarea unui cadru legislativ de norme și reglementări pentru valorificarea surselor geotermale în condiții de eficiență economică ridicată.

Punerea în funcțiune a unor capacități noi de producere de energie din SRE, cu o putere totală instalată de 441,5 MW – energie electrică, respectiv 3 274,64 mii tep – energie termică, în perioada 2003-2010. Pentru perioada 2011-2015 se prevede instalarea unei puteri totale de 789 MW – energie electrică, respectiv 3527,7 mii tep – energie termică. În Tabelul 2.5 sunt prezentate capacitățile energetice noi și efortul investițional total, în perioada 2003-2010, respectiv 2011-2015 [HG1535/2003].

Tabelul 2.5. Capacități energetice noi și efortul investițional

Surse regenerabile de energie	Perioada 2003-2010		Perioada 2011-2015	
	Capacități noi	Efort investițional total [mil.Euro]	Capacități noi	Efort investițional total [mil.Euro]
Solar-termal	7,34 mii tep	75,0	16,0 mii tep	93,0
Solar-electric	1,5 MW	7,5	9,5 MW	48,0
Eoliană	120,0 MW	120,0	280,0 MW	280,0
Hidro (<10 MW)	120,0 MW	150,0	120,0 MW	120,0
Biomasă-termal	3.249,8 mii tep	240,0	3 487,8 mii tep	200,0
Biomasă-electric	190,0 MW	280,0	379,5 MW	400,0
Geotermală	17,5 mii tep	15,0	23,9 mii tep	12,0
Total	341,5 MW	887,5	789,0 MW	1 153,0

La nivelul anului 2010, contribuția SRE va conduce la diminuarea importului de resurse energetice primare cu un echivalent de 4 964,5 mii tep (pondere 11%), iar pentru anul 2015 se prognozează o economie de 5 537,2 mii tep (pondere 11,2%). Ponderea SRE pe tipuri de resurse, în consumul total de resurse primare din România pentru anii 2000, 2010 și 2015 este prezentată în Tabelul 2.6.

Tabelul 2.6. Ponderea SRE în consumul total de resurse primare din România

Surse regenerabile de energie	Anul 2000 [mii tep]	Anul 2010 [mii tep]	Anul 2015 [mii tep]
Energie solară:	-	7,50	17,00
- solar-termic	-	7,34	16,00
- solar-electric	-	0,16	1,00
Energie eoliană	-	27,00	86,10
Energie hidro:	1 272	1 565,20	1 608,20
- hidroenergia mare	1 185	1 470,60	1 470,60
- hidroenergia mică	87	94,60	137,60
Energie din biomasă:	2 772	3 347,30	3 802,00
- biomasă-termal	2 772	3 249,80	3 487,80
- biomasă-electric	-	97,50	314,20
Energie geotermală	-	17,50	23,90
Total (inclusiv hidroenergia mare) [mii tep]:	4 044	4 946,00	5 537,20
Ponderea SRE în consumul total de resurse primare de energie [%]:	10,01	11,00	11,20

Susținerea proiectelor de investiții și identificarea surselor de finanțare în domeniul SRE, se vor realiza prin următoarele acțiuni:

- inițierea unor acțiuni legislative și instituirea cooperării instituționale directe între autoritatea centrală și autoritățile executive locale;
- atragerea de fonduri directe pentru exploatarea SRE, inclusiv prin mecanisme aplicate conform Protocolului de la Kyoto;
- susținerea implementării proiectelor în domeniul gestiunii și valorificării deșeurilor (producere de biogaz, utilizare deșeuri forestiere la producerea energiei termice, incinerare deșeuri urbane cu recuperarea căldurii etc.);
- valorificarea potențialului energetic al râurilor interioare, prin construirea de centrale hidroelectrice de mică putere (max. 10 MW).

2.4.3. Cadru legislativ și norme

□ **Legislație primară**

- HG 1661/2008 privind aprobarea Programului național pentru creșterea eficienței energetice și utilizarea resurselor regenerabile de energie în sectorul public, pentru anii 2009-2010;
- HG 1538/2008 privind modificarea art. 4 alin. (2) din HG nr. 1892/2004 pentru stabilirea sistemului de promovare a producerii energiei electrice din surse regenerabile de energie;
- HG 1461/2008- aprobarea -Procedurii privind emiterea garanțiilor de origine pentru energia electrică produsă în cogenerare de eficiență înaltă;
- Legea nr. 220/2008 pentru stabilirea sistemului de promovare a producerii energiei din surse regenerabile de energie;
- HG 750/2008- pentru aprobarea Schemei de ajutor de stat regional privind valorificarea resurselor regenerabile de energie;
- Legea nr. 13/2007 – Legea Energiei;
- HG 1535/2004 - privind aprobarea Strategiei de valorificare a surselor regenerabile de energie;
- HG 1429/2004 - privind aprobarea Regulamentului de certificare a originii energiei electrice produse din surse regenerabile de energie;
- HG 443/2003 - pentru promovarea producției de energie electrică din surse regenerabile de energie;
- HG 1892/2004 – privind stabilirea sistemului de promovare a producerii energiei electrice din surse regenerabile de energie;
- HG 958/2005 - pentru modificarea HG 443/2003 și pentru modificarea și completarea HG 1892/2004 pentru promovarea producției de energie electrică din surse regenerabile de energie.

□ **Legislația secundară (reglementări ANRE)**

- Ordin ANRE nr. 23/2004 - Procedură de supraveghere a emiterii Garanțiilor de origine pentru energia electrică produsă din SRE;
- Ordin ANRE nr. 20/2005 - Stabilirea valorilor minime și maxime de tranzacționare a certificatelor verzi pentru anul 2005. Metodologia de stabilire a valorilor minime și maxime de tranzacționare a Certificatelor Verzi;
- Ordin ANRE nr. 19/2005 - Metodologia de tranzacționare a valorilor minime și maxime de tranzacționare a Certificatelor Verzi pentru anul 2005;
- Ordin ANRE nr. 22/2006 - Regulamentul de organizare și funcționare a pieței de Certificate Verzi;
- Ordin ANRE nr. 52/2005 - Stabilirea tarifului de achiziție a energiei electrice de la producătorii hidroelectrici care nu dețin contracte de portofoliu și la cea vândută de producătorii care beneficiază, potrivit legii, de sistemul de promovare a energiei produse din surse regenerabile;

- Ordin ANRE nr. 45/2005 - Procedură de alocare a sumelor rezultate din neîndeplinirea de către furnizorii de energie electrică a cotelor obligatorii de achiziție de Certificate Verzi;
- Ordin ANRE nr. 37/2006 – privind aprobarea modificării cotei obligatorii de achiziție de certificate verzi de către furnizorii de energie electrică pentru anul 2006;
- Ordin ANRE nr. 38/2006 - Procedură pentru monitorizarea pieței de Certificate Verzi;
- Ordin ANRE nr. 39/2006 - Regulamentul pentru calificarea producției prioritare de energie electrică din surse regenerabile de energie.

2.4.4. Realizări în România, în UE și pe plan mondial privind valorificarea SRE

Pentru a avea o imagine clară în privința ponderii energiei electrice produse din SRE la nivel mondial, în Tabelul 2.7 se prezintă producția netă de energie electrică la nivelul anului 2000 [TWh], defalcată pe tipuri de surse și pe regiunile reprezentative ale lumii (conform IEE Power&Energy Magazine july/august 2005):

Tabelul 2.7. Producția netă de energie electrică la nivel mondial în 2000 [TWh]

Regiunea	Combustibili fosili	Hidro	Nuclear	Regenerabile	Total
America de Nord	2997,0	657,6	830,4	99,0	4584,0
America de Sud și Centrală	204,1	545,0	10,9	17,4	777,4
Europa de Vest	1365,4	557,5	894,4	74,8	2892,1
Europa de Est	1043,7	253,5	265,7	3,9	1566,8
Orientul Mijlociu	425,3	13,8	0	0	439,1
Africa	333,7	69,8	13,0	0,4	416,9
Asia și Oceania	2949,2	528,7	464,7	43,1	3985,7
Total [TWh]	9318,4	2625,9	2479,1	238,6	14662,0
Total [%]	63,6	17,9	17,9	1,6	100,0

Din analiza tabelului se constată un aport extrem de scăzut al SRE, de numai 1,6%. În ceea ce privește situația din Europa, conform previziunilor VGB Power Tech, până în anul 2020, diferența dintre cererea de energie electrică și capacitatea de producere a acesteia în Europa, se va situa în jur de 300 000 MW (Fig. 2.6), având drept cauze:

- creșterea cererii de energie (100.000 MW);
- scoaterea din uz a unor capacități instalate, datorită vechimii (200.000 MW).

Întrebarea logică este, cum se va acoperi această diferență dintre cerere și ofertă, prin valorificarea resurselor de care dispune Europa, sau prin import de energie? Chiar dacă răspunsul la această întrebare este foarte greu de dat astăzi și constituie probabil una dintre cele mai mari provocări pentru anii care vor urma, se consideră că SRE vor avea un rol hotărâtor.

Obiectivele majore ale politicii UE în domeniul energiei sunt următoarele: siguranța alimentării cu energie, sisteme de energie competitive și protecția mediului. Creșterea dependenței UE de sursele externe de energie, combaterea schimbărilor climatice și liberalizarea piețelor de energie, au accentuat importanța siguranței alimentării cu energie, așa cum se reflectă și în Cartea Verde "Spre o strategie europeană pentru siguranța în alimentarea cu energie". Acest document consideră că SRE pot contribui semnificativ la creșterea resurselor interne de energie și definește sursele

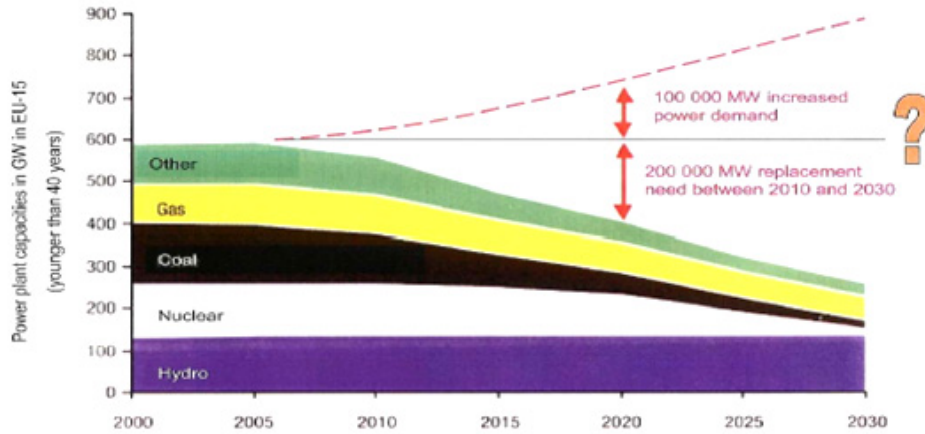


Fig. 2.6. Evoluția cererii de energie în Europa, versus capacități de producție

noi și regenerabile de energie, drept o prioritate politică. Utilizarea SRE răspunde prin urmare, atât limitării dependenței UE de sursele externe de energie, cât și respectării obligațiilor de mediu asumate prin Protocolul de la Kyoto, ratificat de către Uniunea Europeană la 5 martie 2002. Gradul de dependență al Europei față de sursele externe de energie, este în prezent de 50% și riscă să crească la 70% până în 2030, dacă nu se iau măsuri hotărâte. În complexul de măsuri cuprinse în strategia europeană, cea mai importantă acțiune este dezvoltarea surselor noi, regenerabile.

Directiva [EC/77/2001] din 27 septembrie 2001 privind "Promovarea energiei electrice produse din surse regenerabile, pe piața unică de energie", prevede dublarea până în 2010 a contribuției SRE la totalul consumului de energie din țările UE și anume de la 6% la 12%. Un alt obiectiv al Directivei este creșterea contribuției SRE de la 14% la 22% din consumul brut de energie electrică, tot până în 2010. Directiva impune statelor membre o serie de măsuri de încurajare a producției de energie electrică din SRE și crearea de facilități pentru agenții economici care valorifică astfel de resurse. Principalele prevederi ale Directivei sunt:

- stabilirea unei cote țintă pentru fiecare țară, privind consumul de energie electrică produsă din SRE;
- introducerea unor scheme financiare de support pentru producția din SRE ;
- simplificarea procedurilor administrative pentru proiectele ce valorifică SRE;
- acces garantat și prioritar la rețelele de transport și distribuție pentru energia electrică provenită din SRE;
- garantarea originii energiei electrice produse din SRE.

Comisia Europeană va monitoriza implementarea Directivei. În Tabelul 2.8 sunt prezentate valorile de referință pentru energia electrică obținută din SRE, în anul 1997 în EU-15, în [TWh] și [%], precum și cotele țintă pentru 2010, în [%]. Pentru comparație se prezintă și România, cu precizarea că cifrele cuprind și producția centralelor hidro [Ms.En.21/2003].

Schemele de suport pentru SRE introduse deja în multe țări, se pot rezuma în esență la două modele de bază [Ardelean2006a]:

- prețul energiei produse din SRE este stabilit administrativ, iar cantitatea de energie debitată este stabilită de piața de energie;
- cantitatea de energie produsă sau consumată din SRE ("energie verde") este stabilită administrativ, iar prețul certificatelor de energie verde este stabilit de piața de energie.

Tabelul 2.8. Energia electrică obținută din SRE în EU-15

Țara	Anul 1997 SRE [TWh]	Anul 1997 SRE [%]	Anul 2010 SRE [%]
Belgia	0,86	1,1	6,0
Danemarca	3,21	8,7	29,0
Germania	24,91	4,5	12,5
Grecia	3,94	8,6	20,1
Spania	37,15	19,9	29,4
Franța	66,00	15,0	21,0
Irlanda	0,84	3,6	13,2
Italia	46,46	16,0	25,0
Luxemburg	0,14	2,1	5,7
Olanda	3,45	3,5	9,0
Austria	39,05	70,0	78,1
Portugalia	14,30	38,5	39,0
Finlanda	19,03	24,7	31,5
Suedia	72,03	49,1	60,0
Regatul Unit	7,04	1,7	10,0
Total UE-15	338,41	13,9	22,0
România	16,76	29,0	32,0

Cea de-a doua schemă, este numită comerț cu Certificate Verzi. Certificatele verzi sunt emise pentru producători, pentru fiecare unitate de energie produsă din SRE de către o instalație eligibilă și sunt denumite în unități de energie (de ex. MWh). Certificatele de origine emise la nivel național, vor fi recunoscute mutual pe piața europeană de electricitate. Procedurile principale pentru promovarea pe piață a comerțului cu Certificate Verzi, sunt următoarele:

- acreditarea producătorilor eligibili;
- emiterea de certificate;
- controlul calității (verificare și audit);
- mecanisme pentru transferul și comercializarea certificatelor.

Pentru implementarea acestor proceduri, sunt necesare instituții responsabile pentru control, implementare și funcționare. În anul 2010, cifra de afaceri a comerțului cu Certificate Verzi în Europa, se estimează la 20 miliarde euro. Politica de promovare a SRE, a dat roade evidente în ultimii ani.

România, țară aderată la Uniunea Europeană de la 01.01.2007, prin acțiunile întreprinse în ultimii ani, se aliază la efortul comun făcut de statele membre ale UE în promovarea SRE. Prin [HGR443/2003], s-au transpus pentru România prevederile Directivei Europene [CE/77/2001], stabilind următoarele:

- ținta națională de 33% energie electrică produsă din SRE în consumul național brut de energie electrică, pentru anul 2010;
- termene și responsabilități clare pentru ministerul de resort și autoritățile competente, respectiv ANRE și ARCE;
- obligativitatea introducerii de scheme de sprijin a energiei produse din SRE, compatibile cu principiile mecanismelor de piață;
- necesitatea eliminării eventualelor bariere administrative sau de reglementare în promovarea energiei produse din SRE;
- obligativitatea certificării originii energiei electrice produse din SRE.

Este energia electrică produsă din SRE mai scumpă decât cea produsă prin arderea combustibililor fosili? Răspunsul la această întrebare, la prima vedere, este evident afirmativ. Nu întâmplător, în toate țările în care se produc cantități importante de energie electrică din SRE, sunt aplicate mecanisme de stimulare financiară a acestei producții. Fără astfel de mecanisme, energia electrică produsă din SRE nu ar fi competitivă într-o piață concurențială. Întrebarea de fond este însă alta. Prețurile

practicată pe piața concurențială, reflectă într-adevăr costurile? Actualele prețuri, nu reflectă cel puțin trei elemente: costurile de mediu, subvențiile și riscul investițional [Ardelean2006a], [Ardelean2006e]. Din datele prezentate în literatura de specialitate, rezultă o subvenționare a surselor convenționale de energie (combustibilii fosili), în medie cu 18,1 USD/MWh. Aceste subvenții îmbracă o mare varietate de forme: ajutoare de stat pentru minerit, măsuri protecționiste și obligații de cumpărare a cărbunelui indigen, subvenții la consumatori pentru încălzire și energie electrică, reduceri de taxe (inclusiv TVA), dobânzi preferențiale, cercetare subvenționată, diverse forme de compensare din bani publici a neplății facturilor unor consumatori de energie electrică și gaze naturale etc. SRE beneficiază de subvenții de patru ori mai reduse. În privința riscului, se constată că la analiza oportunității proiectelor de investiții bazate pe surse fosile de energie, nu sunt luate în considerare, tocmai volatilitatea prețurilor și incertitudinea căilor de aprovizionare. Riscul de reglementare, mai ales în ceea ce privește protecția mediului (în condițiile schimbărilor climatice vizibile), este un alt factor defavorizant pentru construcția de termocentrale. În Fig. 2.7 se prezintă costul energiei defalcat pe tipuri de resurse, fără a lua în considerare riscurile (stânga) și cu luarea în considerare a riscurilor (dreapta).

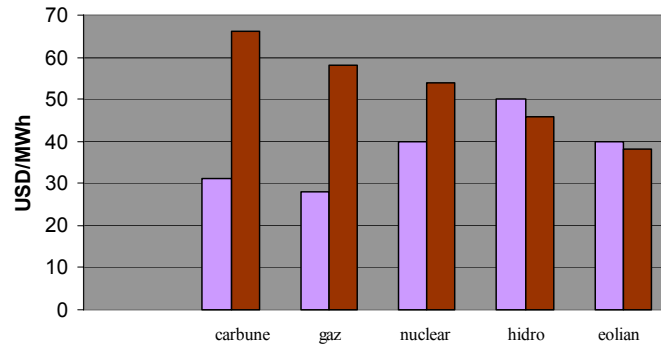


Fig. 2.7. Costul energiei fără luarea în considerare a riscurilor (stânga) și cu luarea în considerare (dreapta)

În [CME2002] se afirmă că pentru a face ca SRE să fie competitive cu sursele clasice, sunt necesare subvenții de cca. 3 cenți US/kWh, sau, echivalentul în costuri de investiții de cca. 1000 USD/kW instalat.

Mecanismele de promovare a SRE sunt următoarele:

- sprijin direct prin prețurile practicate pentru fiecare tip de SRE;
- ajutor acordat pentru investiții;
- adoptare de măsuri fiscale de promovare;
- sprijin pentru activitatea de cercetare-dezvoltare;
- ajutor indirect pentru dezvoltarea diferențiată pe fiecare tip de SRE.

În Fig. 2.8 se prezintă structura producției de energie electrică a României în anul 2008, pe tipuri de resurse [www.tel2008]. Se constată că ponderea energiei produse în hidrocentrale (surse regenerabile) în anul 2008 a fost de 26%, cifră apreciabilă în condițiile unui an secetos, în alți ani ponderea fiind 29%. Această pondere a stat la baza negocierii celor 33 % ca țintă națională pentru energia produsă din SRE pentru 2010, în Tratatul de aderare la UE, la capitolul Energie [HGR890/2003].

În Fig. 2.9 se prezintă evoluția structurii puterii instalate în centralele electrice din România în perioada 2004-2009, pe tipuri de surse (cărbune, hidrocarburi, nuclear, hidro și eolian) [www.tel2008].

Se observă dublarea puterii instalate în nuclear începând cu 2007 (odată cu punerea în funcțiune a celui de al doilea grup de la Cernavodă), o creștere ușoară dar constantă în hidro și începutul instalării de centrale eoliene.

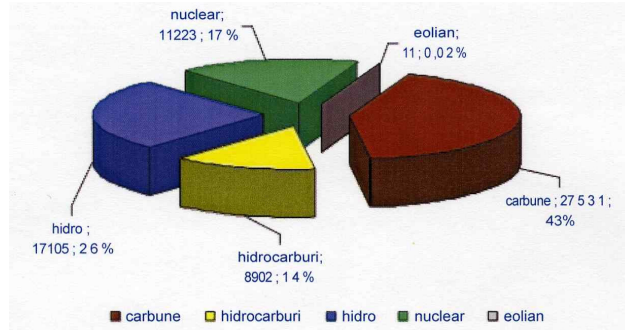


Fig. 2.8. Structura producției de energie electrică a României în 2008, pe tipuri de resurse

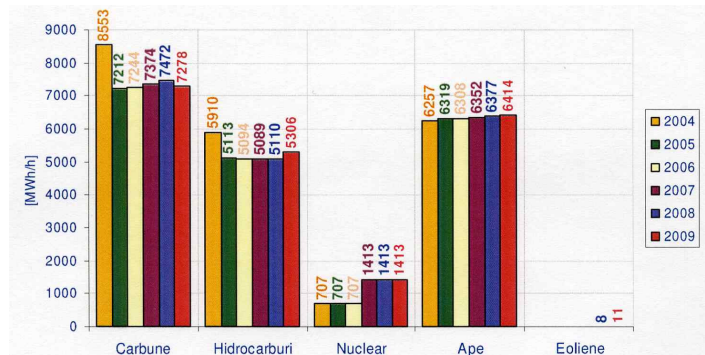


Fig. 2.9. Structura puterii instalate în centralele electrice din România în anii 2004-2009

În Fig. 2.10 se prezintă evoluția consumului mediu, minim și maxim de energie electrică la nivel național (MWh/h), în perioada 2006-2008 [www.tel2008]. Se observă o creștere constantă a puterii medii absorbite, cu peste 100 MW/an, de la 6641 MW în 2006, la 6871 MW în 2008.

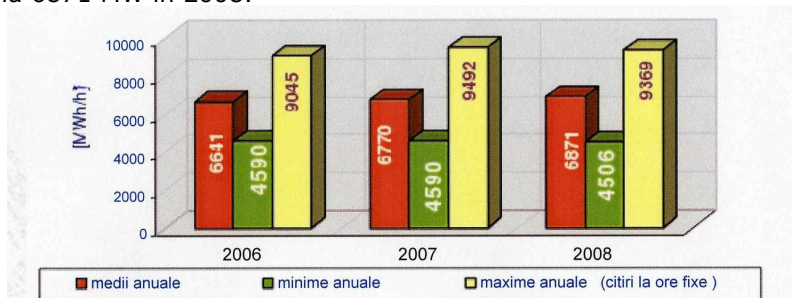


Fig. 2.10. Evoluția consumului (MWh/h) mediu, minim și maxim în anii 2006-2008

În [HGR1535/2003] "Strategia națională de valorificare a surselor de energie regenerabile", se face o evaluare a potențialului pentru fiecare tip de SRE de care dispune România și o primă estimare a capacităților necesare a fi instalate, pentru atingerea țintei naționale stabilite. Dezvoltarea cadrului legislativ și de reglementare după intrarea în vigoare a [HGR 443/2003] în luna aprilie 2004, a avut ca principal scop îndeplinirea prevederilor directivei și implicit a țintei naționale. Tipurile de SRE eligibile să participe la acest sistem, sunt: sursele hidro în centrale cu putere instalată mai mică sau egală cu 10 MW (noi sau re tehnologizate începând cu anul 2004), energia eoliană, energia solară, biomasa, energia geotermală, energia valurilor și utilizarea hidrogenului.

Prin HG 1892/2004 și HG 859/2005 s-a stabilit mecanismul de promovare a producției de energie electrică din surse regenerabile, respectiv sistemul de cote obligatorii de achiziție a energiei din SRE, impuse furnizorilor de energie electrică, combinat cu tranzacționarea Certificatelor Verzi (CV), la prețuri limitate legal inferior și superior. Pentru fiecare an începând din 2005 și până în 2012 inclusiv, sunt stabilite prin lege, cote obligatorii de energie din SRE pe care furnizorii de energie electrică trebuie să le furnizeze consumatorilor deserviți. Furnizorii de energie electrică demonstrează îndeplinirea cotelor prin numărul de CV achiziționate, care trebuie să fie egal cu produsul dintre valoarea cotei obligatorii și cantitatea de energie electrică furnizată consumatorilor [www.anre 07b]. Pentru neîndeplinirea cotei anuale obligatorii, furnizorii plătesc Operatorului de Transport și de Sistem(OTS) contravaloarea CV neachiziționate, astfel:

- în perioada 2005-2007 la o valoare reprezentând odată și jumătate valoarea maximă de tranzacționare a CV;
- de la 01.01.2008 la o valoare dublă față de valoarea maximă de tranzacționare a CV.

În Fig. 2.11 sunt prezentate cotele obligatorii stabilite prin HG 958/2005, valori procentuale anuale din consumul național brut de energie electrică, calculate progresiv pentru atingerea țintei naționale din 2010 [www.anre2007b].

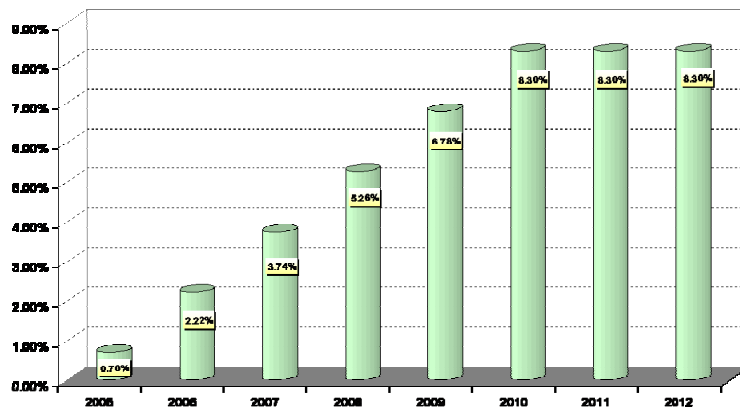


Fig. 2.11. Cotele obligatorii stabilite prin HGR 958/2005, pentru atingerea țintei naționale din 2010

În Fig. 2.12 este reprezentată producția lunară în anul 2007 a energiei electrice produse din SRE în România, defalcată pe cele două surse principale: hidro și vânt.

În Fig. 2.13 este reprezentată evoluția gradului de îndeplinire a țintei naționale privind ponderea energiei produse din SRE, în perioada 2005-2007 și ținta de 33% pentru anul 2010. Se constată o valoare relativ constantă de 85,5%, ceea ce pune sub semnul întrebării realizarea țintei în 2010 [www.anre2007a].

Prin acțiunile concertate ale ANRE, responsabilă cu elaborarea cadrului de reglementare pentru organizarea și funcționarea pieței de CV, ale S.C. OPCOM S.A., în calitate de administrator al pieței de CV și CN "Transelectrica" S.A., în calitate de organism responsabil cu emiterea de CV, sistemul de promovare a energiei produse din SRE în România, a devenit operațional. Astfel în data de 16 noiembrie 2005, a avut loc prima sesiune de tranzacționare a CV, prețul de încheiere fiind de 41,6 euro/CV. La 5 ani de la adoptarea Directivei Uniunii Europene [CE/77/01], se poate afirma că România are o strategie în domeniul SRE, are un Program de măsuri pentru promovarea producerii și consumului de energie electrică din SRE și dispune de instrumente de stimulare a producției de energie electrică din SRE. Potențialul SRE este bun și totuși unele aplicații s-au dezvoltat foarte puțin în România. De exemplu în eolian avem câțiva MW instalați, fiind practic ultima în Europa într-o apreciere calitativă care ține seama și de potențial. Un alt aspect specific este folosirea intensă a biomasei, dar la

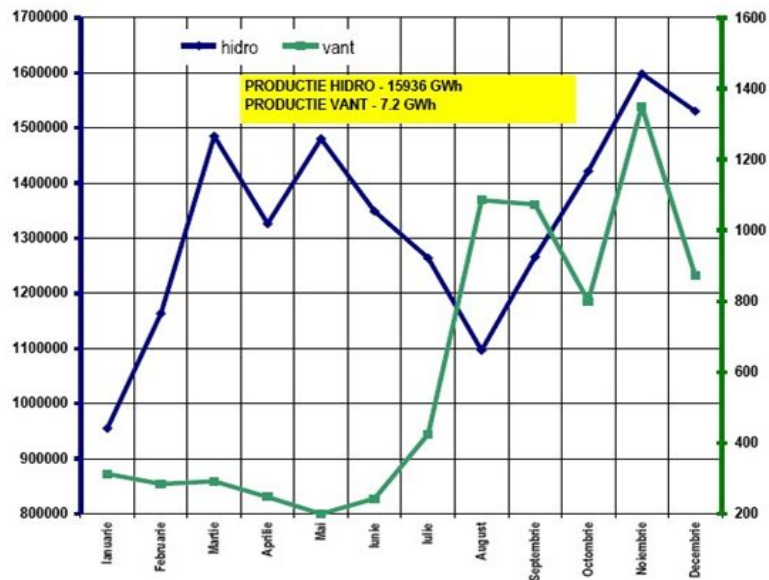


Fig. 2.12. Producția lunară în anul 2007 a energiei electrice produse din SRE în România, defalcată pe cele două surse principale, hidro și vânt

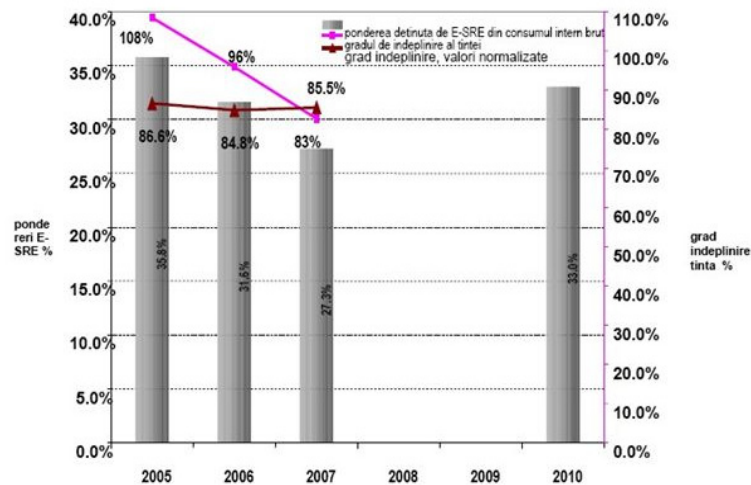


Fig. 2.13. Evoluția gradului de îndeplinire a țintei naționale privind ponderea energiei produse din SRE, în perioada 2005-2007

un nivel tehnologic rudimentar, în sobe tradiționale rurale. Evident, producătorii interni de energie electrică și termică din SRE, se confruntă cu unele probleme administrative și cele legate de cadrul de reglementare. Competiția pe piața liberalizată a energiei este foarte dificilă fără internalizarea costurilor externe. IRE a organizat în 2 iulie 2008 o masă rotundă cu scopul de a clarifica perspectiva națională privind dezvoltarea valorificării SRE [Energ.9/2008]. S-au evidențiat următoarele aspecte:

- în prezent nu există facilități pentru producerea căldurii din SRE, iar facilitățile oferite pentru producerea energiei electrice, nu sunt diferențiate funcție de resursă;
- nu sunt suficient studiate condițiile și impactul folosirii intensive a surselor regenerabile, inclusiv sub aspect economic și social;

- este evidentă necesitatea elaborării unor studii bazate pe instrumentele de calcul utilizate la nivelul UE pentru stabilirea atingerii, cu costuri minime, a țintei globale stabilite pentru România privind SRE de 24%, luând în considerare contribuția lor la producerea energiei electrice, energiei termice și a biocombustibililor;
- pentru proiecte mici, nu există proceduri administrative simplificate care să faciliteze și să scurteze durata necesară accesului acestora pe piața energiei electrice;
- autoritățile locale nu sunt suficient de informate cu privire la valorificarea surselor regenerabile locale care conduc, pe lângă o creștere a gradului de ocupare a forței de muncă și la o creștere a nivelului de dezvoltare socio-economică.

2.5. Concluzii

1. În ton cu o dezvoltare logică a temei propuse, prezentarea pornește de la "semnalul de alarmă" privind epuizarea combustibililor fosili, tras de Clubul de la Roma, la începutul deceniului 8 al secolului XX. Chiar dacă previziunile lor nu s-au adevărit, ele au avut meritul unei zguduiri a conștiinței contemporane și a "punerii problemei": *pe termen lung vor trebui găsite soluții alternative pentru a satisface nevoia de energie crescândă a omenirii.*
2. S-a prezentat apoi situația actuală a combustibililor fosili, a bazei de resurse existente în România, în Europa și pe plan mondial, concluzionând că *pe termen mediu (următoarele decenii) combustibilii fosili vor constitui surse prioritare de energie.* Pentru valorificarea bazei de resurse existente, preocupările viitoare vor trebui să conducă la noi tehnologii, cu randamente sporite și cu reducerea impactului asupra mediului.
3. În domeniul nuclear, se constată o ușoară revigorare a activității pe plan mondial, pe fondul scăderii intoleranței publice față de opțiunea nucleară (un pas înapoi făcut de ecologiști), în fața realităților legate de nevoia de energie și de siguranță în alimentare. *Revitalizarea domeniului nuclear va depinde însă de măsura în care guvernele, întreprinderile de afaceri și industria, vor găsi modalități practice de soluționare a problemelor legate de reziduuri, de schimbările climatice, de acordarea licențelor și de noi tehnologii.*
4. Așa cum s-a prezentat în subcapitolul 2.4, *SRE constituie pe termen lung o alternativă viabilă pentru "foamea" de energie, atât pentru România, cât și pentru UE și la nivel mondial.* De altfel, așa cum s-a arătat, foarte multe țări au luat în serios această alternativă, obținând deja realizări notabile. Faptul că, la nivel mondial, producția netă de energie electrică obținută din SRE la nivelul anului 2000, reprezenta 238,6 TWh, adică 1,6%, demonstrează că suntem foarte departe de posibilitățile reale pe care le oferă SRE. Comparăția care se face în momentul de față între prețul energiei electrice produse din combustibili fosili și cea produsă din SRE, din care rezultă ca ultima este mai scumpă, este simplistă și incorectă. Din analiza datelor existente în literatura de specialitate, rezultă o *distorsionare a prețurilor practicate la sursele fosile de energie, care beneficiază de un volum unitar de subvenții de cca. 4 ori mai mare decât SRE.* Dacă se iau în considerare și riscurile specifice purtătorilor fosili de energie, se constată ca investițiile în centrale electrice ce utilizează SRE, devin cel puțin competitive cu cele clasice.
5. *Pentru România, cele mai importante concluzii în legătură cu SRE sunt următoarele:*
 - realizările actuale în domeniul utilizării SRE sunt încă modeste, ritmul acestor realizări și interesul manifestat de agenții economici pune, deocamdată, sub semnul întrebării îndeplinirea țintei naționale;
 - domeniul în care există realizări este cel al centralelor hidroelectrice de mică putere, deși, și în această privință, realizările din ultimii ani sunt timide și s-au făcut din inerția perioadelor trecute;

- în domeniul energiei eoliene, puterea instalată în prezent este nesemnificativă, dar se găsesc în diferite faze de execuție, proiecte de instalare de noi centrale eoliene, finalizarea multora dintre acestea depinzând chiar de perfecționarea cadrului legislativ și de reglementări, pentru promovarea SRE;
 - "Planul de măsuri existente și planificate pentru promovarea producerii și consumului de energie din SRE", aprobat prin HG nr. 1395/2005, este general și vag;
 - pentru stimularea interesului investitorilor, este necesară o mobilizare amplă din partea autorității responsabile cu promovarea SRE, respectiv ARCE, precum și a autorităților locale, pentru identificarea și constituirea unui portofoliu de proiecte de investiții, pentru promovarea SRE.
6. Din lucrările și discuțiile purtate cu prilejul mesei rotunde prezentate în [Energ.9/2008], se evidențiază următoarele piedici care stau în calea accelerării valorificării SRE în România:
- în prezent nu există facilități pentru producerea energiei termice din SRE, iar facilitățile oferite pentru producerea energiei electrice nu sunt diferențiate funcție de resursă;
 - nu sunt suficient studiate condițiile și impactul folosirii intensive a surselor regenerabile, inclusiv sub aspect economic și social;
 - este evidentă necesitatea elaborării unor studii bazate pe instrumentele de calcul utilizate la nivelul UE pentru stabilirea atingerii, cu costuri minime, a țintei globale stabilite pentru România privind SRE de 24%, luând în considerare contribuția lor la producerea energiei electrice, energiei termice și a biocombustibililor;
 - pentru proiecte mici nu există proceduri administrative simplificate care să faciliteze și să scurteze durata necesară accesului acestora pe piața energiei electrice;
 - autoritățile locale nu sunt suficient de informate cu privire la valorificarea surselor regenerabile locale care conduc, pe lângă o creștere a gradului de ocupare a forței de muncă și la o creștere a nivelului de dezvoltare socio-economică.

Contribuțiile personale ale autorului în cadrul acestui capitol, pot fi sintetizate astfel:

1. Capitolul 2 constituie o sinteză documentată, în viziunea proprie a autorului, asupra rolului și locului energiilor regenerabile în dezvoltarea durabilă, atât pe plan mondial, cât și în ceea ce privește țările Uniunii Europene în general și România în special.
2. Prezentarea unei "analize-diagnostic" asupra cauzelor care au condus la necesitatea identificării unor soluții alternative la combustibilii fosili, pornind de la semnalul de alarmă tras de Clubul de la Roma la începutul anilor '70 și până la criza mondială din prezent.
3. Formularea unui *crez*, care prezintă într-o formă sintetică încrederea autorului în posibilitățile pe care le oferă pe termen lung SRE, coroborat cu o sporire a eficienței energetice pe întregul lanț: producerea, transportul, distribuția, furnizarea și utilizarea energiei electrice.
4. Elaborarea unei ample sinteze, documentată și argumentată, constituindu-se într-o pledoarie pentru producerea de energie electrică în România din SRE.
5. Prezentarea unor argumentare solide în sprijinul afirmației că SRE constituie pe termen lung o alternativă viabilă pentru foamea de energie, atât pentru România, cât și pentru UE și la nivel mondial.
6. Realizarea unei sinteze bibliografice într-o manieră proprie, graduală, a aspectelor legate de perspectiva pe termen mediu și lung, a energiei provenite din combustibili fosili, sursă nucleară și SRE.

3. SERVICIILE PROPRII ALE STAȚIILOR ELECTRICE: CERINȚE, SCHEME, CONSUMURI

Serviciile proprii ale stațiilor electrice constituie un consumator deosebit de important pentru sistemele electroenergetice, de ele depinzând buna funcționare a stațiilor și centralelor sistemului electroenergetic. Ansamblul echipamentelor legate funcțional între ele, prin care se realizează alimentarea cu energie electrică a circuitelor secundare de curent operativ, a dispozitivelor de acționare, de automatizare și de reglaj a echipamentelor circuitelor primare, precum și a instalațiilor anexe din stațiile electrice (instalații pentru producerea aerului comprimat, instalații de redresare, de încălzire, de ventilație, de iluminat etc.), reprezintă serviciile proprii (SP) ale stațiilor electrice. Consumatorii de SP se alimentează în parte în curent alternativ (c.a.) la tensiunea de 400/230 V (cu excepția unor consumatori la care, din considerente de tehnica securității muncii, se impune folosirea unor tensiuni mai mici) și, în parte, în curent continuu (c.c.) tensiunile utilizate fiind 24 V, 48(60) V, 110 V și 220 V.

3.1. Consumatorii serviciilor proprii de curent alternativ

Consumatorii de SP care se alimentează în c.a. sunt următorii: instalațiile de răcire ale autotransformatoarelor (AT) sau transformatoarelor (T), dispozitivele de acționare a întrerupătoarelor și separatoarelor, dispozitivele de acționare a comutatoarelor de ploturi de la AT și T cu reglaj sub sarcină, instalația de încărcare a bateriei de acumuloare, instalația de stingere a incendiilor, instalațiile de încălzit pentru asigurarea microclimatului necesar aparaturii circuitelor secundare, iluminatul, echipamentele de telecomunicații, instalațiile de compresoare etc. În cele ce urmează se va face o prezentare a fiecărui tip de consumator de SP alimentat în c.a. [Preda1988], [Dusa2001], [Buhusi1983], [Moldovan1996], [PE111-8/88].

3.1.1. Instalația de răcire a autotransformatorului

AT de putere întâlnite în stațiile electrice de transformare sunt echipamente în ulei. La aceste echipamente, miezul și înfășurările sunt așezate într-o cuvă realizată din tablă, umplută cu ulei. Uleiul îndeplinește un rol de izolan pentru părțile aflate sub tensiune, precum și cel de mediu de transmitere a căldurii de la părțile active (miez și înfășurări), la mediul de răcire. El preia prin convecție căldura de la miez și înfășurări și o transmite, tot prin convecție, mediului de răcire, care poate fi aerul sau apa. La AT aflate în exploatare în țara noastră, mediul de răcire este aerul atmosferic, iar pentru ca uleiul să transmită căldura acestui mediu de răcire, se utilizează baterii de răcire executate din țevi prin care circulă uleiul în mod natural sau forțat (Fig. 3.1). Corpurile de răcire sunt fixate de cuva AT, longitudinal pe pereții laterali ai acesteia (Fig. 3.2.a) sau radial pe aceștia (Fig.3.2.b).

Circulația naturală a uleiului se realizează pe baza diferenței de densitate a acestuia, dependentă de temperatura lui, creându-se curenți de ulei de jos în sus în înfășurări și la suprafața miezului și de sus în jos în țevile bateriilor de răcire. Circulația forțată (Fig. 3.1) se realizează cu pompa de ulei 1 montată pe racordul 2 de intrare a uleiului în bateria de răcire 3. Când mediul de răcire este aerul, circulația acestuia la suprafața elementelor de răcire poate fi liberă de jos în sus, sau forțată cu ajutorul

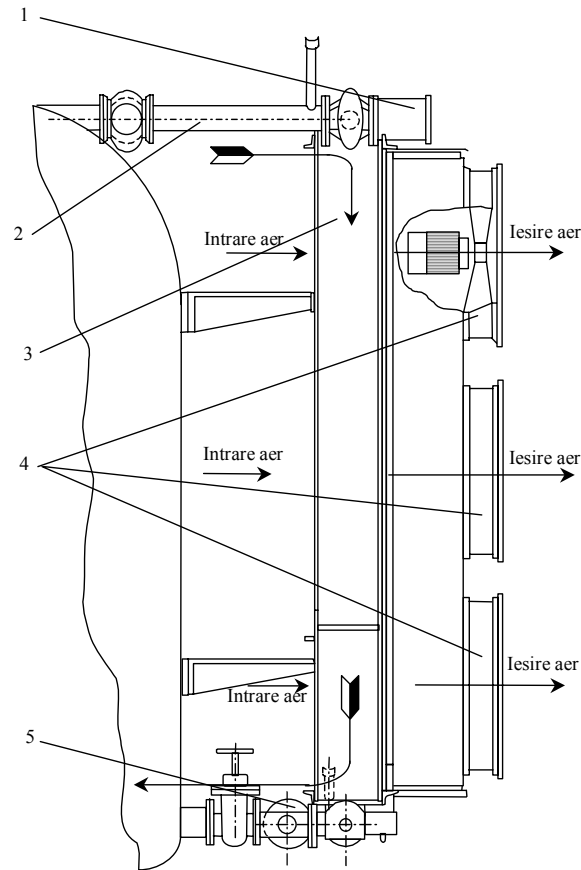


Fig. 3.1. Cuvă cu radiatoare cu circulație forțată a uleiului și suflare cu aer

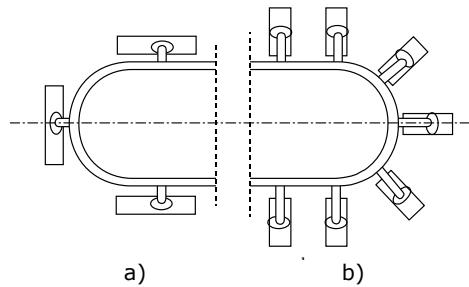


Fig. 3.2. Modul de fixare a corpurilor de răcire

unor ventilatoare amplasate în partea inferioară a bateriilor de răcire, sau înglobate în aceste elemente (poziția 4 din Fig. 3.1). Când se utilizează apa ca mediu de răcire, elementele răcitoare sunt realizate din serpentine introduse într-un bazin cu apă de răcire, circulația uleiului prin serpentine asigurându-se cu pompe. La unitățile de puteri foarte mari, se utilizează schimbătoare de căldură în care atât circulația uleiului cât și a apei se intensifică cu pompe.

Cele mai multe dintre AT din stațiile electrice sunt echipate cu sisteme de răcire pentru ulei formate din 6 baterii de răcire de tip BETA 34142-506-1-gg-0 cu

puterea nominală de până la 200 kW. O baterie este echipată cu o pompă de tip VMOA 082 sau 182 și trei ventilatoare cu 5 palete, produse de Flakt Coiltech Suedia. Caracteristicile tehnice ale motoarelor electrice pentru ventilatoare și pompe, sunt prezentate în Tabelul 3.1. și respectiv Tabelul 3.2.

Tabelul 3.1. Datele tehnice pentru motorul de la ventilator

Viteza ventilatorului		Un [V]	fn [Hz]	Pn [kW]	În [A]	Imax [A]	Masa [kg]
r/min	cod eee						
924	506	400	50	1,2	3,8	4,3	14

Tabelul 3.2. Datele tehnice pentru pompă

Tipul pompei	Litera pentru codul motorului	Numărul de poli	Curentul nominal [A]		Curentul de pornire [A]		Viteza la 50 Hz [rot/min]	Puterea nominală [kW]
			Y	D	Y	D		
060-082	A	6	7,8	-	51	-	945	1

În legătură cu instalația de răcirea a uleiului la AT din stații, se face precizarea că există diferite sisteme de monitorizare a temperaturilor și a calității uleiului. Un exemplu de astfel de sistem, este sistemul „on line” de monitorizare a gazului din ulei, tip HYDROCAL 1002, cu care sunt echipate AT și ale cărui date caracteristice sunt prezentate în Tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Caracteristicile tehnice ale sistemului de monitorizare HYDROCAL

Cantități măsurate	Plaja de măsură	Precizia măsurătorii
Hidrogen H ₂	0 ppm ... 2000 ppm	±15% din valoarea măsurată ±25 ppm
Monoxid de carbon CO	0 ppm ... 2000 ppm	±20% din valoarea măsurată ±25 ppm
Apă H ₂ O	0 ppm ... 80 ppm	±10% din valoarea măsurată pentru temperaturi ulei > 30°C (senzor HMP228)
Interval de măsurare	20 min	
Temperatura de funcționare	Temperatura ulei	-20°C...+90°C
	Temperatura ambiantă	-40°C...+55°C
Funcțiuni	Măsurare nivel individual de gaz H ₂ și CO Analiza tendinței gazului (grafic /diagrama bare) Configurare nivele diferite de alarmă Comunicare prin RS232 și modem la un soft Windows pe un PC	
Ieșiri	2 ieșiri analogice	0... 20 mA (concentrația H ₂) 0... 20 mA (concentrația CO)
	12 ieșiri digitale alarmă H ₂ (H) alarmă H ₂ (HH) alarmă CO (H) alarmă CO (HH)	4 x 12 V ieșiri releu 8 x ieșiri optocuplor (primul nivel de alarmă) (al doilea nivel de alarmă)
Intrări	4 intrări analogice 4 intrări analogice	0... 20 mA 0... 20 mA / 0...100 V (configurabil prin strapuri)
Monitor de concentrație de gaz în ulei	4 senzori de gaz (sistem redundant) 2 x H ₂ , 2 x CO 2 senzori interni de temperatură (ulei, gaz) 2 x H ₂ , 2 x CO	
Comunicație	RS 232 RS 485 (half-duplex) Modem intern pe placa (GSM, 14,4 kbiți/analog 56 kbiți)	
Alimentare	230 V±10%, max. 350 VA, 50/60 Hz 110 V±10%, max. 350 VA, 50/60 Hz	
Dimensiuni	aprox. 215 x 215 x 215	
Greutate	aprox. 8 kg	

Notă: ppm (sau p/m) – părți per milion, reprezintă o unitate de măsură a concentrației.

3.1.2. Dispozitivul de acționare a comutatorului de ploturi

AT din stațiile electrice sunt prevăzute cu echipament de comutare a ploturilor sub sarcină, care se compune din următoarele subansambluri:

- *selector*, echipamentul care selectează priza pe care urmează să se producă comutarea;
- *comutator*, echipamentul care asigură trecerea, în sarcină, de pe o priză pe alta;
- *dispozitivul de acționare*, elementul care în urma unei comenzi manuale sau automate, asigură funcționarea selectorului și a comutatorului.

Comutatorul împreună cu selectorul constituie *sistemul de comutare*.

Fiecare fază a înfășurării de reglaj este prevăzută cu un sistem de comutare ca cel simbolizat în (Fig. 3.3.a), în care partea încadrată cu linie întreruptă și notată cu C reprezintă comutatorul, iar cursoarele K_1 și K_2 aparțin selectorului prin care se efectuează legătura între prizele înfășurării de reglaj și cursorul comutatorului.

Selectorul constă din două rânduri de elemente de contact fixe (ploturi) dispuse circular, la care sunt legate alternativ prizele înfășurării de reglaj (Fig. 3.3.b). Cursoarele rotative K_1 și K_2 acționate de dispozitivul de acționare, astfel încât la o comutare, numai cursorul care nu este în circuit se va roti cu unghiul α efectuând trecerea pe un plot vecin. Comutatorul C, la o comutare, efectuează trecerea de pe contactul m legat de cursorul K_1 pe contactul n legat de cursorul K_2 , sau invers, sub sarcină, dar fără a întrerupe circuitul. Pentru a nu apare o scurtcircuitare directă a treptei de bobinaj dintre cursoarele K_1 și K_2 (treapta cuprinsă între priza 4 și 5 în Fig. 3.3 a), nu este voie ca pe timpul comutării să se efectueze o legătură directă între contactele m și n . De aceea comutatoarele se prevăd cu rezistențe sau cu bobine de reactanță.

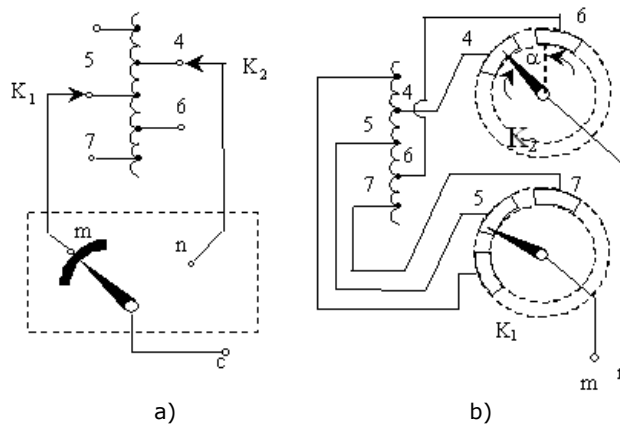


Fig. 3.3. Schema de principiu a sistemului de comutare

Din schema comutatoarelor cu rezistență (Fig. 3.4.), care sunt cele mai des întâlnite, se observă că într-o fază intermediară a comutării, în timpul trecerii cursorului C dinspre contactul m spre n , când C atinge simultan contactele 2 și 3, treapta de bobinaj dintre prizele 4 și 5 se închide peste cele două rezistențe R în serie, când acestea sunt parcurse atât de curentul de circulație interioară determinat de tensiunea treptei de bobinaj respectivă, cât și de curentul de sarcină al transformatorului. Întrucât rezistențele R nu sunt dimensionate să reziste un timp îndelungat la trecerea acestor curenți, timpul în care comutatorul este în această poziție trebuie să fie foarte scurt, respectiv să nu existe posibilitatea blocării comutatorului în această poziție. Sistemul de comutare poate fi monofazat, când fiecare fază are sistemul de comutare propriu, sau trifazat, când sistemul de comutare constituie un ansamblu comun pentru cele

trei faze. Sistemele de comutare monofazate sunt acționate simultan de un dispozitiv de acționare, iar sistemul de comutare trifazat se poate utiliza numai la transformatoarele trifazate cu conexiunea stea și înfășurare de reglaj de partea neutrului.

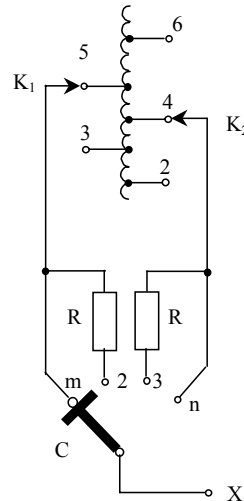


Fig. 3.4. Comutator de prize cu două rezistențe

În Fig. 3.5 se prezintă sistemul de comutare trifazat, precum și o parte dintre elementele componente ale dispozitivului de acționare, selectorul fiind reprezentat numai pentru o singură fază. Cursele mobile K1 și K2 sunt acționate, printr-un sistem cruce de Malta 7 și 8, de un ax comun 6, pus în mișcare de dispozitivul de acționare. Comutatorul este cu rezistențe, cursele fiind realizate din sectoare rostogolitoare prevăzute cu două contacte extreme de funcționare (31a și 32a) legate la cursele selectorului, cărora le corespund poziții stabile de funcționare și două contacte intermediare de trecere (31b și 32b). Între sectoarele rostogolitoare ale celor trei faze se realizează nulul N al conexiunii transformatorului. Sectoarele rostogolitoare sunt acționate de un resort R', care se tensionează de către dispozitivul de acționare, prin intermediul pârghiei 9.

Operația de comutare cuprinde două etape:

- selectarea prizei* - operație efectuată de selector. La efectuarea operației de selectare, sub acțiunea motorului electric 1 sau a manivelei 2, prin sistemul de angrenaje 3, 4 și 5, arborele 6 acționează angrenajele tip cruce de Malta 7 și 8, care antrenează cursorul care nu este în circuit (cursorul K1, care face contact cu ploturile legate la prizele de ordin impar, sau cursorul K2, care face legătura cu ploturile legate la prizele de ordin par) și selectează plotul pe care urmează a se lucra. Astfel, în timpul operației de selectare trecând de pe un plot pe altul doar cursorul care nu se află în circuit (care nu este străbătut de curent), nu apare arc electric. Deci, se permite amplasarea selectorului în cuva transformatorului în imediata apropiere a bobinajului, deoarece nu provoacă deteriorarea uleiului.
- comutarea circuitului pe priza selectată* - operație efectuată de comutator. La efectuarea operației de comutare se realizează trecerea comutatorului de pe poziția stabilă de funcționare corespunzătoare contactului extrem (31a sau 32a), care este în legătură cu cursorul existent în circuit, în poziția stabilă de funcționare corespunzătoare contactului extrem legat la cursorul care va intra în circuit (32a sau 31a). Trecerea comutatorului dintr-o poziție stabilă de funcționare în cealaltă, are loc prin destinderea resortului R', care a fost tensionat, prin intermediul pârghiei 9, în timpul operației de selectare. În timpul operației de comutare, un contact extrem se va închide și

celălalt se va deschide. Operația efectuându-se în sarcină, la deschiderea contactelor 31b, respectiv 32b ale comutatorului se produce arc electric, ceea ce impune, pentru evitarea deteriorării uleiului din cuva transformatorului, plasarea comutatorului într-o cameră de stingere care îl izolează de acesta. De asemenea, comutatorul fiind acționat prin destinderea resortului R' , nu va rămâne niciodată blocat într-o poziție intermediară (31b sau 32b), când rezistențele R sunt în circuit.

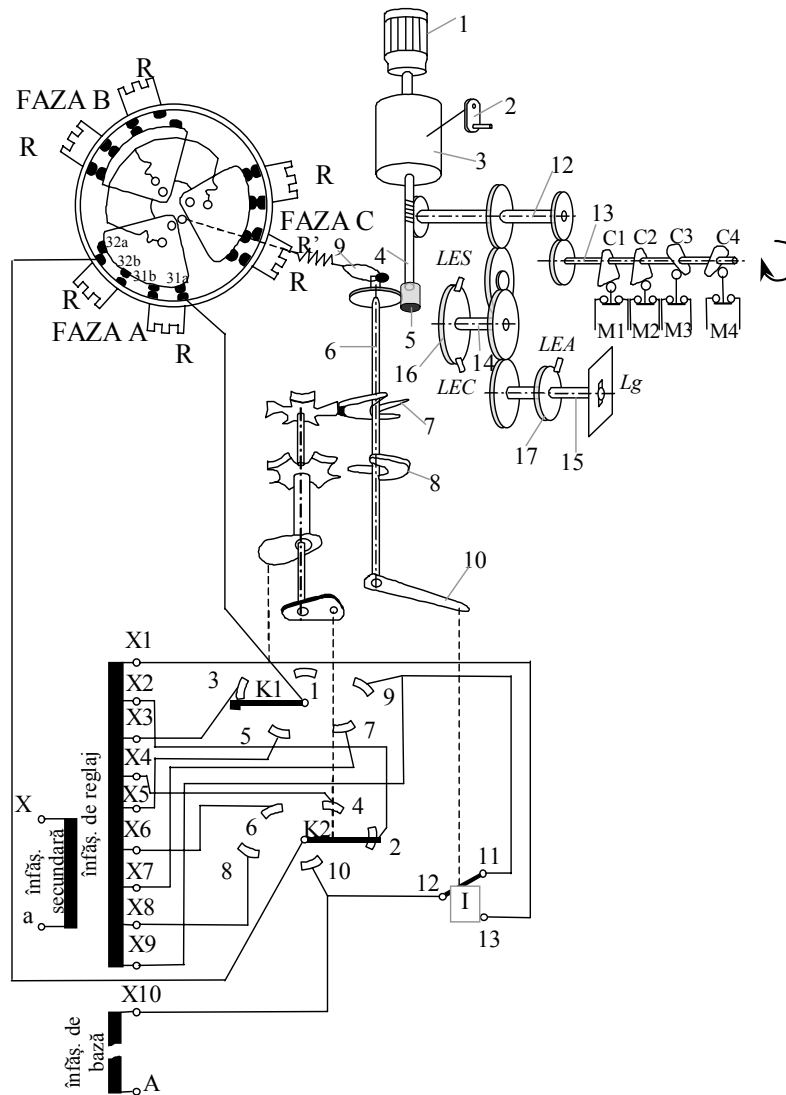


Fig. 3.5. Sistem de comutare trifazat

În timpul operației de comutare se antrenează și arborele 12 (Fig. 3.5), a cărui mișcare este transmisă controlerului 13, un arbore prevăzut cu patru came C . La începutul operației de comutare, camele $C1$ și $C2$ mențin deschise contactele $M1$ și $M2$ ale unor microîntreruptoare. Tot la începutul operației de comutare camele $C3$ și $C4$ sunt într-o asemenea poziție încât contactele $M3$ și $M4$ ale altor două microîntreruptoare sunt închise. Arborele controlerului 13 execută o rotație completă în

timpul operației de comutare, de exemplu, la scăderea raportului de transformare, în sensul indicat pe figură. În acest caz, la începutul operației de comutare, se va deschide contactul M3 în intervalul de timp scurt cât cama C3 calcă pe el, apoi camele C1, C2 și C3 eliberează contactele M1, M2 și M3 care se vor închide și rămân închise împreună cu contactul M4 până la sfârșitul comutării, când, cu puțin timp înaintea terminării operației de comutare, camele C1, C2 și C4, deschid contactele M1, M2 și M4. Arborele controlerului 13 se va mai roti atât cât să permită camei C4 să elibereze contactul M4, care se va închide. Camele C1 și C2 vor menține deschise contactele M1 și M2, dispozitivul fiind pregătit pentru o nouă operație de comutare. La fel se petrec lucrurile și pe timpul operației de comutare la creșterea raportului de transformare, cu deosebire că arborele controlerului 13 se va roti în sens invers și se va inversa succesiunea comutărilor între contactele M3 și M4. Deci, pe timpul operației de comutare sunt închise toate cele patru contacte M1, M2, M3 și M4, cu excepția unor scurte intervale de timp la începutul perioadei de comutare, când se deschide contactul M3 la operația de scădere a raportului de transformare și M4 la operația de creștere a raportului de transformare, precum și la sfârșitul operației de comutare, când se deschide contactul M4 la operația de scădere a raportului de transformare și M3 la operația de creștere a raportului de transformare. În perioada de repaus, poziția acestor patru contacte este cea reprezentată în (Fig. 3.5). În timpul rotirii arborelui 12, se antrenează și arborii 14 și 15. Pe arborele 14 se găsește discul cu cadran cifrat 16, care indică numărul prizei pe care se lucrează, numită priză de lucru și pe care sunt fixate camele LES și LEC.

Dispozitivul de acționare este amplasat într-o carcasă metalică instalată pe cuva transformatorului și cuprinde, după cum s-a simbolizat în (Fig.3.5), un motor asincron trifazat 1 care, prin angrenaje și reductoare de turație 3, pune în mișcare sistemul de comutare, la o comandă automată realizând un pas de comutare adică trecerea de pe o priză pe alta a înfășurării de reglaj a transformatorului. Punerea în mișcare a angrenajelor dispozitivului de acționare se poate realiza și manual, cu o manivelă 2. Dintre aceste trei subsansambluri, numai dispozitivul de acționare conține receptori electrici, care intră în categoria consumatorilor de SP și anume un motorul electric și rezistențele electrice de încălzire.

În țara noastră se întâlnesc dispozitive de acționare fabricate după o licență de la Maschinenfabrik Reinhausen, precum și dispozitive de acționare de proveniență din Bulgaria. Caracteristicile tehnice ale dispozitivelor de acționare al comutatorului cu ploturi cu care sunt echipate AT din stații, sunt prezentate în Tabelul 3.4.

Tabelul 3.4. Caracteristicile dispozitivului de acționare al comutatorului de ploturi

Dispozitivul de acționare	ED 100/200 – S/L		
	Puterea motorului	0,75 kW	2 kW
Tensiunea	3 AC/N 230/400 V		
Curentul	1,9 A	5,2 A	6,2 A
Frecvența	50 Hz		
Viteza sincronă	1500 rot/min		
Revoluții arbore de antrenare / comutare	16,5		
Durata unei comutări	cca 5,4 s		
Cuplul nominal al arborelui de antrenare	45 Nm	95 Nm	130 Nm
Rotațiile manivelei / comutare	33		54
Număr maxim de poziții de lucru	35		
Tensiunea încălzitorului și a comenzilor	230 V c.a.		
Puterea absorbită de circuitele de comandă	100 VA/ 25 VA		
Puterea încălzitorului	50 W pt ED 100/200S; 60 W pt ED 100/200L		
Domeniul de temperatură	-30°C până la + 50°C		
Tensiunea de încercare la masă	2 kV		
Greutatea	ED 100S:80 kg ED 100L:130 kg	ED200S:80 kg ED200L:130 kg	ED200L:130 kg

3.1.3. Dispozitivul de acționare al întrerupătorului

În majoritatea stațiilor electrice de înaltă tensiune din țara noastră (110, 220, 400 kV), se întâlnesc întrerupătoare cu ulei puțin tip Ortojecteur (IO), care sunt acționate cu mecanism de acționare oleopneumatic, tip MOP-1. Acționarea acestor întrerupătoare se face trifazat, cu un singur dispozitiv MOP-1 pentru instalațiile de 110 kV și monofazat, în sensul că se utilizează câte un dispozitiv de acționare pentru fiecare fază, în instalațiile de 220 și 400 kV. Dispozitivul MOP-1 efectuează operațiile de comutare a întrerupătorului (anclanșare și declanșare), cu ajutorul energiei potențiale înmagazinată într-un acumulator, respectiv o butelie cu azot precomprimat. Presiunea azotului în butelie scade la fiecare operație de comutare a întrerupătorului, dar este readusă la valoarea normală de către o motopompă, care intră în funcțiune automat. Receptorii electrici din cadrul dispozitivului MOP-1 (consumatorii de SP) sunt reprezentați de motorul electric al motopompei și o rezistență de încălzire.

Caracteristicile tehnice ale dispozitivelor oleopneumatice de tip MOP, de acționare a întrerupătoarelor, sunt indicate în Tabelul 3.5.

Tabelul 3.5. Caracteristicile dispozitivului de acționare tip MOP

Caracteristica	Valoare	Observații
Presiunea de serviciu, MPa	26...30	Presiunile sunt date pentru o temperatură a mediului ambiant T = 15°C
Presiunea minimă de închidere, MPa	27	
Presiunea minimă de deschidere, MPa	26	
Presiunea de precomprimare a azotului în acumulatori, MPa	25	
Presiunea de menținere a uleiului în conductele de comandă, MPa	0,1...0,25	
Presiunea de lucru a supapei se siguranță: - la deschidere, MPa - la închidere, MPa	39 33,5	
Capacitatea recipientului de azot, l	30	
Capacitatea acumulatorului hidraulic, l	4	
Puterea electromagneților: - de închidere, W - de deschidere, W	300 500	
Tensiunea electromagneților (închidere și deschidere), V c.a.	48 - 110 - 220	
Puterea motorului pompei de reîncărcare a acumulatorului, kW	1,5	
Tensiunea de alimentare, V c.a.	220/380	
Rezistența de încălzire: - putere, W - tensiune, V c.a.	500 220	
Masa uleiului de transmisie	60	
Masa totală a mecanismului, kg	550	

3.1.4. Dispozitivul de acționare al separatorului

Separatoarele de înaltă tensiune întâlnite în stațiile electrice din țara noastră, sunt acționate fie cu dispozitive de acționare pneumatică tip AP, fie cu motor electric tip ASE sau DE. Spre deosebire de dispozitivele ASE și DE, dispozitivele tip AP, nu conțin componente electrice. Receptorii electrici din cadrul dispozitivelor ASE și DE (consumatorii de SP), sunt reprezentați de motorul electric și rezistența anticondens. Caracteristicile tehnice ale acestor dispozitive de acționare, pe tipuri de dispozitive, sunt prezentate în cele ce urmează.

Dispozitiv de acționare tip DE 100 – semnificația simbolurilor este următoarea:

D - dispozitiv de acționare, E - electric, 100 - cuplul nominal, în daNm.

Caracteristicile principale ale DE 100 sunt:

- cuplul nominal al dispozitivului: 100 daNm
- cuplul nominal al motorului în c.a.: 12 kgfcm
- puterea absorbită în c.c. (la cuplu nominal): 1300 (-25%..+15%) W
- puterea absorbită în c.a. (la cuplu nominal): 1000 (-25%..+15%) W
- tensiunea nominală de alimentare a motorului: 200 (-15%..+10%) Vca/cc
- turația motorului la cuplu nominal: minim 200 rpm
- curentul absorbit de motor în c.c. la cuplu nominal: 6,5 (-25%..+10%) A
- curentul absorbit de motor în c.a. la cuplu nominal: 6 (-25%..+10%) A
- cuplul necesar pentru acționare manuală în condiții normale (+20°C): 2,5 daNm
- unghiul de rotație al axului principal: 90°
- sensul de rotație al axului principal: reversibil
- puterea rezistenței anticondens: 60 W
- gradul de protecție al dispozitivului conform IEC 529-90: IP 54
- secțiunea conductorului utilizat la realizarea schemei electrice: 1,5 mm
- contacte de semnalizare normal închise la dispoziția utilizatorului: 10
- contacte de semnalizare normal deschise la dispoziția utilizatorului: 10
- timpul de acționare (la tensiune nominală): cca. 10 s
- curentul nominal al comutatoarelor auxiliare: 10 A
- șurub de legare la pământ: M12 x 30
- presgarnituri de trecere cabluri: 3 buc. Tip IPE 29 STAS 8498-88
- greutatea dispozitivului: cca. 85 kg

În Tabelul 3.6 sunt prezentate caracteristicile tehnice ale dispozitivelor ASE.

Tabelul 3.6. Caracteristicile tehnice ale dispozitivelor ASE

Tipul Dispozitivului	Cuplul maxim [daNm]	Caracteristicile tehnice			Masa [kg]
		Tensiune [V]	Putere [W]	Turație [rpm]	
ASE – 1.1.; 1.1. cu RI-9 ASE – 1.2; 1.2. cu RI-9	25	220 (cc; ca)	400	2500	90
ASE – 2.1. ASE – 2.2.	25	48 (cc)	500	2500	90

3.1.5. Instalația de stingere a incendiilor

În stațiile electrice sunt prevăzute instalații de stins incendiu, atât la AT de putere, cât și la gospodăriile de cabluri. Există instalații fixe de stins incendiul cu apă pulverizată, atât la AT și T de putere, cât și la tunelurile de cabluri.

Instalația de stins incendiu cu apă pulverizată se compune din:

- instalația pentru sesizarea prezenței incendiului;
- rețeaua de conducte, vane și diuze pulverizatoare;
- clădirea instalației de stins incendiu.

Instalația pentru sesizarea prezenței incendiului, este constituită din detectoare de incendiu e_k , $k = 1, 2, 3, \dots, n$, montate în punctele esențiale din apropierea AT (Fig. 3.6).

Detectoarele de incendiu pot fi detectoare de temperatură, de fum sau de flacără. În instalațiile de stingere a incendiilor la AT, în general, se utilizează detectoarele de temperatură cu fuzibil. Acestea au un fuzibil care menține în poziție închis un contact prevăzut cu un resort. Când temperatura mediului în care este plasat detectorul depășește o anumită valoare, fuzibilul se topește și eliberează contactul, care sub

acțiunea resortului se deschide. *Instalația de stropit a AT* este realizată dintr-un schelet de țevi care încadrează echipamentul la o distanță de 0,8–1,2 m față de cuvă (Fig. 3.7), țevi prevăzute cu duze de pulverizare dirijate spre AT.

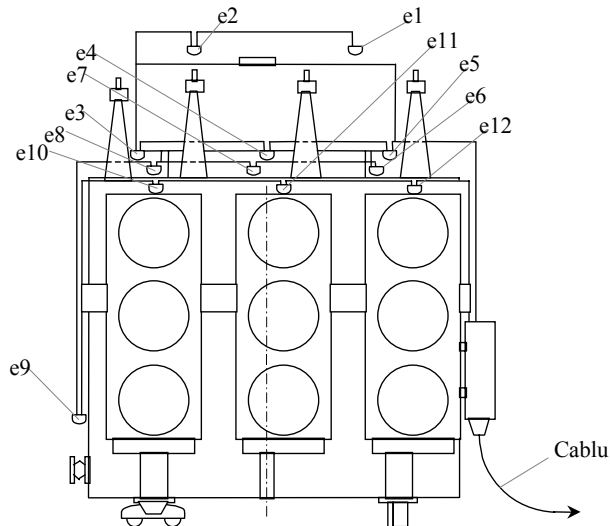


Fig. 3.6. Amplasarea detectoarelor de incendiu

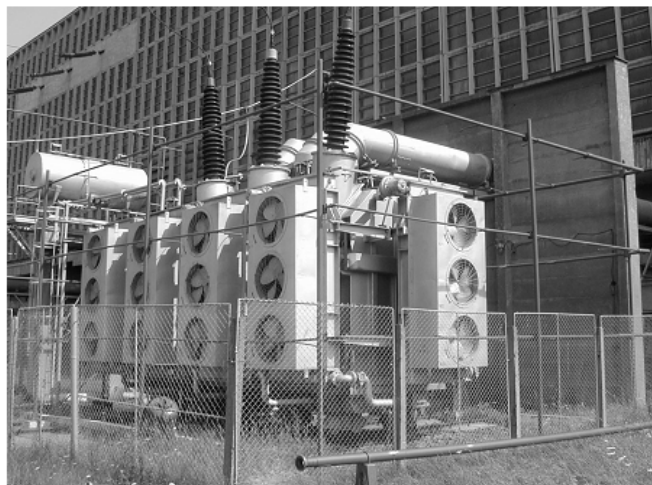


Fig. 3.7. Instalația de stropit a AT

În Fig. 3.8 este reprezentată schema de principiu a instalației de stingere a incendiului. Rețeaua de apă pentru incendiu este constituită dintr-un rezervor de apă sub presiune RA, racordat prin pompa P la rețeaua de apă din zonă. La rezervorul respectiv este racordată, prin electrovanele EV, instalația de stropit a AT.

Contactele e_k , $k = 1, 2, 3, \dots, n$, normal închise ale detectoarelor de temperatură legate în serie, mențin excitat releul intermediar RI.

Când cel puțin un detector sesizează o temperatură peste limita admisibilă, acesta își deschide contactul, releul intermediar RI se dezexcită și își închide contactele. Printr-un contact se dă comanda de declanșare la întrerupătoarele prin care se ra-

cordează AT la rețeaua electrică, iar prin celălalt se dă comanda pentru deschiderea electrovanelor EV. Dacă presiunea apei în rezervorul de apă RA este cea corespunzătoare, contactul K_M al manometrului cu contact M, care măsoară în permanență presiunea apei din rezervorul de apă RA este închis, electrovana EV se deschide, iar apa sub presiune intră în instalația de stropit AT, care din acel moment este înconjurat de o pânză de apă, inundându-l.

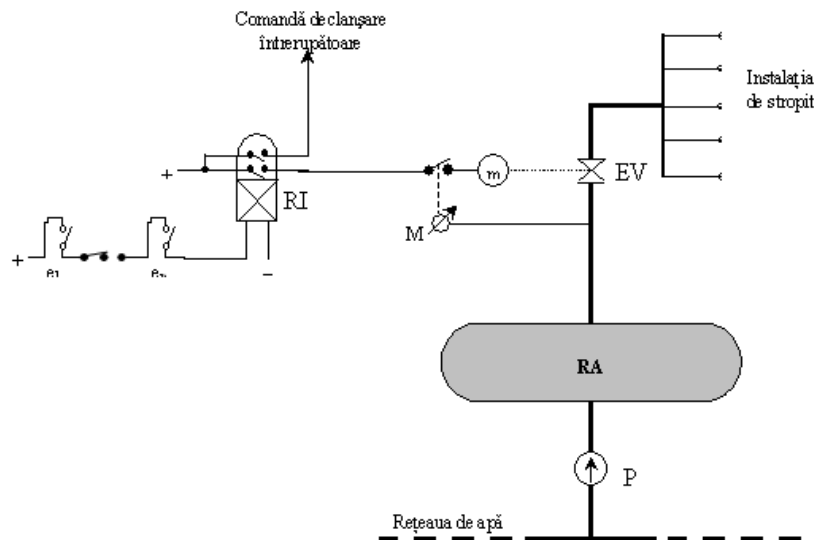


Fig. 3.8. Schema de principiu a instalației de stingere a incendiului cu apă

În clădirea instalației de stins incendiu se află:

- instalația hidrotehnică pentru asigurarea rezervei de apă și presiune în instalația de stins incendiu, prevăzută cu rezervoare de apă-aer echipate cu:
 - pompă centrifugă cu acționare electrică, pentru reîncărcarea rezervoarelor de apă sau completarea pierderilor de apă accidentale;
 - compresor de aer pentru refacerea rezervei de aer în rezervoarele de apă – aer;
 - semnalizatoare magnetice de nivel pentru pornirea și oprirea electropompelor de completare și refacerea rezervei de apă;
 - puncte de comandă pentru deschiderea automată sau manuală a circuitului de distribuție a apei, echipate cu vane acționate cu mecanism electric și vane acționate manual.
- instalația de încălzire pentru evitarea pericolului de îngheț și asigurarea condițiilor normale de funcționare a echipamentelor, realizată cu radiatoare electrice;
- instalația de iluminat, realizată cu corpuri de iluminat incandescente;
- prize pentru branșarea mașinilor-unelte portative și iluminatul local pentru reparații.

3.1.6. Grupul Diesel

Grupul Diesel, în realitate nu reprezintă un consumator al SP ci sursa de siguranță, dar acesta este montat într-o încăpere special amenajată, unde există anumiți consumatori de SP și anume:

- instalație de iluminat;
- instalație de încălzire;
- redresor pentru încărcarea bateriei de pornire a grupului;

- pompă electrică, cu amorsare manuală pentru umplerea cu motorină a rezervorului de serviciu al grupului din rezervorul exterior;
- jaluzele acționate electric ($U = 230$ V c.a.; consum = 40 VA), în scopul evitării scăderii presiunii și temperaturii în camera grupului (jaluzelele sunt închise atunci când grupul nu este în funcțiune și deschise când funcționează);
- rezistența de încălzire a grupului Diesel.
Caracteristicile tehnice ai celor mai semnificativi dintre acești consumatori sunt:
 - iluminat: $U_n = 220$ V c.a.; $P_n = 1,2$ kW; $\cos \varphi_n = 0,6$;
 - încălzire: $U_n = 220$ V c.a.; $P_n = 3$ kW;
 - rezistență încălzire grup Diesel: $U_n = 220$ V c.a.; $P_n = 2$ kW;
 - pompa electrică de combustibil: motor trifazat de 0,75 kW, IP 44;
 - pompa centrifugală cu auto-umplere: 0,5-2 m³/h la 4,2-1,8 bar;
 - motorul de acționare a jaluzelelor, are următoarele caracteristici:
 - tensiunea nominală: 24 V c.c. sau 220 V c.a.;
 - puterea nominală a motorului: aprox. 10 W
 - cablu de conectare: monofazat 2 x 0,75 mm²;
 - comutator de selectarea a sensului de rotație A/B: instalat;
 - timpul aproximativ pentru închidere / deschidere: 180 sec.;
 - temperatura ambiantă: până la 50°C;
- *redresorul BGL 1024* pentru încărcarea bateriei de pornirea grupului:
 - curent nominal: 10 A;
 - consum (în sarcină): 400 W;
 - tensiunea de alimentare: 230 Vac și 400 Vac (-20/+20 %);
 - frecvența tensiunii de alimentare: 50/60 Hz;
 - caracteristica de sarcină caracteristica IU, conform DIN 41773
 - tensiunea de ieșire: 12 V până la 33 Vcc
 - start atenuat la conectare;
 - ciclu de funcționare: 100 %;
 - undulații ale tensiunii fără baterie: cca. ± 2 V pe sarcină ohmică cu 50% din curentul nominal
 - limitare controlată a sarcinii, autopornire;
 - suprasarcină după un scurtcircuit sau după supratemperatură;
 - tensiunea de încărcare finală: toleranță de 0,1% la 10°C;
 - temperatura mediului: -20 până la +75°C;
 - temperatura de depozitare: -40 până la +90°C;
 - umiditatea relativă: 95%;
 - gradul de protecție: IP00;
 - greutatea: 4,6 kg
 - întreținere: nu necesită
 - borne de intrare-ieșire: 1,5-4 mm²;
 - borne de încărcare rapidă: 0,75-2,5 mm²;
 - poziția de montare: oricare;
 - suprimare perturbații radio: până la clasa B/55011.

3.1.7. Iluminat și încălzire

În componența unei stații electrice se întâlnesc trei categorii de instalații electrice: ale circuitelor primare, ale circuitelor secundare și ale serviciilor proprii. Funcție de modul și locul unde sunt amplasate echipamentele acestor categorii de instalații, există o diversitate de tipuri constructive de stații electrice, dar în toate există o clădire principală, numită bloc de comandă, în încăperile căreia se află tabloul de distribuție

al instalației de SP, precum și principalele componente ale instalațiilor de circuite secundare: echipamentul pentru conducerea locală, echipamentul pentru teleconducere (la stațiile fără personal de exploatare), echipamentul pentru telecomunicații, iar la stațiile cu circuite secundare complet centralizate și echipamentul pentru protecție și automatizare. La stațiile cu circuite secundare parțial descentralizate, având instalațiile de conexiuni exterioare, echipamentul pentru protecție și automatizare este amplasat în cabinetele de relee din incinta instalațiilor de conexiuni. În blocul de comandă, în cabinetele de relee și în incinta instalațiilor de conexiuni, există consumatori ai SP, care servesc la exploatarea stației în bune condiții și anume:

- a) în blocul de comandă:
 - iluminat camera de comandă;
 - iluminat alte încăperi;
 - încălzit;
 - prize pentru utilizări diverse;
 - redresori încărcare baterii de acumulatoare;
 - ventilație încăperea acumulatorilor (dacă acumulatorii sunt cu acid);
 - echipament de telecomunicații.
- b) în cabinetele de relee:
 - iluminat;
 - rezistențe de încălzit, pentru asigurarea microclimatului necesar funcționării în bune condiții a echipamentelor;
 - prize iluminat lămpi portative;
 - prize pentru utilizări diverse.
- c) în incinta instalațiilor de conexiuni (exclusiv consumatorii proprii echipamentelor primare, adică întreruptoare, separatoare și AT):
 - iluminat exterior;
 - cutii de cleme ale celulelor (rezistențe de încălzit și prize lămpi portative);
 - cutii de conexiuni separatoare (rezistențe de încălzit și prize lămpi portative).

3.2. Consumatorii serviciilor proprii de curent continuu

Din categoria consumatorilor de servicii proprii care se alimentează în c.c. se pot menționa: anumite dispozitive de acționare ale întreruptoarelor, separatoarelor, contactoarelor, protecții, automatizări, blocaje, semnalizări, instalații de telecomandă, telecomunicații și iluminatul de siguranță. Consumatorii serviciilor proprii de curent continuu, au o importanță deosebită în regimul normal de funcționare a instalațiilor primare și sunt vitali în regimul de avarie al acestora. Ei sunt, prin natura lor foarte diverși, iar din punctul de vedere al solicitării sursei de alimentare, se clasifică astfel:

- **Consumatori de durată în regim permanent**, care pentru sursa de alimentare reprezintă o sarcină permanentă, atât în regim normal de funcționare, cât și în regim de avarie. Din această categorie fac parte: releele de protecție conectate permanent, releele intermediare conectate permanent, lămpi de semnalizare, indicatoare de poziție, releele de blocaj, iluminatul de siguranță conectat permanent, invertoare pentru alimentarea consumatorilor vitali de curent alternativ (când aceștia sunt cuplați permanent) etc.
- **Consumatori de durată în regim de avarie**, care în regimul normal de funcționare sunt alimentați de la sursa SP de c.a., dar sunt comutați pe sursa de alimentare cu c.c. pe toată durata lipsei tensiunii de c.a. Din această categorie fac parte: iluminatul de siguranță comutabil, invertoarele pentru alimentarea consumatorilor vitali de c.a., care se comută pe sursa de c.c. la avarie etc.

- **Consumatori de scurtă durată**, care intră în funcțiune la anumite manevre comandate manual sau automat. Acești consumatori pot intra în funcțiune atât în regim normal de funcționare al instalațiilor primare, cât și în regim de avarie. Dintre aceștia fac parte: bobinele de acționare ale întrerupătoarelor, releele de comandă ale separatoarelor, releele auxiliare de comandă, dispozitivele optice și acustice de semnalizare și alarmare etc.

Sursa de alimentare cu c.c. este o baterie de acumulatori care funcționează în regim tampon cu un redresor din seria unitară RUT (redresor cu aplicație universală), care folosește pe partea de redresare numai tiristoare, deci este complet comandat. În realitate, bateria de acumulatori asigură alimentarea consumatorilor numai pe perioada căderii totale a surselor de c.a. Având în vedere că redresorul se alimentează de la rețeaua de c.a., rezultă că în regim normal de funcționare și consumatorii serviciilor proprii de c.c. intră în categoria consumatorilor de c.a. Puterea consumatorilor SP de c.c. este mult mai mică decât a celor de c.a.

3.3. Cerințe tehnice privind alimentarea serviciilor proprii

Receptoarele instalațiilor de SP, în funcție de implicațiile întreruperii alimentării cu energie electrică asupra realizării tranzitului de energie electrică prin circuitele primare ale stației, se împart în următoarele categorii [PE111-8/88], [PE112/93], [Ardelean2002a], [Ardelean2004], [Titihazan2002], [ANRE33/2005]:

- **Categoria 1-SP principale**, cuprinde receptoarele la care întreruperea alimentării pe o durată mai mare de câteva minute, conduce la perturbarea tranzitului de energie electrică. Din această categorie fac parte:
 - pompele de ulei de la AT cu circulație forțată a uleiului;
 - ventilatoarele corpurilor de răcire ale AT;
 - rezistența de încălzire pentru pornirea grupului Diesel;
 - instalația de ventilare a bateriilor de acumulatori acide, dacă ea trebuie să funcționeze continuu.
- **Categoria 2-SP secundare**, cuprinde receptoarele la care întreruperea alimentării pe o durată mai lungă de timp decât cele din categoria 1, conduce la perturbarea tranzitului de energie electrică. La stațiile electrice de importanță deosebită aceste receptoare se împart în două grupe și anume:
 - *Grupa A* - receptoare a căror alimentare este asigurată și de sursa de siguranță:
 - electromotorul și rezistența de încălzire ale dispozitivului de acționare a comutatorului de ploturi;
 - electromotorul motopompei, rezistențele de încălzit (permanentă și cu termostat) și lămpile de iluminat din cadrul dispozitivului MOP-1;
 - prizele pentru lămpi portative de iluminat din cabinele de relee, cutiile de cleme ale celulelor, clădirea instalației de stingere a incendiilor, respectiv din toate punctele importante unde există sau de unde sunt deservite receptoare din categoriile 1 și 2, sau de importanță similară;
 - instalațiile de iluminat din camera de comandă, încăperea grupului electrogen și clădirea instalației de stingere a incendiilor;
 - agregatele de redresare, dacă servesc la încărcarea permanentă a bateriilor de acumulatori;
 - echipament de telecomunicații;
 - compresoare, hidrofor și pompă, din clădirea instalației de stingere a incendiilor.

- *Grupa B* - celelalte receptoare din categoria 2:
 - rezistențele de încălzit din cutiile de cleme ale celulelor, cabinele de relee, încăperea grupului electrogen și clădirea instalației de stingere a incendiilor;
 - instalațiile de iluminat din cabinele de relee și din toate încăperile blocului de comandă, în afară de camera de comandă;
 - instalațiile de încălzit electric din camera de comandă, clădirea instalației de stingere a incendiilor, respectiv din toate locurile unde se impune asigurarea microclimatului necesar echipamentelor din categoria 1 și 2 sau de importanță similară.
- **Categoria 3-SP auxiliare**, care cuprind receptoarele care nu se încadrează în categoriile 1 și 2 și a căror alimentare poate fi întreruptă eventual și pe o durată mai lungă de timp. Din această categorie fac parte:
 - electromotorul și rezistențele de încălzit din cadrul dispozitivelor de acționare ale separatoarelor;
 - rezistențele de încălzit și prizele pentru lămpi portative de iluminat, din cutiile de conexiuni ale separatoarelor;
 - instalația de iluminat și prize forță din stația exterioară;
 - prize utilizări diverse din blocul de comandă, cabinele de relee și clădirea instalației de stingere a incendiilor;
 - instalația de centrifugare a uleiului;
 - diverse alte receptoare.

Din cele prezentate anterior, se constată că în stațiile electrice SP se compun din patru categorii de consumatori: motoare electrice, elemente de încălzire, corpuri de iluminat și redresori electrice. Fiecare dintre acești consumatori, pentru buna sa funcționare, impune anumite limite între care poate varia tensiunea de alimentare (abatere față de tensiunea nominală) și anume:

- motoarele electrice $\pm 5\%$;
- elementele de încălzire $\pm 10\%$;
- corpurile de iluminat incandescente $\pm 10\%$;
- corpurile de iluminat fluorescente $\pm 5\%$;
- redresoarele electrice -5% , $+10\%$.

Pentru a cunoaște limitele de variație a tensiunii pe barele instalației de distribuție care alimentează SP ale stațiilor electrice, trebuie cunoscute limitele între care poate să varieze consumul SP din cadrul acestora și dacă sursa de alimentare, în cadrul acestor limite, poate asigura sau nu tensiunea impusă de consumatori.

3.4. Scheme de alimentare ale serviciilor proprii

În ceea ce privește schemele de alimentare ale SP, sunt posibile mai multe variante, ideea de bază fiind aceea ca alimentarea să se efectueze de la două surse independente, care pot furniza fiecare în parte, întreaga putere cerută de consumatorii de SP [Buta2002a], [Buta2002b], [Nicoara2003], [Nicoara2004], [CT-RET2004], [Ardelean2005b], [Buta2005], [Chiosa2005], [Nicoara2006]. Cele două surse pot funcționa permanent conectate, ca surse normale, sau pot funcționa una normal conectată iar cealaltă normal deconectată. În ipoteza că cele două surse sunt permanent conectate (Fig. 3.9), cele două secții de bare pot funcționa fie separat, fie cuplate între ele și aceasta dependent de nivelul curenților de scurtcircuit și de stabilitatea la scurtcircuit a echipamentului de comutație.

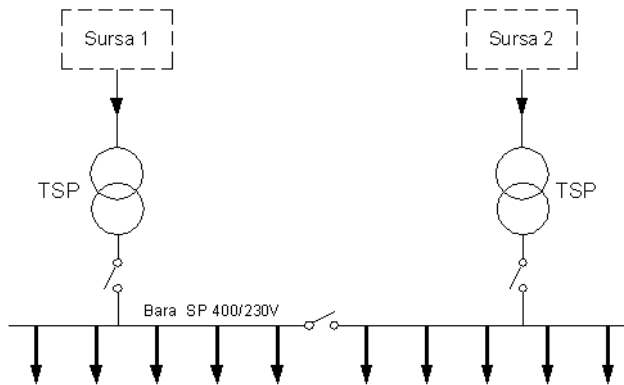


Fig. 3.9. Schema de alimentare a SP fără sursă de siguranță

În stațiile importante ale SEN (stații de 400 kV, sau 220 kV noduri de rețea) se prevede o a treia sursă de alimentare - grup electrogen (Fig.3.10). În această situație se poate crea o a treia secție de bare și anume bara de siguranță.

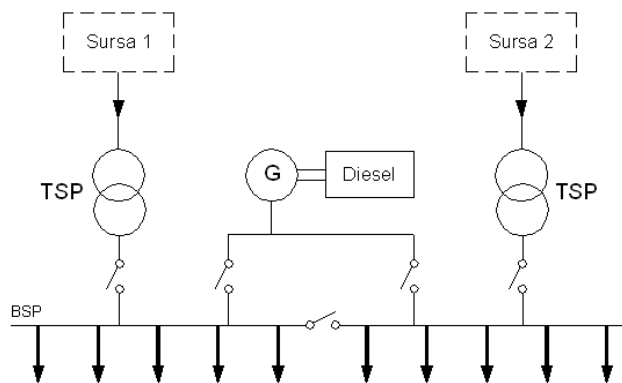


Fig. 3.10. Schema de alimentare a SP cu sursă de siguranță

Drept surse de alimentare ale SP ale unei stații, se pot folosi:

- secție sau un sistem de bare colectoare de M.T. din stația respectivă, sau de la o stație apropiată;
- secție sau un sistem de bare colectoare de J.T. din stația electrică respectivă, sau de la o centrală sau stație apropiată;
- linie de M.T. din zona stației;
- înfășurarea terțiară de M.T. (10-22 kV) a unui T sau AT de interconexiune a rețelelor de 110, 220 sau 400 kV;
- un grup electrogen.

3.5. Consumul de energie electrică al serviciilor proprii

Pentru a oferi o imagine edificatoare asupra consumurilor de energie electrică aferente SP ale stațiilor, se prezintă în continuare stațiile electrice aflate în gestiunea C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara [Kilyeni2001], [Buta2001], [Ardelean2006c], [Marinescu2006], [Florea2006].

Sucursala de Transport (S.T.) Timișoara are în gestiune un număr de 11 stații electrice:

- 220/110 kV 2 AT x 200 MVA (și un compensator sincron 60 MVar) Timișoara;
- 220/110 kV 1 AT x 200 MVA Săcălaz;
- 400/220/110 kV 1AT x 400 MVA + 1 T x 250 MVA + 1 AT x 200 MVA Arad;
- Conexiune 400 kV Nădab;
- 220/110 kV 2 AT x 200 MVA Reșița;
- 220/110 kV 2 AT x 200 MVA Iaz;
- 220/110/20 kV 1 AT x 200 MVA +1 T x 16 MVA + 1 T x 10 MVA Baru Mare;
- 220 kV 1 AT x 200 MVA Paroșeni;
- 400/220/110 kV 2 AT x 400 MVA + 2 AT x 200 MVA Mintia;
- 220/110/6 kV 2 AT x 200 MVA + 2 T x 40 MVA Peștiș;
- 220/110 kV 2 AT x 200 MVA Hășdat;
- 220/33 kV Oțelărie electrică Hunedoara (transformatorul este al beneficiarului Arcelor Mittal).

În Anexa A1 Tabelele A1.1 și A1.2 sunt prezentate energiile active absorbite de SP ale tuturor celor 11 stații, în MWh, defalcate pe luni, pentru anii 2007 și 2008. În Tabelul A1.1 pe primele trei luni ale anului 2007 apare consum 0 la stația Paroșeni, pentru că aceasta a fost repusă în funcțiune după retehnologizare în luna aprilie 2007. În Tabelul A1.2 pe primele patru luni ale anului 2008 apare consum 0 la stația Nădab, fiind stație nouă, care a fost pusă în funcțiune în mai 2008.

În Fig. A1.1-A1.11 din Anexa A1, sunt reprezentate grafic evoluțiile energiilor active absorbite de consumatorii de SP, distinct pentru fiecare stație în parte, comparativ pentru anul 2008 față de anul 2007. În Fig. A1.12 se prezintă evoluția consumului respectiv, cumulativ pe cele 11 stații aflate în gestiunea S.T. Timișoara. Se poate constata că în anul 2008, ca urmare a măsurilor de optimizare a acestor consumuri, începând cu a doua jumătate a lunii mai, acestea s-au situat sub nivelul corespunzător anului 2007, lună de lună, ajungând ca în noiembrie 2008 să fie cu cca. 100.000 MWh mai reduse față de noiembrie 2007.

3.6. Concluzii

În urma celor prezentate în acest capitol, principalele concluzii referitoare la consumatorii de SP ale stațiilor electrice sunt următoarele:

1. SP constituie un consumator deosebit de important pentru sistemele electroenergetice, de ele depinzând buna funcționare a stațiilor și centralelor sistemului.
2. Consumatorii de SP se alimentează în parte în c.a., la tensiunea de 400/230 V (cu excepția unor consumatori la care, din considerente de tehnica securității muncii, se impune folosirea unor tensiuni mai mici) și în parte în c.c., tensiunile utilizate fiind 24 V, 48(60) V, 110 V și 220 V.
3. Receptoarele instalațiilor de SP, în funcție de implicațiile întreruperii alimentării cu energie electrică asupra realizării tranzitului de energie electrică prin circuitele primare ale stației, se împart în:
 - categoria 1 - SP principale;
 - categoria 2 - SP secundare;
 - categoria 3 - SP auxiliare.
4. În ceea ce privește schemele de alimentare ale SP, există mai multe variante, ideea de la care se pornește fiind aceea că alimentarea să se efectueze de la două surse independente, care pot furniza fiecare întreaga putere cerută de consumatorii de SP.

5. În stațiile importante ale SEN (stații de 400 kV sau 220 kV, noduri de rețea), se prevede o a treia sursă de alimentare – grup electrogen.
6. Drept surse de alimentare ale SP ale unei stații se pot folosi:
 - secție sau un sistem de bare colectoare de M.T. din stația respectivă, sau de la o stație apropiată;
 - secție sau un sistem de bare colectoare de J.T. din stația electrică respectivă, sau de la o centrală sau stație apropiată;
 - linie de M.T. din zona stației;
 - înfășurarea terțiară de M.T. (10-22 kV) a unui T sau AT de interconexiune a rețelelor de 110, 220 sau 400 kV;
 - un grup electrogen.

Principalele contribuții personale privind elaborarea acestui capitol, dar și în sens mai larg, privind problematica alimentării cu energie electrică a SP, sunt următoarele:

1. Prezentarea sistematizată a tuturor consumatorilor de servicii proprii aparținând stațiilor electrice, inclusiv a caracteristicilor tehnice ale acestora.
2. Monitorizarea pe parcursul a doi ani (2007 și 2008) a consumului de energie electrică activă aferent SP din cele 11 stații aflate în gestiunea S.T. Timișoara sin cadrul C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.
3. Identificarea unor măsuri de optimizare a acestor consumuri, care au avut ca efect o reducere substanțială a acestora în anul 2008, comparativ cu 2007.
4. Participarea la reconsiderarea alimentării SP ale stațiilor electrice, abordată ca o problemă de optimizare, definitivarea schemelor de alimentare a SP din terțiarele AT-urilor și identificarea soluțiilor de asigurare a calității energiei electrice livrate în aceste condiții.

4. ROLUL PILELOR DE COMBUSTIE ÎN STRATEGIA DE EXTINDERE A UTILIZĂRII ENERGIILOR REGENERABILE ȘI RESPECTĂRII PROTOCOLULUI DE LA KYOTO

4.1. Scurt istoric al dezvoltării pilelor de combustie

Pila de combustie este o celulă galvanică în care energia liberă a unei reacții chimice este transformată în energie electrică. În cazul unei pile de combustie clasice, care funcționează cu hidrogen și oxigen, reacția care are loc este:



Schema de funcționare a unei astfel de pile de combustie este redată în Fig. 4.1.

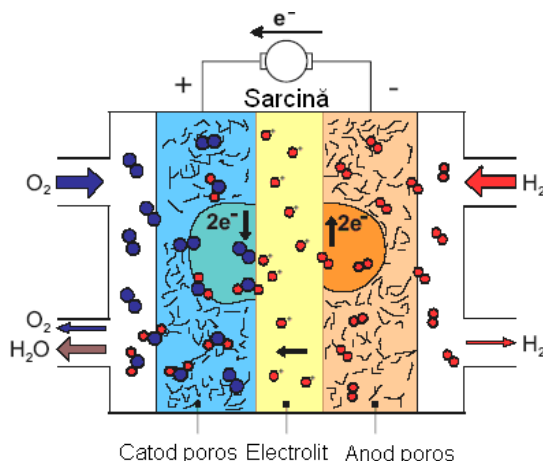


Fig. 4.1. Schema de funcționare a unei pile de combustie

Toate pilele de combustie au o structură asemănătoare; acestea conțin doi electrozi separați de un electrolit și care sunt conectați într-un circuit extern. Anodul este alimentat cu combustibili gazoși (hidrogen sau gaz metan), aici având loc oxidarea lor directă, iar catodul este alimentat cu un oxidant (de exemplu oxigenul din aer). Electrozii trebuie să fie permeabili, așadar au o structură poroasă. Electrolitul trebuie să aibă o permeabilitate cât mai scăzută.

Principalele etape ale dezvoltării pilelor de combustie pot fi considerate următoarele:

- 1800 – Alessandro Volta, inventează ceea ce azi numim pila voltaică sau pila lui Volta;
- 1839 – Sir William Robert Grove, un jurist și fizician amator, a dezvoltat prima pilă de combustie care folosea reacția de combinare a hidrogenului cu oxigenul într-o cuvă electrolitică. Grove a folosit 4 celule mari (cuve electrolitice – electro-

lizoare), fiecare conținând oxigen la catod (+) și hidrogen la anod (-), pentru a produce putere electrică, care a fost folosită pentru a descompune apa din două celule mai mici așezate superior, în hidrogen și oxigen Fig. 4.2;

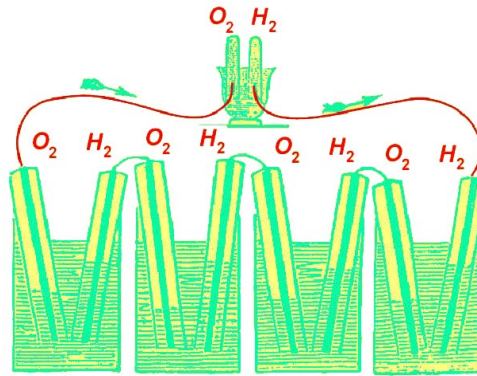


Fig. 4.2. Experiența lui Grove

- 1866 – inginerul francez Georges Leclanche, a patentat cea mai răspândită baterie până în prezent, bateria uscată carbon-zinc și cu electrolit clorura de amoniu, numită pila Leclanche;
- 1899 – Waldmar Jungner, a inventat prima baterie reîncărcabilă (acumulator) nichel-cadmium;
- 1901 – Thomas Alva Edison, a inventat prima baterie alcalină pentru stocarea energiei;
- 1965 – NASA a demonstrat câteva dintre potențialele aplicații ale acestora, folosind pentru prima dată pilele de combustie ca surse de energie în spațiul cosmic, în proiectele Gemini și Apollo;
- 1970-1980, industria a început să aprecieze potențialul economic al pilelor de combustie, dar a întâlnit bariere tehnice și costuri mari investiționale, iar consecința, celulele de combustie nu erau competitive economic în condițiile tehnologiilor existente în acea perioadă;
- după 1980 – urmează o perioadă de „bum tehnologic”, de implementare a noilor tehnologii și de dezvoltare a pieței;
- 1984 – Biroul pentru tehnologii de transport din cadrul Departamentului energiei al SUA, a susținut cercetările și dezvoltarea tehnologiei pilelor de combustie și ca rezultat, acum sute de companii din lume au rezultate referitoare la ieftinirea tehnologiei de producere a pilelor de combustie. În eforturile lor companiile au fost ghidate de considerații tehnice, economice și sociale cum sunt: caracteristici de performanță, siguranță în funcționare, durabilitate, cost scăzut și protecția mediului ambiant;
- 1998 – Chicago devine primul oraș din lume care a introdus în transportul public, autobuzele fără poluare cu gaze a atmosferei, folosind ca sursă de energie celulele de combustie cu hidrogen. Prezența acestui tip de vehicule a fost apoi extinsă și în alte orașe: Vancouver (Canada), Londra (Anglia).

La ora actuală sunt conturate clar trei domenii distincte de utilizare a celulelor de combustie, domenii asupra cărora se focusează și cercetarea: aplicațiile staționare, transportul și aplicațiile portabile.

4.2. Tehnologia pilelor de combustie

4.2.1. Comparație cu ciclul Carnot

Pentru a putea compara pila de combustie cu alte sisteme de producere a energiei, ca de exemplu motorul cu ardere internă, este necesară o evaluare a randamentului sistemului [EG&G2002], [Muscalu1989]. Pentru motorul cu ardere internă, randamentul maxim este exprimat prin randamentul ciclului Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (4.2)$$

unde T_1 și T_2 reprezintă temperatura sursei calde, respectiv a celei reci, exprimate în grade Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)

Pentru pila de combustie, randamentul maxim este exprimat prin variația energiei libere Gibbs (ΔG) și variația entalpiei (ΔH) în reacția electrochimică:

$$\eta_{PC} = \frac{\Delta G}{\Delta H} \quad (4.3)$$

Randamentul global de conversie electrică al unei pile de combustie, este superior celui al sistemelor cu motor termic. O comparație a randamentelor globale de conversie electrică este redată în Fig. 4.3.

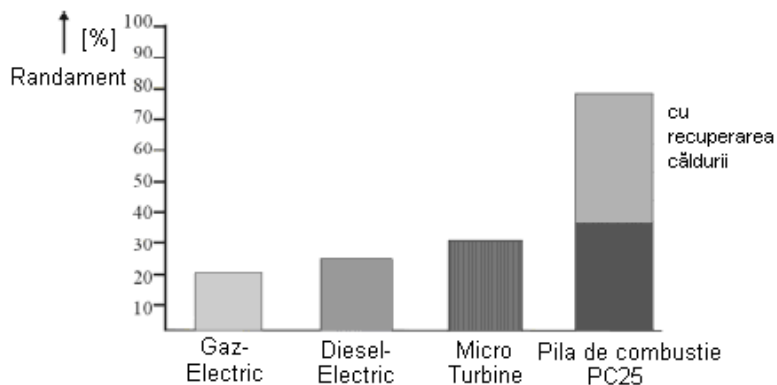


Fig. 4.3. Comparație între randamentul de conversie electrică al pilelor de combustie și al altor sisteme de conversie energetică

O pilă de combustie este un echipament de conversie electrochimică a energiei. Pentru conversia combustibilului în putere, pila de combustie este de 2–3 ori mai eficientă decât o mașină cu ardere internă. Motoarele cu ardere internă sunt mai puțin eficiente, fiindcă ele implică conversia energiei chimice în căldură care este convertită apoi în lucru mecanic, proces a cărui randament (eficiență) este limitat de ciclul Carnot. În termodinamica teoretică studiul ciclului Carnot arată că nici în condiții ideale de lucru, o mașină termică nu poate converti întreaga căldură primită în lucru mecanic; o parte a căldurii este cedată mediului ambiant. Într-o mașină cu ardere internă care primește căldură de la o sursă de temperatură înaltă T_1 , o parte din energie este convertită în lucru mecanic și ceea ce rămâne este cedată la o sursă de căldură (termostat) de temperatură joasă T_2 . Cu cât este mai mare diferența de temperatură dintre cele două surse de căldură, cu atât mai mare este randamentul.

Pentru că celulele de combustie convertesc energia chimică direct în energie electrică, procesul nu trebuie să implice conversia căldurii în lucru mecanic și deci randamentele celulelor de combustie pot depăși limita Carnot, chiar dacă ele funcționează la o temperatură scăzută, de exemplu la 80°C [Jousse2001]. În Fig. 4.4 se ilustrează această caracteristică în comparație cu ciclul Carnot, în cazul temperaturii de condensare cuprinse între 50-100°C. Această caracteristică i-a condus pe cercetători la investigarea sistemelor hibride de pile de combustie și cicluri cu turbină cu abur, pentru a atinge eficiențe energetice de peste 70% [Maru2005].

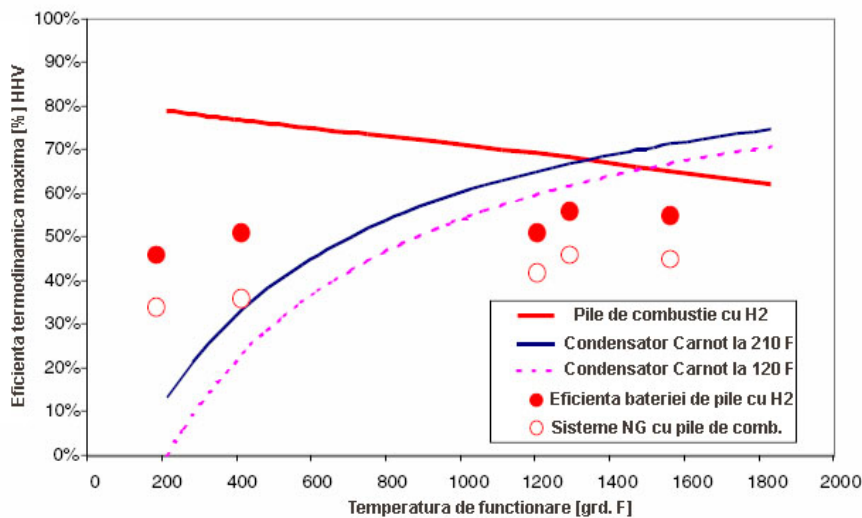


Fig. 4.4. Efectul temperaturii de funcționare asupra eficienței pilei de combustie

Pila de combustie este un echipament de conversie electrochimică a energiei. O pilă de combustie produce electricitate, apă și căldură, folosind combustibil și oxigenul din aer. Apa este doar rezultatul reacției chimice, pe când hidrogenul este combustibilul. În Fig. 4.5 sunt prezentate principalele elemente constitutive ale pilei de combustie [Nexus2002].

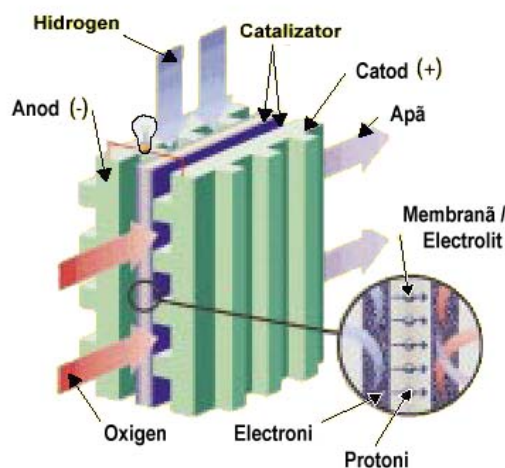


Fig. 4.5. Alcătuirea unei pile de combustie

În timp ce hidrogenul străbate pila de combustie pe partea anodului, un catalizator de platină facilitează separarea hidrogenului în electroni și ioni pozitivi ai hidrogenului (protoni). Ionii de hidrogen străbat membrana amplasată în centrul pilei de combustie, se combină cu oxigenul și electronii de pe partea catodului, producând apă. Electronii, care nu pot străbate membrana, trec de la anod la catod, printr-un circuit electric exterior pilei de combustie. Sarcina electrică din circuit, reprezentată prin rezistor, motor, etc., consumă puterea generată de pila de combustie. Tensiunea unei singure pile este în jur de 0.7 V, aproape suficientă pentru un beculeț cu incandescență. Când celulele sunt legate în serie formând o baterie, tensiunea de lucru a bateriei crește la valoarea 0,7 V înmulțită cu numărul de pile înseriate [Larminie2001].

Pilele de combustie produc energie electrică sub formă de c.c. printr-un proces electrochimic asemănător acumulatorilor clasice. Spre deosebire de acestea, este necesară o sursă de combustibil care să le alimenteze continuu. Reactanții, de regulă hidrogen și oxigen gazoși, sunt introduși într-un reactor și energia electrică este generată atâta timp cât aceștia sunt furnizați. Hidrogenul este, de regulă, produs dintr-o hidrocarbură cum ar fi gazul natural sau gazul de sondă (LPG), iar oxigenul este preluat din aerul ambiant.

În continuare se prezintă o comparație între pilele de combustie și motoarele cu ardere internă. Ceea ce au în comun motoarele cu ardere internă, bateriile și pilele de combustie, este faptul că toate sunt dispozitive care convertesc energia dintr-o formă în altă formă. Ca punct de plecare să considerăm motorul cu ardere internă, folosit astăzi la marea majoritate a automobilelor din lume. Aceste motoare funcționează la temperatură ridicată, energia chimică a combustibilului ars în cilindrii în prezența oxigenului din aer, fiind transformată în final în lucru mecanic. Motoarele cu ardere internă, la fel ca și centralele electrice convenționale, transformă energia combustibilului în energie termică pentru a genera lucru mecanic pentru automobile, respectiv electricitate în cazul centralelor electrice [Ardelean2008c], [Weiss2003].

La automobilele acționate cu electricitatea generată direct de pilele de combustie cu hidrogen, nu există ardere. Hidrogenul și oxigenul sunt supuse unei reacții chimice relativ reci și fără zgomot, producând direct energie electrică. Această electricitate este folosită de motoarele electrice cuplate mecanic la roțile automobilului. Vehiculele cu pile de combustie cu hidrogen nu vor avea emisii de gaze, fapt deosebit de important, ținând cont de aglomerările din orele de vârf ale circulației din marile orașe.

Există și asemănări între pilele de combustie și motoarele cu ardere internă: pentru ambele este nevoie de un rezervor de combustibil și ambele folosesc oxigenul din aer. Un electro-vehicul este un vehicul acționat de motoare electrice alimentate cu baterii electrice, sau cu pile de combustie. Bateriile și pilele de combustie sunt asemănătoare prin aceea că ambele convertesc direct și foarte eficient energia chimică în electricitate și ambele necesită o întreținere minimă, deoarece nu au piese în mișcare. Cu toate acestea, spre deosebire de pilele de combustie, într-o baterie reactanții sunt stocați intern și când ei sunt consumați bateria trebuie reîncărcată, iar după un timp înlocuită. În cazul pilelor de combustie, combustibilul este stocat în exterior în rezervorul automobilului și aerul este obținut din atmosferă. Atâta timp cât rezervorul vehiculului conține combustibil, pila de combustie va produce energie sub formă de electricitate și căldură. Opțiunea referitoare la echipamentul electrochimic, baterii sau pile de combustie, depinde de aplicație.

Pentru un domeniu mare de aplicații, pilele de combustie au câteva avantaje față de baterii: o dimensiune mai mică, sunt mai ușoare, o realimentare rapidă cu combustibil și o funcționare mai îndelungată, atât între două alimentări succesive, cât și ca durată de viață [Raymond2001], [Schneuwly2002].

În Fig. 4.6 este prezentată schema de principiu a acționării unui electro-vehicul [Dresser2002], [Mamut2005].

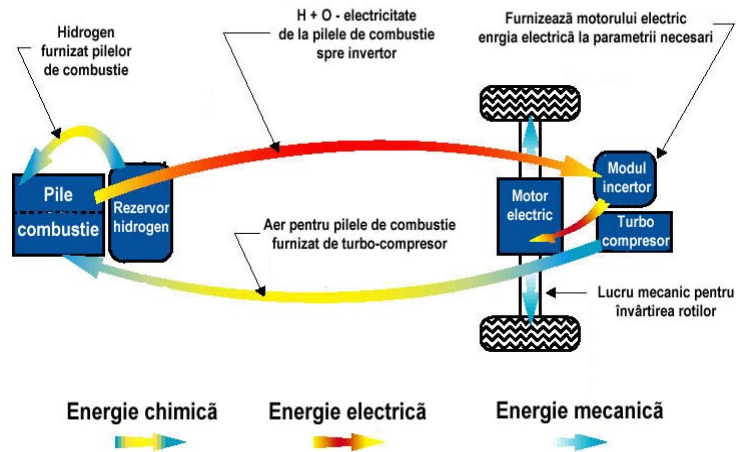


Fig. 4.6. Schema principală a unui electro-vehicul

4.2.2. Prezentarea tehnologiei

4.2.2.1. Componentele și procesele fundamentale

Sistemele cu pile de combustie destinate pentru aplicațiile de generare distribuită, sunt în principal sisteme alimentate cu gaz natural sau LPG. Fiecare sistem este alcătuit din trei părți:

- pila de combustie propriu-zisă care generează curent continuu;
- procesorul de combustibil, care produce hidrogen din gaz natural;
- invertorul, care transformă c.c. în c.a.

În Fig. 4.7 este ilustrat procesul electrochimic dintr-o pilă de combustie cu acid. Pila de combustie este formată dintr-un anod (electrodul negativ), un catod (electrodul pozitiv), un electrolit și o sarcină electrică externă. Anodul asigură interfața dintre electrolit și combustibil, catalizează reacția combustibilului și asigură o cale conductoare prin care electronii ajung la sarcină prin circuitul extern. Catodul asigură o interfață între oxigen și electrolit, catalizează reacția oxigenului și asigură o cale conductoare pentru închiderea circuitului la sarcina exterioară. Electrolitul, un conductor de tip ionic (nu pe bază de electroni) acționează ca un separator între hidrogen și oxigen, pentru a preveni amestecarea și declanșarea combustiei directe (termice). El completează circuitul electric prin transportul ionilor între electrozi.

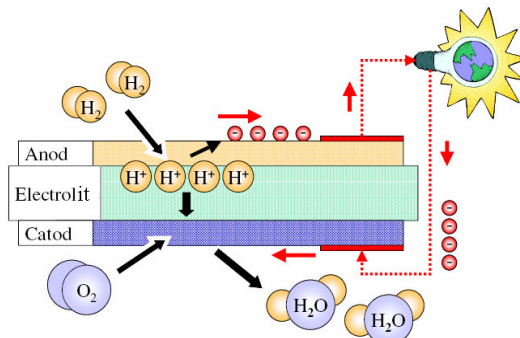


Fig. 4.7. Procesul electrochimic într-o pilă de combustie

Hidrogenul și oxigenul sunt furnizate la anod și respectiv la catod. Cele două gaze nu se amestecă și în acest mod nu se produce combustia directă. La catod, la un moment dat, oxigenul oxidează o moleculă în prezența catalizatorului. Deoarece reacția este controlată la nivel molecular, este exclusă apariția oxizilor de azot sau a altor oxidanți. La anod, hidrogenul se disociază electrochimic (în prezența catalizatorului), în ioni de hidrogen și electroni liberi. Reacția de la anod, care este electrodul combustibilului, este de forma:



Electronii circulă de la anod prin circuitul electric extern. Ionii de hidrogen circulă în electrolit și la catod, conduși de forțele electrice și de concentrație. La catod, oxigenul gazos este combinat electrochimic (în prezența catalizatorului), cu ionii de hidrogen și electronii liberi pentru a forma apă. Reacția de la catod, care este electrodul oxigenului, este de forma:



Cantitatea de energie emisă este egală cu diferența dintre energia liberă Gibbs a produsului și energia liberă Gibbs a reactanților. În timpul generării puterii electrice, electronii liberi circulă prin circuitul extern, ionii circulă prin electrolit, iar combinațiile chimice circulă în și din electrozi. Fiecare proces are o rezistență naturală și ca urmare, reduc tensiunea de funcționare a pilei sub potențialul teoretic. Mai sunt și transformările ireversibile care afectează procesul. De aceea, o parte a energiei potențiale chimice se convertește în căldură. Puterea electrică efectivă produsă de pilă, este produsul dintre valoarea curentului electric și tensiunea de funcționare. În funcție de aplicație, tensiunea unei pile este între 0,55 la 0,80 V. Valoarea teoretică a tensiunii este 1,48 V. După cum a fost explicat, căldura este generată împreună cu energia electrică. Aceasta se poate calcula, prin produsul dintre valoarea curentului electric și diferența dintre valorile operațională și teoretică, ale tensiunii. În cele mai multe cazuri, apa produsă de pila de combustie este eliminată sub formă de vapori și de aceea este utilizat un potențial teoretic de 1,23 V, pentru a estima căldura generată de pilă în procesul electrochimic.

Eficiența electrică globală a pilei, este raportul dintre energia electrică și termică generate și cantitatea de hidrogen consumată. Eficiența maximă termodinamică a pilei cu hidrogen, este raportul dintre energia liberă Gibbs și valoarea energiei echivalente a hidrogenului. Energia liberă Gibbs, descrește cu creșterea temperaturii, deoarece apa sub formă de abur, produsă la o temperatură mai ridicată a combustibilului, include căldura sensibilă a acestuia și această energie nu poate fi convertită în electricitate, fără adăugarea unui ciclu termic de conversie, cum ar fi ciclul turbină cu abur. De aceea eficiența maximă a unui sistem cu pilă de combustie, descrește cu creșterea temperaturii.

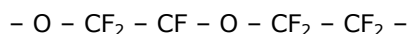
4.2.2.2. Structura membranelor electrolit din polimer (PEM)

PEM este un polimer, substanță formată din molecule gigantice, rezultate prin reunirea unor molecule simple numite monomeri, organic solidă, în mod obișnuit acid poli-perfluorosulfonic [Pyke2000]. Un material tipic de membrană, cum ar fi Nafion™, fabricat de DuPont, constă din 3 regiuni:

1. Lanțul principal de fluocarbon, asemănător cu teflonul, este format din sute de unități care se repetă în lungime:



Lanțurile laterale



conectează lanțul principal cu a 3-a regiune;

2. Grupările de ioni (atom care câștigă o sarcină electrică, prin pierderea sau câștigarea de electroni), constând din ionii acidului sulfonic H^+SO_3^- .
3. Ionii negativi de SO_3^- sunt atașați permanent la lanțurile laterale și nu se pot mișca.

Totuși când membrana se hidratează prin absorbția apei, ionii de hidrogen devin mobili. Mișcarea ionilor se datorează protonilor, fixați de către moleculele de apă, care sar din SO_3^- în SO_3^- în interiorul membranei. Din cauza acestui mecanism, electrolitul solid hidratat este un excelent conductor. Conductibilitatea PEM este limitată de domeniul de temperatură în care apa este lichidă. Structura chimică a membranei de Nafion™ de la DuPont, este prezentată în Fig. 4.8.

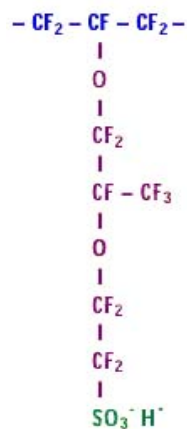


Fig. 4.8. Structura chimică a membranei de Nafion™ de la DuPont

Membrana trebuie să conțină apă astfel ca ionii de hidrogen să poată să se deplaseze în interiorul ei. Funcționarea pilelor de combustie cu PEM la temperaturi de peste 100°C , este posibilă în condiții de presiune crescută, necesară pentru a menține apa în stare lichidă, dar acest lucru scurtează durata de viață a pilelor de combustie.

În prezent PEM costă în jur de $100 \text{ \$/ft}^2$ ($1 \text{ ft}^2 = 9,29 \text{ dm}^2$), cost cu tendință de scădere în viitor.

4.2.2.3. Pile de combustie cu membrane electrolit din polimer (PEM)

Așa cum se prezenta situația în urmă cu 10 ani, vehiculele antrenate cu pile de combustie, păreau mai mult o ficțiune decât o realitate. Astăzi, dezvoltarea tehnologiei pilelor de combustie a devenit o realitate datorită PEM. Tipul de pilă de combustie ce folosește PEM, este cunoscut ca pilă de combustie cu membrană schimbătoare de protoni, sau pilă de combustie cu electrolit polimer solid SPE (Solid Polymer Electrolyte), sau, mai simplu, pilă de combustie cu electrolit polimer [Moffitt2006]. În mod uzual este denumită simplu, ca pilă de combustie PEM. Partea esențială a acestei pile este PEM, ea fiind comună pentru toate cele 5 familii de pile de combustie care se diferențiază între ele prin electrolitul folosit, astfel încât orice discuție a pilelor de combustie PEM, ar trebui logic să înceapă cu electrolitul ei.

Un electrolit obișnuit, este o substanță care în prezența apei disociază în ioni încărcăți cu sarcină electrică pozitivă și respectiv negativă, în consecință făcând soluția sa apoasă să fie conductoare de electricitate. Electrolitul într-o pilă de combustie PEM este un tip de plastic, un polimer care în mod obișnuit este denumit membrană. Forma de prezentare a electrolitului variază funcție de fabricant, dar cea mai răspândită

membrană, Nafion™ produsă de DuPont, se aseamănă cu ambalajul de plastic folosit pentru alimente. Tipic, materialul membranei este mult mai dens ca un ambalaj comun din plastic, variind în grosime de la 50 la 175 microni (pentru comparație, se precizează că o foaie de hârtie obișnuită are grosimea în jur de 25 microni, deci o PEM are grosimea a 2 până la 7 foi de hârtie).

Într-o pilă de combustie, membrana este bine umectată, astfel încât electrolitul arată ca o bucată umedă de ambalaj gros de plastic. PEM este totuși un electrolit neobișnuit prin aceea că în prezența apei, pe care membrana o absoarbe cu ușurință, ionii negativi sunt ținuți rigid în interiorul structurii sale. Numai ionii pozitivi conținuți în membrană sunt mobili și liberi să transporte sarcina pozitivă prin membrană. În pilele de combustie PEM, acești ioni pozitivi sunt ioni de hidrogen sau protoni, de unde și termenul de membrană schimbătoare de protoni. Mișcarea ionilor de hidrogen prin membrană se petrece numai într-o singură direcție, de la anod la catod și este esențială pentru funcționarea pilei de combustie. Fără această mișcare a sarcinii ionice în interiorul pilei de combustie, circuitul format din celulă, cabluri și sarcina electrică, ar rămâne deschis și nu ar apărea nici o circulație a curentului electric. Pentru că structura PEM este bazată pe lanțuri principale de Teflon™, membrana este relativ rezistentă, stabilă la substanțe. Deși este subțire, o PEM este un separator eficace pentru gaze. Ea poate păstra combustibilul de hidrogen separat de aerul oxidant, caracteristică esențială pentru buna funcționare a pilei de combustie. Deci conductorii ionici, adică PEM, nu conduc electronii. Natura organică a structurii PEM, o face pe aceasta să fie un izolator electronic, altă caracteristică esențială funcționării pilelor de combustie. Fiindcă electronii nu se pot mișca prin membrană, electronii produși într-o parte a celulei, trebuie să treacă printr-un conductor exterior pe cealaltă parte a pilei, pentru a realiza circuitul electric. Pe calea circuitului exterior al celulei de combustie, electronii furnizează puterea electrică necesară pentru a deplasa un automobil sau a acționa o instalație.

4.2.2.4. Electrozii

Toate reacțiile electrochimice constau din două reacții separate: o semi-reacție de oxidare, care se petrece la anod și o semi-reacție de reducere, care se petrece la catod. Anodul și catodul sunt separați unul de celălalt prin electrolit, adică membrana. Semi-reacția de oxidare, este un proces în care o specie a unei substanțe chimice se transformă în altă specie cu o sarcină pozitivă mai mare, datorită eliberării (cedării) unuia sau a mai multor electroni. Ea poate apare numai când este însoțită de o reacție de reducere. Semi-reacția de reducere, este un proces în care o specie a unei substanțe chimice se transformă în altă specie cu o sarcină pozitivă mai mică, datorită primirii unuia sau a mai multor electroni. Ea poate apare numai când este însoțită de o reacție de oxidare.

În Fig. 4.9 se prezintă schema unei pile de combustie H_2/O_2 cu membrană polimerică, utilizată în programul spațial Gemini. Aceasta se compune din electrozii de Ti cu catalizator de Pt (1), membrana schimbătoare de ioni (2) și meșa (3), pentru menținerea cotei de apă în membrana schimbătoare de ioni.

În pilele de combustie se petrece o reacție de oxido-reducere formată din două semi-reacții:

- oxidare, prin care moleculele de combustibil gazos (hidrogenul) de la anod (-), cedează un electron, transformându-se în protoni (H^+)
- reducere, prin care moleculele de oxigen din aerul de la catod (+), primesc 2 electroni, transformându-se în ioni negativi (O^{2-}).

La anod, electronii eliberați de hidrogen, ce se transformă în protoni, parcurg circuitul electric exterior ajungând la catod, unde sunt primiți de moleculele de oxigen, care se transformă în ioni negativi. Ionii pozitivi de hidrogen (cationii), străbat PEM de la anod spre catod, închizând circuitul electric din interiorul pilei și ajung în contact cu

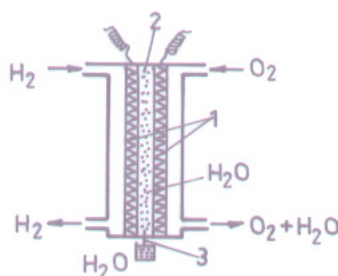


Fig. 4.9. Schema unei pile de combustie H_2/O_2 cu membrană polimerică, utilizată în programul spațial Gemini

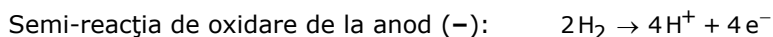
ionii negativi ai oxigenului (anionii), cu care se combină dând naștere rezultatului final al reacției, apa (H_2O) și unei călduri degajate de reacție. Trebuie menționat că sensul convențional de curgere a curentului electric, este de la electrodul (+) la electrodul (-), în sens contrar celui în care electronii, sarcinile libere din conductoare, se deplasează de la anodul pilei de combustie (borna negativă având surplus de electroni) la catodul acesteia (borna pozitivă având deficit de electroni). Denumirea electrozilor unei pile de combustie nu trebuie asociată cu polaritatea lor, ci cu tipul de reacție ce are loc acolo și anume oxidare pentru anod (-) și reducere pentru catod (+).

La o pilă de combustie, reacția de oxido-reducere se petrece în mod normal foarte încet, la o temperatură tipică pentru PEM în jur de $80^\circ C$, considerată temperatură joasă. Pentru a crește viteza reacției chimice și deci intensitatea curentului electric furnizat de pilă, se folosesc catalizatori chimici atât la anod cât și la catod. Cel mai bun catalizator este platina, care este o substanță extrem de rară și deci de scumpă (prețul platinei este semnificativ mai mare ca cel al aurului).

Produsele finale ale tuturor reacțiilor chimice din pila de combustie sunt: apa, energia electrică furnizată și căldura eliberată. Răcirea pilelor de combustie este necesară pentru a menține bateria de pile de combustie la o temperatură în jur de $80^\circ C$. La această temperatură, apa produsă de pila de combustie, se găsește atât în stare lichidă cât și sub formă de vapori. Apa produsă este eliminată din pila de combustie printr-un curent de aer, care asigură evaporarea suficient de rapidă a lichidului și îndepărtarea tuturor vaporilor de apă existenți în pilă.

4.2.2.5. Electrochimia pilelor de combustie PEM

Cu aproximativ 30 de ani în urmă, DuPont a realizat un copolimer de acid perfluorosulfonic și PTFE în formă acidă, cunoscut sub numele de Nafion. Membranele Nafion® ale firmei DuPont sunt filme bazate pe polimerul Nafion® PFSA. Membranele Nafion® PFSA au o utilizare largă în pilele de combustie cu membrană cu schimb de protoni (PEM). Membrana funcționează ca un separator și un electrolit solid într-o varietate de celule electrochimice care necesită transportul selectiv de cationi prin joncțiunea pilei. Polimerul este rezistent din punct de vedere chimic și durabil. Folosirea unui polimer solid, elimină necesitatea unui compartiment etanș pentru electrolitul lichid, precum și coroziunea și problemele de siguranță legate de aceasta. Reacția din interiorul pilei de combustie are la bază două semi-reacții:



Procesele fizice și chimice care se petrec la fiecare electrod sunt foarte complexe. La anod hidrogenul gazos (H_2), trebuie să difuzeze pe căi întortocheate până este întâlnită o particulă de platină (Pt). Pt catalizează procesul de disociere a moleculei de H_2 în doi atomi H, legați la doi atomi vecini de Pt. Numai atunci fiecare atom de H poate elibera un electron (e^-) pentru a forma un ion de hidrogen (H^+). Curentul curge în circuit pe măsură ce acești ioni H^+ străbat membrana spre catod, în timp ce electronii trec de la anod la catod prin circuitul exterior. Reacția unei molecule de oxigen (O_2) la catod, este un proces de reducere a $4e^-$, care se petrece într-o secvență care cuprinde mai mulți pași. Catalizatorii bazați pe Pt, par a fi singurii catalizatori capabili să genereze mari viteze de reducere a O_2 , la temperaturi coborâte de $80^\circ C$, la care pila PEM funcționează. Există încă incertitudini privind mecanismul acestui proces complex. Performanța pililor de combustie PEM, este limitată în principal de viteza mică de reacție a reducerii O_2 , care este de 100 de ori mai lentă ca cea a reacției de oxidare a H_2 [FC&H2005].

4.2.2.6. Platina ca și catalizator

Folosirea unui polimer solid, elimină necesitatea unui compartiment etanș pentru electrolitul lichid precum și coroziunea și problemele de siguranță legate de aceasta. În Fig. 4.10 se prezintă o variantă avansată a unui ansamblu de celula PEM cu catalizator depus.

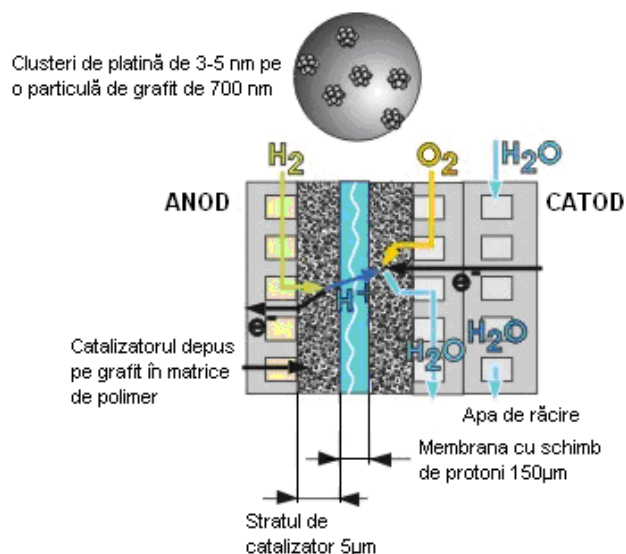


Fig. 4.10. O variantă avansată a unui ansamblu de celula PEM cu catalizator depus

Semi-reacțiile care se petrec la fiecare electrod, pot să aibă loc cu o mare viteză, numai la suprafața catalizatorului Pt. Platina este unică, pentru că este suficient de reactivă pentru a lega H și O, pentru a accelera procesele de la electrozi și pentru că este capabilă să elibereze efectiv componentele intermediare, pentru a forma produsul final. De exemplu, procesul de la anod necesită zone de Pt, pentru a lega atomii de H când moleculele de H_2 intră în reacție și apoi aceste zone de Pt eliberează atomii de H, ca $H^+ + e^-$:



Aceasta necesită o legare optimă a atomilor de H, nici prea slabă și nici prea tare, aceasta reprezentând calitatea unică a unui bun catalizator. Realizând că cel mai bun catalizator pentru pilele de combustie cu PEM este costisitor, micșorarea nivelului de concentrație a Pt la electrod, este o preocupare permanentă. Una dintre cele mai bune căi de a realiza aceasta, este de a construi stratul de catalizator cu cea mai mare suprafață posibilă. Fiecare electrod este constituit din carbon (C) poros, de care sunt atașate particule foarte mici de Pt. Electrozii sunt atât de poroși încât gazele să poată difuza prin fiecare dintre ei, pentru a atinge catalizatorul. Ambele, C și Pt, conduc bine electronii, astfel încât electronii se pot mișca liber prin electrod. Dimensiunea mică a particulelor de Pt, în jur de 2 nm în diametru, face ca aria totală ocupată de Pt să fie enormă și astfel să fie accesibilă moleculelor de gaz. Suprafața totală prezentată de acest număr uriaș de mici particule este foarte mare, chiar dacă masa de Pt folosită este mică. Această suprafață mare de Pt, permite reacțiilor de la electrozi, să se desfășoare simultan la mai multe zone de Pt. Această mare dispersare a catalizatorului, este una dintre cauzele care generează un flux însemnat de electroni, adică un curent important pentru pila de combustie. În Fig. 4.11 se prezintă PEM cu electrozi poroși formați din particule de Pt uniform împrăștiate în particulele de C.

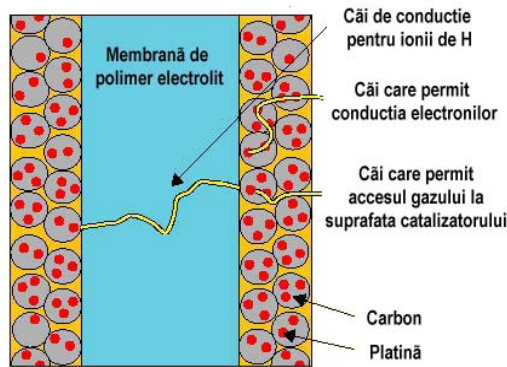


Fig. 4.11. PEM cu electrozi poroși formați din particule de Pt uniform împrăștiate în particulele de C

Catalizatorul, de obicei platina, este depus sub formă de nanoclusteri (3-5 nm) pe un suport de grafit – particule de grafit de 0,7-1 μm și încastrate cu o parte într-o folie de hârtie grafitată. Două folii sunt aplicate pe ambele părți ale membranei formând straturile de catalizator pentru anod și catod. Acest ansamblu PEM este cunoscut sub numele de membrană cu catalizator depus (CCM). Hârtia grafitată poate fi eliminată complet dacă se depune un strat mai gros de catalizator (5 μm), care să formeze un strat conducător electric pe membrană, cu o scădere a performanței catalizatorului de platină. În Fig. 4.12 este prezentat un model de Ansamblu Membrană – Electrod (MEA), folosind CCM. Alimentarea cu gaz și colectarea electronilor, se face printr-o placă profilată conductoare de gaz, care formează limita exterioară a unei celule.

Gazul este introdus lateral prin marginile electrodului spre interiorul acestuia, în timp ce electronii sunt transportați de placa electroconductoare spre celula următoare. La densități mai mari de putere, se introduce între fiecare două celule adiacente o placă electroconductoare suplimentară, cu un sistem de canale pentru apa de răcire. Membrana cu schimb de protoni pe bază de Nafion, funcționează de obicei sub 70-85°C. Temperatura scăzută de funcționare, asigură o pornire rapidă și nu necesită o izolație termică pentru protecția personalului. Aproximativ 50% din puterea maximă este disponibilă imediat, la temperatura camerei. Puterea totală este atinsă în aproximativ 3 minute, în condiții normale. Recentele descoperiri în domeniul designului și performanței, oferă posibilitatea scăderii costului pilelor PEM sub costul oricărei alte pile de combustie.

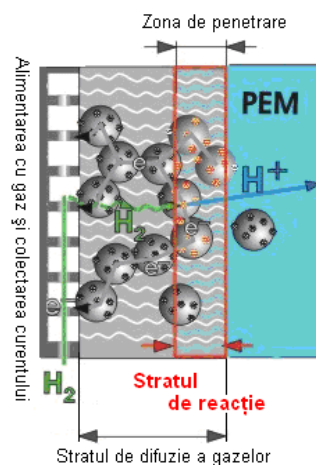


Fig. 4.12. Modelul stratului electrocatalitic al CCM

4.2.2.7. Apa și performanța pilei de combustie

Gestionarea apei, este cheia unei funcționări eficiente a unei pile de combustie cu PEM. Deși apa este un produs al reacțiilor din pila de combustie, care este îndepărtată din celulă pe durata funcționării sale, este interesant că, atât combustibilul cât și aerul introduse în pila de combustie, trebuie să fie umezite. Această apă suplimentară menține PEM hidratată. Umiditatea gazelor trebuie controlată cu foarte multă atenție. Prea puțină apă, împiedică membrana să conducă bine ionii de H^+ și curentul celulei scade sensibil. Dimpotrivă, dacă curentul de aer scurs de la catod este prea lent, aerul nu poate transporta toată apa produsă la catod în afara pilei de combustie și catodul "se inundă". Și în această situație performanța pilei este afectată, pentru că nu există suficient oxigen care să străbată excesul de apă, spre a veni în contact cu catalizatorul.

În continuare se prezintă câteva probleme legate de catalizatori, care trebuie să-și găsească rezolvarea într-un viitor apropiat:

- dezvoltarea unor noi catalizatori care să rămână neafecțați de impurități și astfel să îmbunătățească performanțele pilei de combustie;
- crearea unor noi catalizatori care să asigure o mare viteză de reducere a oxigenului la catod, pentru că procesul de reducere a O la catod este lent, în condițiile folosirii catalizatorilor actuali;
- viitorii catalizatori trebuie să fie mai ieftini ca și cei actuali bazați pe Pt, pentru a reduce prețul de cost al pilelor de combustie.

4.2.2.8. Ansamblul membrană / electrod

Combinarea anod / membrană / catod este denumită, pentru simplitate, ansamblul membrană / electrod. În prezent, există deja mai multe generații constructive a ansamblului membrană / electrod pentru pilele de combustie. Primele ansambluri membrană / electrod au fost construite în anii 1960 pentru programul spațial Gemini și au folosit 4 mg de platină pe cm^2 de suprafață a membranei. Tehnologia actuală depinde de fabricant, dar folosirea platinei a scăzut de la 4 mg/cm^2 la cca. 0.5 mg/cm^2 . Cercetările de laborator folosesc acum concentrații de platină de 0.15 mg/cm^2 . Aceasta corespunde la o îmbunătățire a performanțelor pilelor de combustie, de la 0.5 A/mg de Pt pentru programul Gemini la 15 A/mg astăzi. Grosimea membranei în ansamblul

electrod / membrană poate să se modifice în funcție de tipul membranei. Grosimea peliculei de catalizator depinde de cât de multă platină se folosește pentru fiecare electrod. Pentru straturi de catalizatori conținând în jur de 0.15 mg Pt/cm^2 , grosimea peliculei de catalizator este apropiată de 10 micrometri, mai puțin de jumătate din grosimea unei foi de hârtie. În Fig. 4.13 se prezintă ansamblul membrană / electrod.

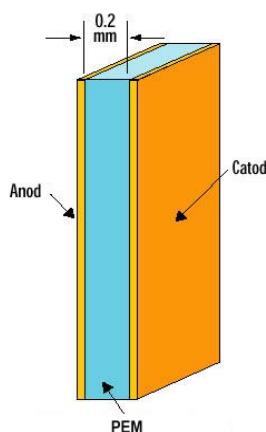


Fig. 4.13. Ansamblul membrană / electrod.

4.2.2.9. Realizarea ansamblului membrană / electrod

Construcția ansamblului membrană / electrod variază mult de la caz la caz, dar procedura descrisă în continuare este una dintre cele câteva folosite la Laboratorul Național Los Alamos (SUA), unde cercetările referitoare la pilele de combustie sunt foarte active. Materialul catalizatorului este mai întâi preparat sub formă de "cerneală" lichidă. Prin amestecarea completă împreună a unei cantități adecvate de catalizator (pudră de Pt dispersată în C) și o soluție de material de membrană dizolvat în alcool. Odată ce este preparată cerneala, ea este aplicată pe suprafața membranei solide prin mai multe metode. Cele mai simple metode implică pictarea "cernelei" catalizator direct pe bucata solidă (uscată) a membranei. Stratul de catalizator și membrana sunt încălzite până ce pelicula de catalizator este uscată. Atunci membrana este răsturnată și procedura se repetă și pe cealaltă față a membranei. Pelicula de catalizator se află acum pe ambele fețe ale membranei. Apoi ansamblul membrană / catalizator este rehidratat prin scufundare într-o soluție de acid diluat, în fierbere ușoară, pentru a ne asigura că membrana este în forma de H^+ , necesară pentru funcționarea pilei de combustie. Ultima etapă este o spălare minuțioasă în apă distilată. Ansamblul membrană / electrod este acum pregătit pentru inserarea lui în echipamentul pilei de combustie.

4.2.2.10. Straturile suport

Elementele componente ale pilei de combustie, straturile suport, spațiile de curgere și colectoarele de curent, se pot obține dintr-un ansamblu membrană / electrod. Așa numitele straturi suport, unul spre anod, celălalt spre catod, sunt făcute în mod uzual din hârtie de carbon poroasă sau din pânză de carbon, de grosime tipică de 100-300 micrometri. Straturile suport au fost făcute dintr-un material cum ar fi carbonul, care poate conduce electronii ce părăsesc anodul și sosesc pe catod. Natura poroasă a materialului suport, asigură difuzia eficientă a fiecărui gaz reactant spre catalizator, pe ansamblul membrană / electrod. În acest context, difuzia se referă la curgerea moleculelor de gaz, de la regiunea cu concentrație mare, adică de la partea exterioară

a stratului suport unde gazul curge prin spațiile de curgere, spre o regiune cu concentrație mică, situat pe partea interioară a următorului strat suport, spre stratul catalizator unde gazul este consumat de reacție. Structura poroasă a straturilor suport, permite gazului să se lamineze pe măsură ce el difuzează, astfel încât atunci când el străbate suportul, gazul va fi în contact cu întreaga arie a suprafeței membranei de cataliză. În Fig. 4.14 se prezintă o secțiune transversală mărită și detalii constructive referitoare la straturile suport.

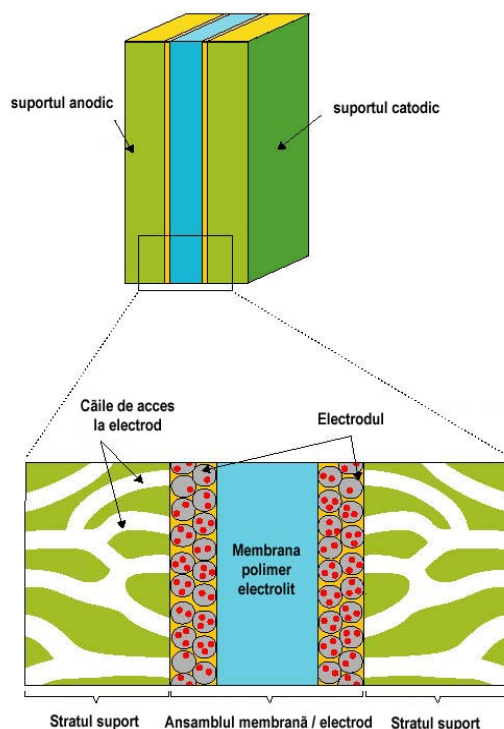


Fig. 4.14. Secțiune transversală mărită; detalii constructive referitoare la straturile suport

Straturile suport, ajută de asemenea la gestionarea apei pe durata funcționării pilei de combustie. Prea puțină sau prea multă apă, poate cauza oprirea funcționării pilei. Materialul adecvat pentru suport, permite unei cantități corecte de apă să atingă ansamblul membrană / electrod, pentru a menține membrana în stare umedă. Materialul suport permite de asemenea ca apa lichidă produsă la catod, să părăsească pila, astfel ca ea să nu fie "inundată".

4.2.2.11. Căile de curgere / colectoarele de curent

Pe suprafața exterioară a fiecărui strat suport se găsește o placă, având rol dublu, de cale de curgere și de colector de curent. Plăcile sunt realizate dintr-un material ușor, rezistent, impermeabil la gaz și conductor de electroni. În mod obișnuit sunt utilizate grafitul sau metalele, iar mai nou au fost dezvoltate plăcile compozite.

Primul rol realizat de fiecare placă, este acela de a furniza o "cale de curgere" pentru gaz. Partea plăcii situată imediat după stratul suport, conține canale prelucrate în placă. Canalele sunt folosite pentru a transporta gazul reactant, de la punctul în care el intră în pila de combustie, la punctul în care gazul iese. Forma canalelor de curgere în placă, precum și adâncimea canalelor, au un impact foarte mare asupra eficacității

distribuției uniforme a gazului reactant peste aria activă a ansamblului membrană / electrod. Proiectarea canalelor de curgere, afectează de asemenea alimentarea cu apă a membranei și îndepărtarea apei de la catod. În Fig. 4.15 se prezintă căile de curgere / colectoare de curent iar în Fig. 4.16 sunt prezentate detalii constructive ale acestora.

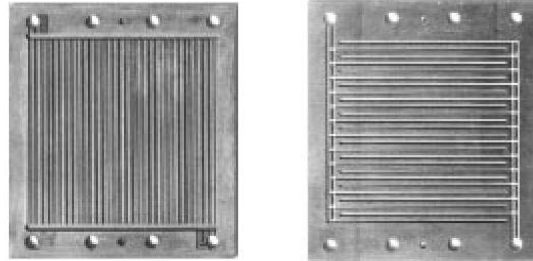


Fig. 4.15. Căile de curgere / colectoare de curent

Al doilea rol realizat de fiecare placă, este acela de colector de curent electric. Electronii produși de oxidarea hidrogenului trebuie conduși prin anod, prin stratul suport și prin placă, iar înainte ca ei să iasă din pilă, călătoresc printr-un circuit exterior și reintră în pilă la placa catodului.

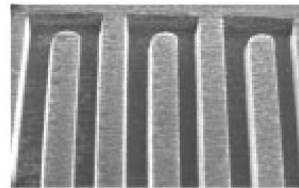


Fig. 4.16. Căile de curgere frezate în fibră de carbon; înălțime, lățime, spațierea dintre canale, toate de 0.8 mm.

Prin adăugarea căilor de curgere și a colectoarelor de curent, pila de combustie cu membrană electrolit din polimer este practic finalizată. Pentru curgerea curentului electric este necesar un circuit exterior de sarcină, așa cum ar fi un motor electric sau un simplu bec Fig. 4.17.

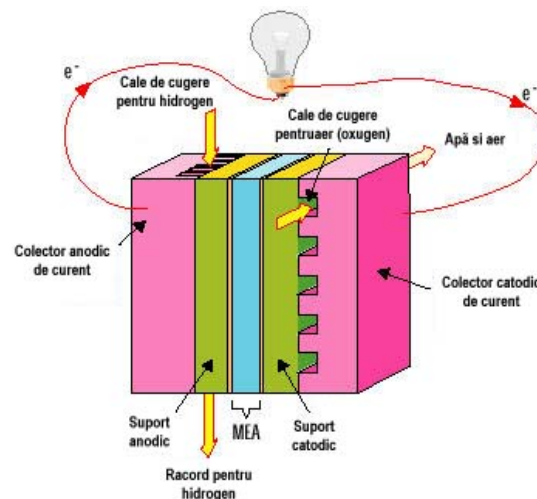


Fig. 4.17. Pilă de combustie cu electrolit din membrană de polimer

4.2.2.12. Determinarea tensiunii unei pile de combustie ideale

Tensiunea maximă (ΔE) a unei celule pentru reacția



unei pile de combustie hidrogen / aer, la o anumită temperatură și presiune, se calculează cu relația

$$\Delta E = - \frac{\Delta G}{n \cdot F} \quad (4.8)$$

unde ΔG este variația funcției energie liberă pentru reacție (funcția lui Gibbs), n este numărul de moli ai electronilor implicați în reacție pentru 1 mol de H_2 , iar F este constanta lui Faraday (96.487 C/mol). La presiunea de 1 atm., funcția lui Gibbs a energiei libere în procesul pilei de combustie, pentru 1 mol de H_2 , este calculată din temperatura reacției (T) și variațiile în reacție a entalpiei (ΔH) și entropiei (ΔS):

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S = -286.000 - 298 \cdot (-163,2) = -237.200 \text{ J} \quad (4.9)$$

Pentru pila de combustie hidrogen / aer, la 1 atm. și 25°C (298°K), tensiunea pilei este de 1,23 V:

$$\Delta E = - \frac{\Delta G}{n \cdot F} = - \frac{-237.000}{2 \cdot 96.487} = 1,23 \text{ V} \quad (4.10)$$

Pe măsură ce temperatura crește de la temperatura camerei la cea a unei pile de combustie în funcțiune (80°C / 353°K), valorile lui ΔH și ΔG se modifică puțin, deși temperatura se modifică cu 55°C. Valoarea absolută a lui ΔG descreește. Pentru o bună estimare, presupunând că nu există variații ale ΔH și ΔS :

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S = -285.800 - 353 \cdot (-163,2) = -228.200 \text{ J} \quad (4.11)$$

Tensiunea maximă a pilei descreește (pentru cazul standard de 1 atm.), de la 1.23 V (25°C), la 1.19 V (80°C):

$$\Delta E = - \frac{-228.200}{2 \cdot 96.487} = 1,18 \text{ V} \quad (4.12)$$

Ținând cont de o corecție suplimentară în cazul utilizării aerului în locul oxigenului pur, tensiunea maximă obținabilă a pilei de combustie hidrogen / aer scade la 1.16 V, pentru 80°C și presiunea de 1 atm.

4.2.2.13. Randamentul, puterea și energia unei pile de combustie cu PEM

În Fig. 4.18 se prezintă curba de variație caracteristică tensiune – densitate de curent, a unei pile de combustie PEM.

Conversia energiei într-o pilă de combustie poate fi rezumată astfel:

$$\text{Energia chimică a combustibilului} = \text{Energia electrică} + \text{Energia calorică}$$

O pilă ideală H_2 / aer formată dintr-o singură celulă, trebuie să furnizeze 1.16 V la mersul în gol, 80°C și 1 atm. presiunea gazului. O măsură a randamentului de conversie a energiei pentru o pilă de combustie este dată de raportul dintre tensiunea reală a pilei și tensiunea teoretică maximă, pentru reacția H_2 / aer. Astfel, o pilă de combustie funcționând la 0.7 V, generează în jur de 60% energie sub formă de putere electrică, din energia utilă maximă care se poate obține de la combustibil. Dacă aceeași pilă de combustie funcționează la 0.8 V, atunci aproximativ 77.5% din energia utilă maximă va fi livrată ca electricitate. Energia rămasă (40% sau 22.5%), va apărea sub formă de căldură.

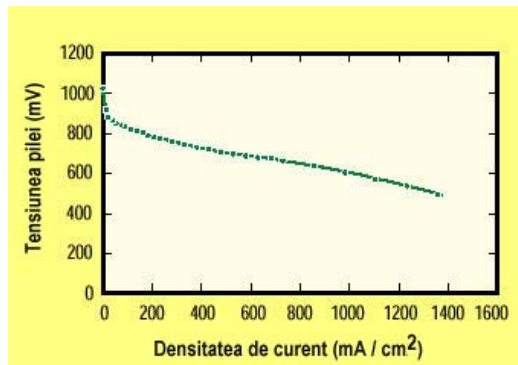


Fig. 4.18. Caracteristica tensiune – densitate de curent a unei pile de combustie PEM

Puterea (P) livrată de celulă, exprimată în [W], este produsul dintre curentul absorbit (I) și tensiunea la borne (V):

$$P = I \cdot V \quad (4.13)$$

Puterea reprezintă de asemenea, viteza cu care energia (E) este disponibilă, respectiv:

$$P = \frac{E}{t} \quad (4.14)$$

Reciproc, energia, exprimată în [Wh], este puterea disponibilă pe o anumită perioadă de timp (t), adică

$$E = P \cdot t \quad (4.15)$$

Pentru că masa și volumul pilei de combustie sunt caracteristici foarte importante, la caracterizarea pilei de combustie, se folosesc și mărimile specifice, raportate la volum și masă. Astfel, puterea specifică este raportul dintre puterea produsă de pilă și masa pilei, iar densitatea de putere este raportul dintre puterea produsă de pilă și volumul pilei. Putere specifică și densitate de putere mari, sunt foarte importante în aplicații, pentru a minimiza greutatea și volumul pilei, precum și a minimiza costul.

4.2.2.14. Viteza de generare a căldurii într-o pilă de combustie în funcțiune

Se presupune că o pilă de combustie de 100 cm² este în funcțiune, în condițiile de lucru tipice: presiunea de 1 atm., 80°C temperatură, 0.7 V, generând o densitate de curent de 0.6 A/cm², pentru un curent total de 60 A. Căldura suplimentară generată de această pilă poate fi apreciată după cum urmează:

Puterea corespunzătoare căldurii = Puterea total generată – Puterea electrică

$$P_Q = P_{total} - P_{el} = (V_{ideal} \cdot I_{pila}) - (V_{pila} \cdot I_{pila}) = (V_{ideal} - V_{pila}) \cdot I_{pila} = (1.16 - 0.7) \cdot 60 = 0.46 \cdot 60 \cdot 60 = 1.560 \text{ J/min.} \quad (4.16)$$

Această pilă de combustie, generând o căldură de aproximativ 1.7 kJ/min, mai produce simultan aproximativ 2,5 kJ/min, energie electrică. Deci randamentul total al pilei de combustie care funcționează în condițiile menționate anterior, este:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{total}} = \frac{P_{el}}{P_Q + P_{el}} = \frac{2,5}{1,7 + 2,5} = 0,60 \quad (4.17)$$

Deci randamentul de 0.60 al pilei de combustie este, cu peste 50% mai mare decât randamentul unui motor cu ardere internă, care este de aproximativ 0,40.

4.2.2.15. Polarizarea pilelor de combustie

Atunci când o pilă de combustie produce energie pe o sarcină electrică, se constată că tensiunea V la bornele ei, scade sub valoarea ΔE corespunzătoare funcționării reversibile, egală cu tensiunea electromotoare la mersul în gol calculată din funcția lui Gibbs. Scăderea tensiunii reflectă o scădere a randamentului pilei de combustie și se datorează *fenomenelor de polarizare*, care apar la electrozii pilei. Reacțiile chimice sunt fenomene ireversibile, care conduc la generare de entropie și deci la apariția unei degajări de căldură. Cu cât polarizarea pilei este mai mare, cu atât căldura degajată în pilă va fi mai mare și randamentul ei mai scăzut. Dacă sarcina electrică a pilei are o valoare suficient de mare, atunci cantitățile de reactanți, combustibil și aer, care vin în contact cu electrolitul, sunt insuficiente și prin urmare viteza de reacție scade atât de mult încât reacțiile chimice se opresc, tensiunea electromotoare dispare și pila se blochează complet, manifestându-se fenomenul de *polarizare totală* a pilei de combustie. Așa cum se va constata din cele prezentate în continuare, ea este cauzată de polarizarea de concentrație. Polarizarea depinde de valoarea sarcinii electrice la care este supusă pila. Cauzele care determină polarizarea pilei sunt multiple și în funcție de ele se disting 3 tipuri principale de polarizare [Oniciu1971]:

- **polarizarea de activare**, cauzată în principal de:
 - transferul lent al sarcinii prin electrolit; când prin circuitul exterior trece un curent finit, potențialul de electrod este format din două componente aditive: potențialul de echilibru și polarizarea (supratensiunea) de activare. În condițiile de echilibru cele două componente sunt egale și polarizarea datorită lor este nulă.
 - absorbția lentă a reactanților; pentru ca transferul de sarcină la interfața electrod / electrolit să poată avea loc, este necesară absorbția reactantului pe suprafața electrodului, caracterizată printr-o mare energie de activare (absorbție activată sau chemisorbție). Teoretic, polarizarea de activare crește mai repede în cazul unei chemisorbții lente, decât în cazul unui transfer de sarcină lent, fapt nu întotdeauna valabil din cauza ipotezelor simplificatoare folosite.
 - reacție lentă între intermediarii absorbiți, este mai puțin importantă în cadrul hidrogenului, dar poate deveni esențială în cazul unor combustibili mai complecși. Cunoașterea cauzei principale a polarizării de activare joacă un rol esențial pentru că permite alegerea catalizatorului care să mărească viteza de reacție și deci capacitatea pilei de a furniza curenți mari.
- **polarizarea de concentrație**, se petrece atunci când vitezele de transport a reactantului spre electrod și respectiv cea de eliminare a produsului reacției, nu sunt potrivite, fapt care se manifestă printr-o modificare bruscă a potențialului de electrod. Curentul corespunzător modificării abrupte a potențialului se numește *curent limită* pentru procesul de electrod. Depășirea curentului limită conduce la scăderea aproape la zero a tensiunii la bornele pilei de combustie. Polarizarea de concentrație poate fi diminuată prin creșterea temperaturii reactanților, sau prin cea a presiunii combustibilului gazos, factori ce măresc viteza cu care difuzează reactanții respectiv produsele reacției. Un alt factor care trebuie luat în considerare, este alegerea unui catalizator adecvat pentru electrodul de oxigen.
- **polarizarea ohmică**, are două componente:
 - *polarizarea ohmică a electrolitului*, se datorează rezistenței pe care o opune soluția de electrolit trecerii curentului electric I . Căderea de tensiune ΔU pe rezistența r a electrolitului are expresia:

$$\Delta U = r \cdot I \quad (4.18)$$

Rezistența electrolitului depinde de distanța l dintre electrozi, de suprafața A și de rezistivitatea electrică ρ a electrolitului:

$$r = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (4.19)$$

Rezistivitatea electrolitului depinde de natura sa, temperatura și concentrația pe care o are. Polarizarea ohmică poate cauza căderi de potențial mari la sarcini mari ale pilei.

- *polarizarea ohmică adițională din vecinătatea electrozilor*, se manifestă ca urmare a creșterii sau scăderii concentrației de electrolit, datorate formării și respectiv descărcării ionilor. În general, fiindcă variațiile de concentrație la electrozi vor determina scăderi ale conductivității electrice (inversa rezistivității electrice), determinările experimentale ale rezistenței ohmice ale electrolitului, vor conduce la valori mai mari ca și cele stabilite teoretic pe baza proprietăților sale.

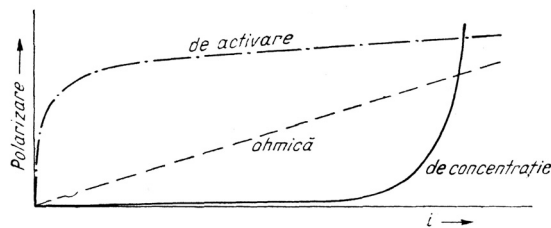


Fig. 4.19. Tipuri de polarizare a pilelor de combustie

Relația dintre polarizare și densitatea de curent (intensitatea curentului raportată la suprafața electrodului) este complexă, în special atunci când sunt prezente interacțiuni dintre diversele tipuri de polarizări. De aceea în primă aproximație, este suficientă considerarea independentă a diferitelor tipuri de polarizare, pentru a stabili caracteristicile esențiale ale polarizării electrozilor. Așa cum se observă din Fig. 4.19, pentru anumite domenii ale densității de curent, este posibilă identificarea genului de polarizare determinant: polarizarea de activare predomină la densități de curent mici, polarizarea ohmică la densități de curent mijlocii și polarizarea de concentrație la densități de curent mari.

4.2.2.16. Bateria formată din pile de combustie PEM

Sistemele practice cu pile de combustie necesită tensiuni mai mari de 0,55 V sau 0,8 V. Prin combinarea în serie a mai multor pile de combustie, se pot obține baterii care vor avea tensiunea necesară. În general sunt mai multe sute de pile de combustie într-o singură baterie. Spațiul necesar pentru o pilă de combustie, variază de la 100 cm² la 1 m², în funcție de tipul de combustibil și cerințele aplicației. În Fig. 4.20 se prezintă o baterie de 3 pile de combustie cu 2 plăci bipolare și 2 plăci terminale.

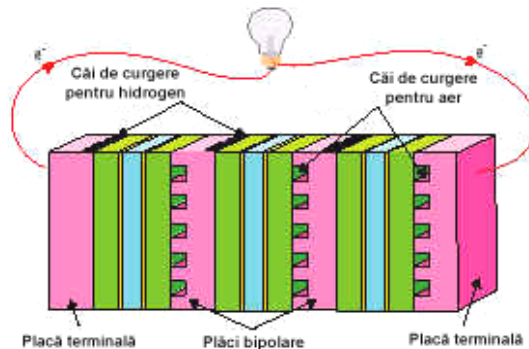


Fig. 4.20. O baterie de 3 pile de combustie cu 2 plăci bipolare și 2 plăci terminale

Randamentul pilelor de combustie fiind sub 100%, tensiunea de ieșire a unei celule, este mai mică de 1.16 V. Cum cele mai multe aplicații necesită o tensiune mult mai mare ca aceasta (200-300 V), tensiunea cerută este obținută prin conectarea în serie a pilelor (celulelor) individuale, pentru a forma o baterie de pile de combustie. Dacă celulele ar fi aliniate simplu una lângă cealaltă, colectoarele de curent catodic și anodic ar fi așezate alăturat. Pentru a scădea greutatea totală și volumul bateriei, în loc de două colectoare de curent alăturate, se folosește o singură placă cu canale de curgere tăiate pe ambele fețe. Acest tip de placă numită placă bipolară, separă o celulă de cea următoare, având rolul de a transporta hidrogenul gazos pe o parte și aerul pe cealaltă parte. Foarte important, ea este realizată dintr-un material impermeabil pentru gaze. Altfel gazele s-ar amesteca și s-ar ajunge la o oxidare directă a combustibilului. Fără separarea gazelor, electronii trec direct de la hidrogen la oxigen și acești electroni sunt pierduți, pentru că nu pot fi călăuziți printr-un circuit electric extern, pentru a produce un lucru electric util. Placa bipolară trebuie să fie conductoare electronic, pentru că electronii produși la anod, pe o față a plăcii bipolare, sunt conduși prin placă, pentru a intra la catodul de pe cealaltă parte a plăcii. Cele două plăci terminale, câte una pe fiecare parte a bateriei, sunt conectate prin circuitul electric exterior.



Fig. 4.21. Baterie din pile de combustie cu PEM

În termeni apropiați, diferiți fabricanți pot furniza o varietate de dimensiuni ale bateriilor de pile de combustie, pentru diverse aplicații. Suprafața unei singure pile (celule) de combustie, poate varia de la câțiva cm^2 , la câteva mii de cm^2 . O baterie poate consta de la câteva celule, la câteva sute sau mai multe celule, conectate în serie prin plăci bipolare. Pentru aplicații care necesită o mare putere, pot fi folosite mai multe baterii în combinații de tip serie și/sau paralel. În Fig. 4.21. se prezintă un exemplu de baterie de pile de combustie cu PEM.

4.3. Tipuri de pile de combustie

Clasificarea surselor electrochimice de energie, poate fi realizată după mai multe criterii, cum ar fi [Smith2002]:

a) după tipul REMA (Reacție ElectroMotoare Activă), deosebim:

- *REMA ireversibilă*, caracterizează *pilele primare* la care energia electrică se produce prin consumarea unor reactanți aflați în cantitate limitată la electrozi;
 - dacă odată cu epuizarea reactanților și acumularea produșilor reacției, pila este scoasă definitiv din funcțiune atunci avem de-a face cu o *pilă galvanică* (sau de *tip voltaic*);
 - dacă la electrozi se realizează un flux de reactanți, care să înlocuiască cantitatea epuizată de reacțiile chimice ce au loc și dacă produșii reacției sunt evacuați continuu din zona de reacție, atunci pila poate funcționa neîntrerupt și se numește *pilă de combustie*;

- *REMA este reversibilă*, reactanții de la electrozi consumați în urma furnizării energiei electrice sunt regenerați prin electroliză; această *pilă secundară* poate fi utilizată în mai multe cicluri de descărcare - încărcare și este cunoscută sub numele de *acumulator electric*;
- b) după starea de agregare a reactanților, deosebim:
- *pile uscate*, care pot fi:
 - cu *membrană de rășină (polimer)*;
 - cu *schimbător de ioni*;
 - cu *structură cristalină*;
 - *pile umede*, care pot fi:
 - cu *soluție apoasă*;
 - cu *topitură*;
- c) după natura electrolitului, deosebim:
- *pile acide*;
 - *pile alcaline*;
- d) după combustibilul folosit, se disting:
- *pile cu hidrogen*;
 - *pile cu gaz reformat sau pile indirecte*;
 - *pile cu alcooli și derivați oxigenați* cel mai utilizat fiind *metanolul*;
 - *pile cu hidrocarburi*;
 - *pile cu compuși ai azotului - hidrazină*;
 - *pile speciale* ce au un caracter *regenerativ* reactanții regenerându-se prin procese chimice, radiații, etc., cea mai cunoscută fiind *pilela redox*;
- e) după temperatura de funcționare, există pile:
- de *temperatură joasă*, aproximativ 80°C;
 - de *temperatură medie* sau *pile calde*, în jur de 200°C chiar 300°C;
 - de *temperatură înaltă* sau *pile fierbinți*, de la 400°C până la 800°C, sau chiar 1000°C.

Desigur, creșterea temperaturii este necesară pentru a asigura o viteză de reacție suficientă și deci o cantitate de energie electrică suficientă, având în vedere că, cu cât temperatura crește, cu atât reactivitatea compușilor chimici la temperaturi joase este mai redusă.

În practică se utilizează în special 5 tipuri de pilele de combustie aflate în dezvoltare. Acestea se clasifică după electrolitul folosit și după temperatura de funcționare:

1. *PEMFC* (Proton Exchange Membrane Fuel Cell / Polymer Electrolyte Membrane, pile de combustie cu membrană schimbătoare de protoni / cu membrană electrolit din polimer);
2. *AFC* (Alkaline Fuel Cell), pile de combustie alcaline;
3. *PAFC* (Phosphoric Acid Fuel Cell), pile de combustie cu acid fosforic;
4. *MCFC* (Molten Carbonate Fuel Cell), pile de combustie cu carbonat lichid;
5. *SOFC* (Solid Oxide Fuel Cell), pile de combustie cu oxid solid.

Fiecare tip de pilă funcționează la o temperatură optimă, care realizează un echilibru între conductivitatea ionică și stabilitatea componentelor. Această temperatură diferă de la un tip de pilă la altul. Pila bazată pe o conducție cu cationi (protoni) generează apă la catod, iar pila bazată pe conducția de anioni generează apă la anod. În Tabelul 4.1 prezintă caracteristicile fundamentale ale fiecărui tip de pilă de combustie menționat anterior [Leitman2005, Lukas2001, Williams2005]. O descriere succintă a fiecărui tip de pilă de combustie dintre cele menționate anterior, este prezentată în Anexa A2. Pentru mai multe informații legate de pilele de combustie, în Anexa A3 se face o prezentare mai detaliată a principalelor tipuri de pile de combustie aflate în uz la ora actuală.

Tabelul 4.1. Caracteristicile principalelor tipuri de pile de combustie

Caracteristici	Tipul pilei	PEMFC
Electrolitul		Ioni H ⁺ (membrană de polimer schimbătoare de ioni)
Reacția electrochimică		Anod: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ Catod: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Temperatura de lucru		65–85 °C
Reformare externă		Da
Oxidant		Aer sau O ₂
Construcție tipică		Plastic, metal sau carbon
Catalizator		Platină
Eliminarea apei produse		Evaporare
Aplicații importante		Aerospațial, maritim, transporturi, surse mobile și fixe
Combustibilul stocat		H ₂
Caracteristici speciale		Randament mare în funcționare, densitate mare de putere
Randamentul electric mediu (DG la HHV)		30 %
Limitele energiei specifice furnizate		1.69 - 3.94 kWh/m ³
Costuri estimate de fabricație a pilelor		2500 - 5000 \$/kW
Costuri estimate ale funcționării		5 - 11 ¢/kWh
Gama de puteri nominale		50 kW
Avantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Electrolit solid • Probleme reduse cu coroziunea • Temperatura scăzută • Pornirea rapidă
Dezavantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Catalizator scump • Necesită combustibil pur • Pierderi de căldură mici
Elemente de contaminare		CO, NH ₃ și sulf

Caracteristici	Tipul pilei	AFC
Electrolitul		Ioni OH ⁻ (soluție apoasă de hidroxid de potasiu)
Reacția electrochimică		Anod: $H_2 + 2(OH)^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$ Catod: $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2(OH)^-$ $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Temperatura de lucru		90 - 260 °C
Reformare externă		Da
Oxidant		Aer purificat, O ₂
Construcție tipică		Plastic metal
Catalizator		Platină
Eliminarea apei produse		Evaporare
Aplicații importante		Aerospațial, maritim, transporturi, surse mobile și fixe
Combustibilul stocat		H ₂
Caracteristici speciale		Randament mare, numai cu H ₂ și O ₂ pure
Randamentul electric mediu (DG la HHV)		35 %
Limitele energiei specifice furnizate		2.11- 4.88 kWh/m ³
Costuri estimate de fabricație a pilelor		3500 - 4000 \$/kW
Costuri estimate ale funcționării		2 - 3 ¢/kWh
Gama de puteri nominale		250 kW
Avantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Reacție rapidă la catod • Performanță ridicată
Dezavantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Cheltuieli suplimentare cu eliminarea CO₂ • Ventilație necesară
Elemente de contaminare		CO, CO ₂ și sulf

Caracteristici	Tipul pilei	PAFC
Electrolitul		Ioni H ⁺ (acid fosforic soluție)
Reacția electrochimică		Anod: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ Catod: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Temperatura de lucru		190–210 °C
Reformare externă		Da
Oxidant		Aer sau aer îmbogățit
Construcție tipică		Carbon, ceramică poroasă
Catalizator		Platină
Eliminarea apei produse		Evaporare
Aplicații importante		Transporturi și surse fixe
Combustibilul stocat		H ₂
Caracteristici speciale		Randament limitat, probleme de coroziune
Randamentul electric mediu (DG la HHV)		40 %
Limitele energiei specifice furnizate		1.60 - 3.71 kWh/m ³
Costuri estimate de fabricație a pilelor		3500 - 4000 \$/kW
Costuri estimate ale funcționării		2 - 3 ¢/kWh
Gama de puteri nominale		250 kW
Avantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Eficiență ridicată • Flexibilitate a purității combustibilului
Dezavantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Catalizator de platină • Greutate și dimensiuni mari
Elemente de contaminare		CO < 1%, sulf

Caracteristici	Tipul pilei	MCFC
Electrolitul		Ioni CO ₃ ²⁻ (topitură lichidă de carbonat Li, Ka eutectic)
Reacția electrochimică		Anod: $H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ Catod: $\frac{1}{2} O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$ $H_2 + \frac{1}{2} O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO_2$
Temperatura de lucru		650–700 °C
Reformare externă		Nu
Oxidant		Aer
Construcție tipică		Metale de temperatură ridicată sau ceramice poroase
Catalizator		Nichel
Eliminarea apei produse		Abur
Aplicații importante		Maritim și surse fixe
Combustibilul stocat		H ₂ , CO
Caracteristici speciale		Proces de reglare complex, probleme de coroziune
Randamentul electric mediu (DG la HHV)		45 %
Limitele energiei specifice furnizate		1.98 - 4.59 kWh/m ³
Costuri estimate de fabricație a pilelor		2500 - 4000 \$/kW
Costuri estimate ale funcționării		5 - 9 ¢/kWh
Gama de puteri nominale		100 kW - 3 MW
Avantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Eficiență ridicată • Flexibilitate a purității combustibilului • Catalizatori variați
Dezavantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Viteză mare de coroziune • Fiabilitate scăzută • Gestionare electrolitului grea • Pornire lentă
Elemente de contaminare		sulf

Caracteristici	Tipul pilei	SOFC
Electrolitul		Ioni O ²⁻ (matrice ceramică stabilizată cu ioni oxid liberi)
Reacția electrochimică		Anod: $H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$ Catod: $\frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$ $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Temperatura de lucru		750 - 1000 °C
Reformare externă		Nu
Oxidant		Aer
Construcție tipică		Ceramică sau metale de temperatură ridicată
Catalizator		Peroxizi ceramici
Eliminarea apei produse		Abur
Aplicații importante		Transporturi și surse fixe
Combustibilul stocat		H ₂ , CO, CH ₄
Caracteristici speciale		Folosește gaz natural și materiale ceramice
Randamentul electric mediu (DG la HHV)		50 %
Limitele energiei specifice furnizate		2.11 - 4.88 kWh/m ³
Costuri estimate de fabricație a pilelor		2500 - 5000 \$/kW
Costuri estimate ale funcționării		2 - 7 ¢/kWh
Gama de puteri nominale		200 kW --3MW
Avantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Eficiență ridicată • Flexibilitate a purității combustibilului • Catalizatori variați • Electrolit solid
Dezavantaje		<ul style="list-style-type: none"> • Viteză mare de coroziune • Fiabilitate scăzută • Pornire lentă
Elemente de contaminare		sulf

4.4. Pilele de combustie în contextul energiilor regenerabile

4.4.1. Beneficiile pilelor de combustie

Nici un alt tip de tehnologie de conversie a energiei, nu prezintă o combinație de avantaje atât de variată și complexă ca cea oferită de pilele de combustie. Aceste beneficii includ: randament maxim, performanță în mediu nemaîntâlnită până acum, calitate înaltă a energiei livrate, flexibilitate față de combustibilul folosit, funcționare liniștită cu un nivel de zgomot redus, simplitate, modularitate/scalabilitate (ceea ce conduce la o fidelitate crescută), amplasare flexibilă și ușurință în întreținere și adaptabilitate la specificul aplicațiilor. Spre deosebire de tehnologiile solare și eoliene, pilele de combustie funcționează continuu, indiferent de momentul zilei sau a condițiilor meteorologice și pot fi amplasate pe orice tip de teren. Beneficiarii pot să-și adapteze centralele lor bazate pe pile de combustie, pentru a satisface nevoile de putere din rețelele independente sau interconectate. Când pilele de combustie sunt situate în apropierea punctului de consum, apa caldă rezultată poate fi captată și folosită în scopuri utile (preparare apă caldă sau/și încălzire). Pilele de combustie pot fi amplasate aproape oriunde, de la o fermă sau într-un zgârie-nori și până la medii de lucru ostile, care variază de la deșertul californian la climatul rece din Alaska. Pilele de combustie ne permit să gândim neobișnuit despre generarea energiei. De exemplu, un automobil cu pile de combustie este o centrală ecologică pe roți, generatoare de electricitate [FCRev.2005].

Principalele avantaje ale pilelor cu combustie sunt următoarele:

- a. securitatea energetică** reprezentând securitatea furnizării și securitatea fizică.
- *securitatea furnizării* – deoarece sunt eficiente, modulare și flexibile față de combustibilul folosit, pilele de combustie pot facilita tranziția spre un viitor al energiei sigure, regenerabile, bazată pe folosirea hidrogenului:
 - un sistem cu pile de combustie care include un "reformatoare de combustibil" poate utiliza hidrogenul din orice combustibil cu hidrocarbonați sau alcool (gaz natural, etanol, metanol, propan și chiar benzină sau motorină). Hidrogenul poate fi produs și din electricitate convențională, nucleară sau din surse regenerabile;
 - hidrogenul poate fi obținut din surse neobișnuite de alimentare, cum sunt gazul de sondă, gazul obținut din fermentație anaerobă din uzinele de tratare a deșeurilor, din biomasă sau din amestecuri de hidrogen care nu conțin carbon ca și amoniacul, sau hidritul de bor;
 - procesul numit electroliză folosește curentul electric pentru a extrage hidrogen din apă. Pilele de combustie în combinație cu energia solară sau eoliană sau altă sursă energetică regenerabilă, oferă promisiunea unui sistem energetic cu emisiuni zero care nu are nevoie de combustibil fosil și care nu este limitat de capriciile fluctuației razelor solare sau vântului. Hidrogenul poate furniza energia pentru nevoile de putere și transport.
 - *securitatea fizică* – din cauza naturii lor de a fi distribuite în spațiu, pilele de combustie permit unei țări să se reorienteze față de dependența relativ la centralele electrice și rețelele de înaltă tensiune și distanță, care sunt cele mai râvnite ținte ale teroriștilor în încercarea lor de a paraliza infrastructura energetică.
- b. mare siguranță** – pilele de combustie pot fi configurate pentru a produce putere de rezervă unor consumatori conectați în rețea, dacă rețeaua iese din funcțiune. Ele pot fi configurate de asemenea pentru a produce o putere complet independentă față de rețea. Sau ele pot folosi rețeaua ca un sistem de rezervă. Instalarea modulară (instalarea câtorva unități identice care să ofere cantitatea dorită de electricitate) oferă o mare siguranță. În aplicații specializate, pilele de combustie pot oferi până la 99.9999% siguranță în funcționare, ceea ce înseamnă mai puțin de un minut de deconectare, într-o perioadă de 6 ani de funcționare.
- c. energie de înaltă calitate** – pilele de combustie pot oferi o energie de înaltă calitate, fapt crucial într-o economie care depinde de calculatoare cu o sensibilitate în creștere, echipamente medicale și mașini electronice cu sensibilități sporite.
- d. eficiență înaltă** – deoarece produc energia printr-un proces electrochimic și nu prin arderea liberă a combustibilului, pilele de combustie sunt mult mai eficiente (au un randament mai mare) decât sistemele bazate pe ardere liberă:
- *generarea energiei*
 - sisteme de generare a energiei aflate în funcțiune bazate pe pile de combustie, pot furniza astăzi un randament de 40% folosind combustibil pe bază de hidrocarburi;
 - sistemele alimentate cu hidrogen pot oferi un randament de 50% și sunt în curs de dezvoltare chiar sisteme mai eficiente;
 - comparativ cu o turbină, randamentul electric al ansamblului poate depăși 60%;
 - când căldura reziduală este folosită pentru încălzire sau răcire, randamentul întregului sistem poate crește până la 85%.
 - *transportul*
 - pilele de combustie pot ajuta statele să-și reducă dependența față de petrol, prin oferirea unor vehicule mai eficiente pe termen scurt și realizând astfel tranziția spre utilizarea pe scară largă a energiilor regenerabile;
 - se estimează că vehiculele de pasageri alimentate cu pile de combustie sunt de trei ori mai eficiente decât cele care folosesc motoarele cu ardere internă.

e. beneficiile de mediu – poluarea aerului continuă să fie considerată principala îngrijorare din punctul de vedere al sănătății populației. Subțierea stratului de ozon sau poluarea aerului cu substanțe chimice, au consecințe nefaste asupra sănătății populației. Studiile recente în domeniul medical concluzionează că poluarea urbană determină amenințări la nivelul sănătății, comparabile cu cele determinate de fumatul pasiv. Pilele de combustie pot reduce nivelul poluării și oferi perspectiva eliminării acestora în viitor:

- *generarea energiei* - comparativ cu generarea energiei prin tehnologii bazate pe arderea directă a combustibilului, pilele de combustie oferă performanțe excelente referitoare la conservarea mediului.
 - măsurătorile efectuate demonstrează că centrale care utilizează pile de combustie, generează poluare mai puțin de o uncie (28,3 g) la 1000 kWh de electricitate produsă, comparativ cu 25 pounds (11.45 kg) de poluant produse de sistemele de combustie convențională;
 - centralele care folosesc pile de combustie produc atât de puține emisii poluante, încât, în unele zone din SUA pentru a rezolva problema poluării mediului, a fost intens promovată această soluție. Pe măsură ce sursele de energie regenerabilă vor fi folosite tot mai mult, producerea de energie electrică va deveni un proces cu emisii poluante foarte mult diminuat.
- *automobilele* - cu pile de combustie sunt mult mai puțin poluante decât vehiculele care consumă direct combustibilul fosil.
 - vehiculele cu pile de combustie operează cu hidrogen stocat la bordul mașinii și, în sens convențional, produc poluare zero. Singurele produse secundare sunt apa și căldura;
 - sistemele care se bazează pe reformarea combustibilului la bordul autovehiculului (pentru a converti combustibilul lichid în hidrogen), reduc poluarea cu peste 90% în comparație cu motoarele bazate pe ardere internă;
 - reacția simplă ce are loc în interiorul pilelor de combustie este foarte eficientă. Chiar dacă hidrogenul este produs din combustibil solid, vehiculele cu pile de combustie reduc emisiile de dioxid de carbon cu mai mult de jumătate;
 - testele realizate pe autobuzele care funcționează cu pile de combustie alimentate cu metanol, au arătat emisii zero de hidrocarburi și emisii apropiate de zero de monoxid de carbon.

Pilele de combustie pot fi folosite pe camioane ca și centrale auxiliare (APU – Auxiliary Power Unit) pentru producerea aerului condiționat, reducând emisiile poluante și cu beneficii economice prin consumul mult mai scăzut de combustibil și cu rată de uzură și deteriorare mult mai mici.

f. beneficii internaționale – pilele de combustie intră pe piață într-o perioadă deosebit de favorabilă, când prețul petrolului și a gazelor naturale este într-o accentuată ascensiune și când țările fac presiuni pentru extinderea masivă a tehnologiilor alternative de producere a energiei. Pentru industria pilelor de combustie, principala provocare este aceea de a dovedi că poate oferi prețuri competitive și produse tot mai performante pe măsură ce cererea de piață va crește.

- tot mai multe națiuni se concentrează asupra strategiilor energetice de susținere a dezvoltării prosperității. Pilele de combustie oferă posibilitatea ca strategiile naționale să se îndrepte spre o creștere tot mai mare a consumului;
- eficacitatea pilelor de combustie determină reduceri substanțiale ale emisiilor de gaze poluante și pune capăt supremației combustibililor pe bază de carbon.

g. flexibilitatea funcționării

- *putere locală (on-site)* - sistemele cu pile de combustie pot reduce tensiunea exercitată asupra centralelor actuale și reduce circulația de puteri pe liniile de transport a energiei și deci micșorează pierderile de energie din rețelele electrice.

- abilitatea pilelor de combustie de a putea fi folosite pentru furnizarea de putere electrică și căldură, sporește semnificativ eficiența centralei electrice, contribuind la reducerea efectului de seră. Eficacitatea potențială totală a acestor sisteme CHP (Combined Heat and Power), poate depăși 85%;
- folosirea tehnologiilor pentru aplicații de vârf, conduce de asemenea la eficiență;
- folosirea pilelor de combustie în scopuri casnice, în perioadele de vârf de consum energetic, poate determina importante economii în bugetul familiilor și reduce dependența de sistemele clasice de producere a energiei, bazate pe tehnologii puternic poluante și mai puțin eficiente;
- modularitatea pilelor de combustie, permite creșterea treptată a puterii instalate, acolo unde nu există un suport financiar pentru investiții masive de capital, ajungând în final la centrale electrice de mare putere, de ordinul sutelor de MW.

h. putere portabilă

- *generarea puterii* – aplicațiile care necesită o putere portabilă acoperă un domeniu foarte larg a segmentelor de piață, incluzând înlocuiri de baterii și mici generatoare. Pilele de combustie sunt o sursă excelentă de putere în caz de necesitate sau pentru folosință în scopuri recreative, acolo unde accesul la o rețea electrică nu este posibil. Produsele de generare a energiei în scop casnic, se vor afla în curând în faza de comercializare. Echipamentele portabile oferă un mare potențial de utilizare ca surse de rezervă pentru producerea energiei electrice.
- *alternativa înlocuirii bateriilor* – au fost dezvoltate sursele de energie electrică bazate pe pile de combustie, pentru alimentarea echipamentelor electronice portabile. În aceste aplicații, pilele de combustie trebuie să furnizeze o durată de viață mult mai mare decât cea a bateriilor și să aibă o greutate specifică la puterea furnizată, egală sau mai mică decât a bateriilor. Pilele de combustie nu necesită reîncărcare, ca și în cazul acumulatorilor. O capsulă de combustibil lichid sau o butelie de combustibil gazos, pot fi înlocuite rapid, în câteva secunde. Față de baterii, pilele de combustie prezintă avantaje din punctul de vedere a conservării mediului, deoarece unele tipuri de baterii necesită mijloace speciale, costisitoare pentru a fi distruse și reciclate. Pilele de combustie au o mai mare densitate de putere, "împachetând" puterea eficient într-un spațiu redus și tocmai această proprietate a făcut posibilă utilizarea lor în programele spațiale Gemini și Apollo. Provocările ingineresti și cele legate de materialele folosite la aplicarea micropilelor de combustie, sunt substanțiale și vor necesita soluții inovatoare pentru a le putea aduce la stadiul comercializării. Dacă aceste probleme vor fi rezolvate, atunci piața aplicațiilor micro și portabile, ar putea să se dezvolte foarte rapid. Aceasta este o uriașă piață potențială.
- *productivitatea* - pilele de combustie duc mai departe beneficiile legate de productivitate, într-o economie mobilă în creștere.
 - raportul "Piața pilelor de combustie portabile" elaborat de *Allied Business Intelligence*, arată că pilele de combustie portabile au fost dezvoltate pentru a răspunde „performanțelor slabe” ale bateriilor reîncărcabile, prin mărirea de 4 ori a timpului de funcționare;
 - dezvoltatorii așteaptă ca un telefon celular alimentat cu pilă de combustie, să aibă peste 200 ore timpul de convorbire (în prezent acest timp este maxim 3-5 ore). Reîncărcarea unui echipament electronic alimentat cu pilă de combustie poate fi foarte simplă, constând din inserarea unui cartuș mic cu metanol sau a unui micro-rezervor cu hidrogen.

4.4.2. Tendințe privind folosirea energiilor alternative

4.4.2.1. Rezervele de petrol, transportul și pilele de combustie

Nimeni nu poate prognoza ce se va întâmpla cu prețul petrolului și cererea globală de petrol. Americanii cheltuiesc aproximativ 100 000 \$/minut pentru a obține petrol din străinătate, iar sectorul de transport din S.U.A. folosește cca. 10% din producția mondială de petrol. Rezervele de combustibili fosili sunt încă mari, dar finite. Se înregistrează o creștere evidentă a extracției de țiței, considerându-se că producția mondială va atinge un vârf în următorii ani. Agenția de Informații Energetice (*Energy Information Agency*), prognozează că cererea mondială de petrol se va mări cu 60% începând cu anul 2020. Începând cu 2010, statele OPEC din Orientul Mijlociu (*Organization of Petroleum Exporting Countries*), considerate a fi nepredictibile și adesea instabile din punct de vedere politic, vor deține mai mult de 50% din afacerile mondiale cu petrol. Comutarea în perspectivă, de la creștere la declin în producția de petrol, ar putea cauza grave tensiuni de natură economică și politică. Pe măsură ce capacitatea de producere a petrolului se va reduce, prețul petrolului va crește, sectorul de transport fiind cel mai afectat de aceste fluctuații. În Fig. 4.22 se prezintă evoluția producției mondiale de petrol, începând din anul 1930 și până astăzi, precum și tendința până în anul 2050 (jos) și evoluția din S.U.A. în perioada 1950-2000 (sus în dreapta) [Ardelean2006f].

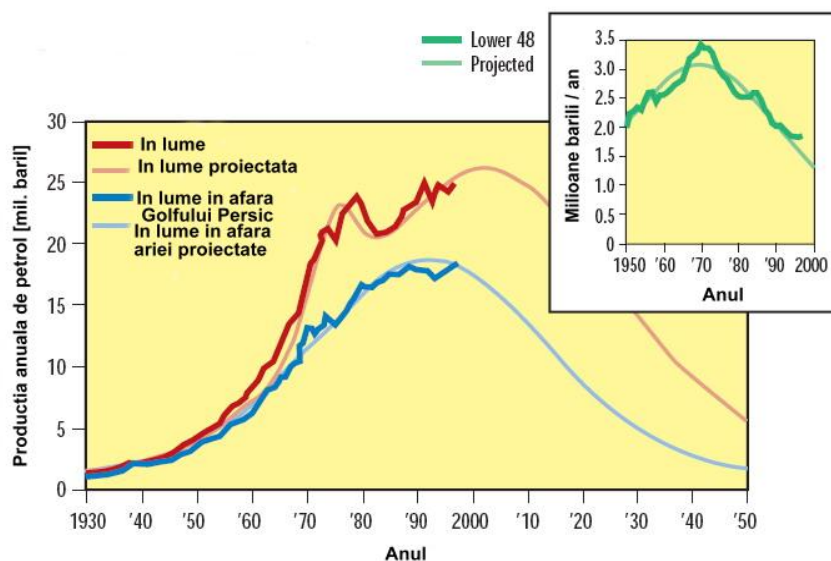


Fig. 4.22. Producția mondială de petrol (jos) și din S.U.A. (sus în dreapta).

Aproximativ 25% din gazele cu efect de seră generate de către om, provin din activitatea de transport, cu precizarea că mai mult de jumătate de la camioanele ușoare. Gazele cu efect de seră emise de autovehicule nu pot fi ușor sau ieftin reduse, folosind dispozitive de control suplimentare, cum ar fi un convertor cu catalizator. Spre deosebire de poluanții din aer, emisiile de gaze cu efect de seră nu sunt reglementate de către Agenția de Protecție a Mediului. Creșterea economiei de combustibili pe de o parte și trecerea la combustibili inferiori sau fără carbon, pe de alta, vor reduce în viitor emisiile de CO₂.

Introducerea pilelor de combustie în cadrul sectorului de transport va mări eficiența combustibilului, va reduce necesarul de import de petrol și va deveni o strategie / tehnologie importantă pentru a diminua schimbările climatice la nivel de Terra. Pe măsură ce vehiculele cu pile de combustie folosind combustibili pe gaz natural sau gazolină, emisiile de gaze cu efect de seră se vor reduce cu peste 50%. În viitor, prin combinarea utilizării pilelor de combustie cu performanțe ridicate și a combustibililor obținuți din surse regenerabile de energie, vor elimina aproape în totalitate emisiile de gaze cu efect de seră. Tranziția spre combustibilii ușori, va avea ca efect un aer mai curat și o politică a energiei mai puternică.

4.4.2.2. Gazele cu efect de seră, schimbările climatice și pilele de combustie

Există un consens la nivel mondial, referitor la faptul că mărirea nivelului emisiilor gazelor cu efect de seră, conduce la schimbarea climei. Gazele cu efect de seră naturale includ: CO₂, metan (CH₄) și ozon (O₃) și ele sunt necesare pentru a menține viața pe planetă. Cu excepția vaporilor de apă, CO₂ este cel mai abundent gaz prezent în atmosfera terestră. De la începutul revoluției industriale (1765), arderea combustibililor fosili și creșterea necesarului de energie, au sporit în permanență emisiile de gaze cu efect de seră în mediul înconjurător. CO₂ constituie o mică parte din atmosfera terestră (aproximativ o moleculă din 3000), dar este singurul reziduu de dimensiuni importante al societății moderne. Concentrația de CO₂ din atmosferă s-a mărit de la 280 ppm pe volum, la aproximativ 360 ppm pe volum, iar concentrația de metan s-a dublat (ppm = părți pe milion). În ultimii 100 de ani, nivelul de oxid de azot a crescut cu aproximativ 15 %. Creșterea concentrațiilor de gaze cu efect de seră, atrag mai multe radiații terestre în atmosfera joasă (troposfera), crescând artificial efectul gazelor cu efect de seră. Temperatura medie a Pământului a crescut cu aproape 1 °C de la mijlocul secolului 19, de când au început măsurătorile și înregistrările. În Fig. 4.23 se prezintă variația temperaturii medii a pământului în perioada 1860-2000. Pământul este mai cald decât a fost de-a lungul a 2000 de ani. Chiar și în cele mai optimiste scenarii, se așteaptă o creștere a concentrației de CO₂ la aproximativ 600 ppm pe volum, încă în timpul acestui secol, ceea ce reprezintă mai mult decât dublu față de acum 10.000 ani, adică de la sfârșitul ultimei ere glaciare. Bazat pe acest scenariu, *Intergovernmental Panel on Climate Change* a concluzionat că mărirea emisiilor gazelor cu efect de seră, poate determina o creștere a temperaturii medii, cu valori cuprinse între 1 °C și 3,5 °C, în secolul XXI.

Anul 1998, a fost cel mai călduros an. Nimeni nu se poate pronunța cu certitudine asupra efectelor la nivel global, produse de aceste creșteri de temperatură: schimbări în precipitații, anotimpuri extreme, creșteri ale nivelului mărilor, etc., toate acestea fiind posibile. Modelarea climei și concluziile științifice care au rezultat nu sunt unanim acceptate, deoarece codurile climatice au dificultăți în a simula astfel de evenimente. Realitatea este probabil departe de adevăr, dar se pare că permanent clima este determinată de o varietate de mecanisme de forțare, iar forțarea antropogenică trebuie încadrată în acest context. Ea include variațiile pe termen lung ale orbitei Pământului, variația Soarelui și ciclurile naturale ale climei. Cum toate aceste date sunt luate în considerare, rezultă faptul că prognozele bazate pe modelarea climei sunt aproape de adevăr și că Pământul se încălzește.

În timp ce legătura dintre climă și ecologie rămâne nesigură, deciziile luate pe parcursul următorilor 10 ani, ar putea afecta generațiile care urmează. Ținând cont de timpii morți dintre cauză și efect și dintre efect și remediu, suntem provocați să utilizăm noi tehnologii pentru a mări speranțele în privința viitorului. Guvernele lumii

au semnat o convenție referitoare la climă și negociază strategiile de implementare. Introducerea pilelor de combustie în sectorul de transport și cel al energiei, alături de creșterea eficienței energetice, reducerea utilizării petrolului la nivel mondial, tranziția spre combustibili regenerabili și sprijinul continuu al cercetării, tot acest ansamblu de acțiuni, constituie pași importanți și responsabili spre o dezvoltare durabilă în domeniul energiei.

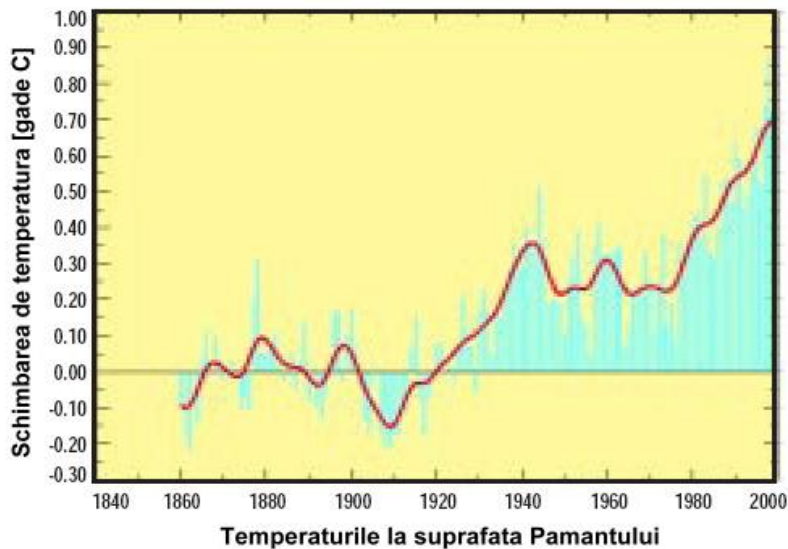


Fig. 4.23. Variația temperaturii medii a Pământului între 1860-2000

4.4.2.3. Efectul gazelor de seră

Toată energia care intră în atmosfera Pământului provine de la Soare. Radiația generată este parțial absorbită, parțial împrăștiată și parțial reflectată înapoi în spațiu, de către diferitele gaze din atmosferă, nori și aerosoli. Soarele emite radiații solare în principal în spectrul vizibil și în infraroșu. Cum aceste radiații se propagă spre Pământ, aproximativ 25% dintre ele sunt absorbite de către atmosferă și 25% sunt reflectate de nori înapoi în spațiu. Radiația care a rămas, se propagă spre Pământ și încălzește suprafața acestuia. Deoarece Pământul este mult mai rece decât Soarele, energia reflectată de suprafața Pământului are în mod evident o intensitate mult mai redusă decât cea emisă de Soare (în spectrul radiațiilor infraroșii, invizibile) – Fig. 4.3.

Aproximativ 90% din radiația din spectrul infraroșu reflectată de suprafața Pământului, este absorbită de gazele din atmosferă, cunoscute sub denumirea de gaze cu efect de seră. Aceste gaze, la fel ca și norii, reflectă din nou aceste radiații retrimițându-le spre Pământ. Atmosfera se comportă ca sticla într-o seră, permițând radiațiilor cu lungime de undă scurtă să treacă, dar să capteze unele din radiațiile infraroșii cu lungime de undă mare, care încearcă să evadeze. Acest proces determină creșterea temperaturii atmosferei, în aceeași manieră ca în cazul unei sere. Aceasta este efectul natural „de seră” al Pământului, care menține planeta noastră la aproximativ 60°F (cca. 15,5°C), mai caldă decât ar putea fi în alte condiții.

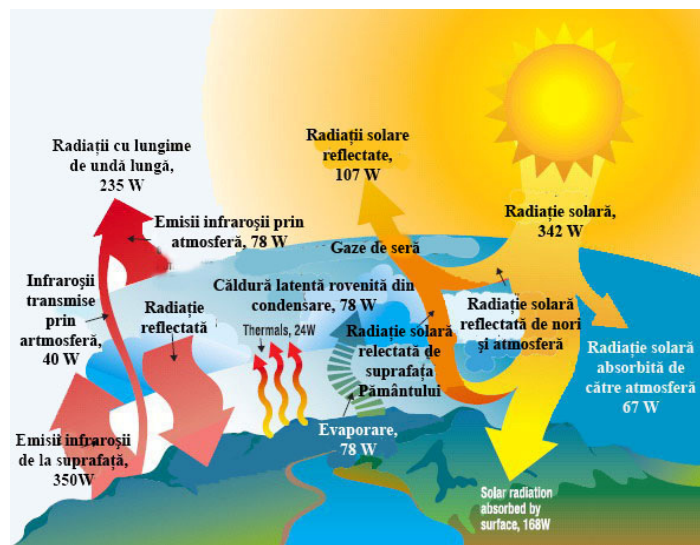


Fig. 4.24. Efectul gazelor de seră.

4.4.2.4. Protocolul de Kyoto

În 1995 în Japonia, la Kyoto, Guvernele au adoptat un acord important, *Protocolul de la Kyoto*. Prin acest tratat, țările industrializate s-au angajat să reducă sau să limiteze emisiile de gaze cu efect de seră și să atingă anumite ținte pentru anul 2012. Fiecare țară este ghidată și monitorizată în îndeplinirea obiectivului. Protocolul de la Kyoto vizează în primul rând țările industrializate pentru că, în marea majoritate, ele sunt responsabile de emisiile de gaze cu efect de seră din trecut, iar în prezent dețin experiența, tehnologiile și banii necesari ca să le poată reduce.

Protocolul de la Kyoto a intrat în vigoare la 16 Februarie 2005, odată cu ratificarea acestuia de către Rusia. În prezent 150 de guverne, dintre care 27 ale unor țări din Uniunea Europeană, l-au adoptat. Printre acestea se numără 36 de țări industrializate, care și-au fixat ca obiectiv să reducă emisiile de gaze cu efect de seră de la 5% la 8% până în anul 2012, comparativ cu emisiile din anul 1990. Numai Statele Unite (responsabilă pentru 20% din emisiile de gaze cu efect de seră la nivel mondial) și Australia, nu au participat la ratificarea Protocolului. Însă, câteva mișcări în lupta împotriva emisiilor de gaze cu efect de seră s-au realizat deja și în SUA. Un exemplu încurajator este California. California reprezintă cca. 12% din populația americană, însă consumă doar 7% din electricitatea produsă în SUA. Astfel

California se poziționează pe primul loc în rentabilitatea energetică pe cap de locuitor. Statul s-a angajat să limiteze emisiile de gaze cu efect de seră cu 11% până în anul 2010 și cu 87% până în anul 2050. Pe data de 13 august 2006, Guvernul Californiei a semnat un acord pentru a diminua emisiile de gaze cu efect de seră, conform protocolului de la Kyoto. Decizia AB32 (*Global Warning Solution Act*), a fost astfel concepută încât se va reduce la un sfert emisiile de gaze cu efect de seră până în anul 2020. Sunt prevăzute sancțiuni severe împotriva firmelor care nu respectă acest angajament. A fost creată o piață de *permise de emisii*, care este controlată de *Air Resources Board*. California este un exemplu dar nu singurul. La ora actuală alte două state din Vest (Washington și Oregon), îi urmează exemplul. La Boulder City este în construcție din 11 februarie 2006, centrala termo-solară *Nevada Solar*

One. La finalizare, va dezvolta o putere de 64 MW, fiind ca mărime, a treia centrală de acest tip din lume. Ea va contribui la eliminarea unui volum de poluare echivalent cu un milion de mașini care circulă pe teritoriul american.

Criticat pentru politica lui în materie de protecția mediului, George W. Bush și-a adaptat discursul pe 30 mai 2007, precizând că schimbarea climatică este și preocuparea americanilor. La Summit-ul G8, fără să ratifice Protocolul, George W. Bush a propus o acțiune post Kyoto, pentru a reduce gazele cu efect de seră până în anul 2050.

□ **Kyoto și Uniunea Europeană.**

Uniunea Europeană se situează pe primul loc în lupta împotriva schimbărilor climatice. Fiind o mare putere economică UE dorește să fie un exemplu demn de urmat. Atunci când s-a negociat Protocolul de la Kyoto, cele 15 țării care formau atunci UE, și-au luat un obiectiv ambițios: să reducă împreună emisiile gazelor cu efect de seră cu 8%. După aceea s-a hotărât cota de participare a fiecărui stat, ținând cont de situația lui economică și de structura industrială. Dacă majoritatea dintre state trebuiau să reducă emisiile lor, câteva dintre ele (Grecia, Portugalia) au putut să le crească până la o anumită limită. Altele (Franța), pot menține nivelele lor din anul 1990. Cele 12 țări nou intrate în UE și-au fixat obiective individuale (cu excepția Ciprului și Maltei). România este bine poziționată la acest capitol, limita ei fiind de 250000 t/an (la ora actuală nu depășește 150000 t/an). În martie 2000 UE a lansat Programul European asupra Schimbărilor Climatice (PECC). S-a definitivat împreună cu reprezentanții industriilor și ai organismelor de protecția mediului, un set de 42 de măsuri transpuse prin lege, menite să ajute statele membre să reducă emisiile de gaze cu efect de seră. Sistemul de schimb a cuantumului de emisii lansat de UE la 1 ianuarie 2005, este considerat ca o etapă foarte importantă în lupta împotriva schimbărilor climatice. UE a fixat cuantumul emisiilor anuale de CO₂, pentru un număr de 12000 de centrale electrice și uzine, care produc sau consumă multă energie. Împreună acestea sunt responsabile de aproximativ jumătate din totalul emisiilor de CO₂ din UE. Centralele și uzinele care vor emite mai puțin CO₂ decât sunt autorizate, pot vinde cuantumul nefolosit celor care depășesc cuantumul aprobat. Există astfel o motivație de a reduce emisiile de CO₂, iar stemul asigură prezența cumpărătorilor. Firmele care depășesc limitele aprobate și care nu acoperă diferența cumpărând drepturile de emisie, trebuie să plătească amenzi foarte mari. Sistemul de schimb a cuantumului de emisii permite respectarea cotelor stabilite prin PECC, asigură o reducere a emisiilor și pe ansamblu o diminuare a costurilor.

Alte măsuri vizează ameliorarea randamentelor vehiculelor și clădirilor (o izolație mai bună a acestora pot reduce costurile de încălzire cu până la 90%), precum și promovarea energiilor regenerabile. Toate cu scopul de a ține sub control emisiile gazelor cu efect de seră. În acest sens au fost perfecționate și dezvoltate numeroase tehnologii. Un exemplu îl constituie captarea carbonului emis prin arderea combustibililor fosili. Acest carbon poate fi depozitat în mine dezafectate. Această tehnologie de captare și de stocare contribuie la reducerea emisiilor de CO₂ în atmosferă. O altă tehnologie de viitor este pila de combustie cu hidrogen. Hidrogenul destinat alimentării pilei de combustie se va obține prin electroliza apei, folosind ca energie SRE.

Pe aceeași linie se înscriu și măsurile luate de marile întreprinderi. Firmele au un rol important în lupta împotriva schimbărilor climatice. Ele au înțeles că reducând gazele cu efect de seră, contribuie la protecția mediului, își cresc prestigiul și se poziționează mai bine în fața concurenților și își reduc costurile. Asociația Europeană a Constructorilor de Autovehicule japoneze și coreene, s-a angajat să reducă emisiile

medii ale autovehiculelor vândute în Europa, cu 20% față de anul 1995. Dezvoltarea tehnologiilor curate sprijină piețele și sunt creatoare de locuri de muncă. Datorită programelor UE de subvenții pentru energiile eoliene, firmele europene furnizează cca. 80% din piața mondială a echipamentelor din acest sector. În Germania energia eoliană asigură 40000 de locuri de muncă.

Schimbările climatice reprezintă cu certitudine o problemă la nivel mondial, dar fiecare dintre noi poate face ceva, prin măsuri individuale. Va trebui doar să schimbăm câteva obiceiuri. Calitatea vieții noastre nu va fi afectată, iar prin aplicarea lor vor rezulta niște economii. Iată ce putem face:

- *reciclarea* - o doză de bere reciclată, consumă de zece ori mai puțină energie decât cea necesară pentru fabricarea sa. Reciclând hârtia, se obține nu doar o mare economie de energie ci și de masă lemnoasă;
- *stingerea iluminatului artificial*, atunci când nu este necesar. Folosirea becurilor economice care sunt mai fiabile și consumă de 5 ori mai puțin decât becurile clasice (UE a hotărât eliminarea becurilor cu incandescență începând cu anul 2012);
- *renunțarea la poziția „în așteptare” („stand by”)* pentru aparatura electronică: televizor, calculator, radio, combină muzicală, încărcător pentru celular, etc.; această poziție nu reprezintă o deconectare totală de la rețea, ci doar una parțială în care se risipește energie. Un televizor în această poziție consumă cca. 40% din energia consumată când este în funcțiune. Un încărcător de celular risipește 95% din energie, doar 5% este folosită pentru reîncărcarea bateriilor;
- *achiziționarea de aparate electrice numai din clasa energetică „A”*, care garantează un consum optim de energie;
- *dacă veți construi casa voastră*, să preferați o construcție pasivă cu arhitectură bioclimatică. Aceste au un consum mai mic de 15 kwh/m²/an. Aceste case elimină nevoia de climatizare activă și ameliorează confortul vieții;
- *să plantăm cât mai mulți copaci* – cinci copaci absorb în timpul vieții lor o tonă de CO₂.

□ **Perspective de viitor**

Umanitatea este convinsă de importanța reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră. Acest lucru este pe deplin posibil, fără să afectăm nivelul de trai și nici calitatea vieții. Trebuie doar modificate comportamentele și obiceiurile noastre ca să consumăm mai puțină energie.

Creșterea temperaturii medii a Pământului n-ar trebuie să depășească 2°C, ca să nu genereze perturbații ireversibile. Ca să nu fie depășit acest prag, vor trebui demarate acțiuni de anvergură după 2012, dată la care obiectivele Protocolului de la Kyoto vor trebui să fie atinse. Probabil că țările industrializate vor trebui să diminueze emisiile lor de gaze cu efect de seră, de 13% la 30% până în 2020 și de la 60% la 80% până 2050 (față de nivelele din anul 1990). Dezvoltarea tehnologiilor curate va contribui desigur la reducerea emisiilor. La acest efort vor trebui să participe și alte țări precum China și India, care au ajuns deja la un prag important de dezvoltare și implicit de poluare. China este deja responsabilă de 15% din emisiile globale și ar putea să devină, chiar în anul acesta, primul poluator din lume. Emisiile de dioxid de carbon ale Chinei vor crește de la 5,6 miliarde tone la 6,02 miliarde în acest an.

Schimbările climatice nu vor înceta imediat, dar cu cât mai repede le vom lua în considerație și vom reacționa, cu atât vom putea stăpâni mai bine viitorul nostru, păstrând cât mai intacte frumusețea și biodiversitatea planetei noastre, pe care să le transmitem așa urmașilor noștri.

4.4.2.5. Emisii ale pilelor de combustie

Sistemele cu pile de combustie produc emisii de substanțe poluante în cantități mici, deoarece procesul de generare a energie electrice nu implică arderea combustibilului. De fapt, doar subsistemul de procesare a combustibilului necesar pilelor de combustie, este singurul responsabil pentru producerea emisiilor. La procesarea combustibilului, o mică parte din hidrogen (cca. 8 până la 15%) este consumat într-o ardere catalitică pentru a asigura căldura necesară procesului de reformare. Temperatura acestei combustii lente poate ajunge la 980°C, temperatură care previne formarea oxizilor de azot (NO_x), dar care este suficient de mare pentru a asigura oxidarea monoxidului de carbon (CO) și compușilor organici volatili (VOC – nearși, hidrocarburi non-metan). De obicei este folosit și un pat absorbant care absoarbe și elimină alți poluanți cum ar fi oxizii de sulf (SO_x).

A. Oxizii de azot (NO_x)

Trei mecanisme formează NO_x : NO_x termic, NO_x instantaneu și NO_x legat de combustibil. NO_x termic înseamnă combinarea oxigenului și azotului atmosferice, proces care apare la temperaturi înalte de ardere. Temperatura flăcării și timpul de ardere sunt principalele variabile care afectează nivelul de NO_x termic. Rata de formare a NO_x termic crește rapid cu creșterea temperaturii flăcării. Reacțiile inițiale a modulelor de azot în aerul de combustie și radicalii de hidrocarbură din combustibil, formează NO_x instantaneu. El se formează în flacără și este de ordinul 1 ppm la 15% O_2 . De obicei, NO_x instantaneu este mult mai redus în cantitate decât NO_x termic. NO_x legat de combustibil, se formează atunci când combustibilul conține azot în structura hidrocarburi. Gazul natural are cantități neglijabile de NO_x legat de combustibil. NO_x legat de combustibil poate avea un nivel semnificativ la combustibilii lichizi.

B. Monoxidul de carbon (CO)

CO și VOC ambele rezultă din arderea incompletă a combustibilului. Emisiile de CO rezultă atunci când este insuficient oxigen sau când timpul de ardere la temperatură înaltă este prea scurt. Răcirea pereților camerei de combustie și răcirea reacției de ardere în procesul de evacuare, contribuie de asemenea la ardere incompletă și creșterea emisiilor de CO.

C. Hidrocarburi nearse

Hidrocarburi volatile, denumite de asemenea compuși organici volatili (VOC), se pot întâlni într-o gamă largă de compuși, unii dintre ei fiind poluanți. Atunci când o parte a combustibilului rămâne nears sau este ars parțial, acești compuși sunt eliminați în atmosferă. Unele componente organice sunt constituenți care nu au luat parte la reacția de ardere iar altele sunt produse de piroliză a hidrocarburilor grele din combustibil. Emisiile de hidrocarburi volatile din motoarele cu ardere internă sunt în mod normal raportate ca hidrocarburi non-metan (NMHC). Metanul este un gaz care provoacă efectul de seră și emisiile din acest gaz vor fi reglementate în viitor.

D. Dioxidul de carbon (CO_2)

Deși nu este considerat ca și poluant în sensul afectării sănătății omului, emisiile de CO_2 sunt îngrijorătoare deoarece ele contribuie la fenomenul de încălzire globală. Încălzirea globală apare atunci când radiația solară atinge suprafața terestră iar radiația infraroșie (termică) a suprafeței este absorbită de dioxidul de carbon (și alte gaze poliatomice cum ar fi metanul, hidrocarburi nearse, gaze frigorifice și chimicale volatile) aflat în atmosferă, având ca rezultat creșterea temperaturii atmosferei. Cantitatea

de CO₂ emisă de sistemele cu pile de combustie este în funcție conținutul de carbon al combustibilului și de eficiența sistemului. Conținutul de carbon al gazului natural este de 61 kg/Gcal, al țițeiului de 86 kg/Gcal iar al cărbunelui de 119 kg/Gcal.

E. Caracteristicile emisiilor pilelor de combustie

În Tabelul 4.2 se ilustrează caracteristicile emisiilor sistemelor cu pile de combustie, estimate fără dispozitive de control adiționale. Sistemele cu pile de combustie nu necesită dispozitive de control al emisiilor pentru a îndeplini reglementările prezente sau previzibile, în domeniu. Cele șase sisteme semnifică cele mai reprezentative și disponibile din punct de vedere comercial, pile de combustie și care consumă gaz natural, înglobate în sistem CHP, pentru o gamă de puteri cuprinsă între 10 kW și 2 MW.

Tabelul 4.2. Caracteristicile emisiilor pilelor de combustie

Analiza emisiilor	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4	Sistem 5	Sistem 6
Capacitate electrică [kW]	200	10	200	250	2000	100
Eficiență electrică (HHV)	36%	30%	35%	43%	46%	45%
Tip pilă de combustie	PAFC	PEM	PEM	MCFC	MCFC	SOFC
Emisii						
NO _x (ppmv @ 15% O ₂)	1,0	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0
NO _x (lb/MWh)	0,03	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05
CO (ppmv @ 15% O ₂)	2,0	2,8	2,8	2,0	2,0	2,0
CO (lb/MWh)	0,05	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04
VOC (ppmv @ 15% O ₂)	0,7	0,04	0,04	0,05	1,0	1,0
VOC (lb/MWh)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CO ₂ (lb/MWh)	1,135	1,360	1,170	950	890	910
Carbon (lb/MWh)	310	370	315	260	240	245

1 lb = 0.4536 kg

4.4.2.6. Știința schimbărilor climatice

Factorul de reglare pentru schimbarea globală a climei, depinde de un principiu fundamental, primul principiu al termodinamicii, cunoscut și sub numele de legea conservării energiei:

$$dQ = dU - dL \quad (4.20)$$

unde: dQ = căldura primită de sistem;

dU = variația energiei interne a sistemului

dL = lucrul mecanic efectuat.

Energia nu poate fi câștigată sau pierdută într-un sistem stabil; își poate doar schimba forma. Un astfel de sistem se spune că urmărește un „model cu balanță de energie”. Pentru a menține stabilitatea, sistemul *Pământ - Ocean - Atmosferă*, absoarbe energie de la Soare, o radiază sub formă de energie în infraroșu (căldură) și o transportă sub formă de fluxuri de căldură latentă și căldură sensibilă. Mai multe evenimente naturale (erupții vulcanice, incendii de pădure, variația intensității radiației solare, variația gradului de acoperire a cerului cu nori ș.a.) și activități ale omului (consumul de combustibili, producerea de aerosoli, emisiile de gaze cu efect de seră etc.), pot afecta balanța dintre radiațiile emise și absorbite.

O dezvoltare *sustenabilă (durabilă)* este una dintre afirmațiile foarte adesea utilizate, dar rar definite. Se referă la îndeplinirea cerințelor prezentului, fără a compromite șansa generațiilor viitoare de a-și îndeplini propriile nevoi. Atingerea unei dezvoltări durabile nu semnifică faptul că trebuie oprită creșterea; semnifică doar faptul că limitele

mediului există, datorită posibilității limitate a biosferei de „a se descurca” cu deșeurile provenite din activitățile oamenilor. Aceasta este una dintre cele mai mari provocări cu care ne confruntăm astăzi, o provocare care poate fi rezolvată printr-o dezvoltare responsabilă și folosind tehnologii care să protejeze mediul înconjurător. Inovațiile din ziua de astăzi din tehnologiile pilelor de combustie, se adresează nevoilor de mediu locale, naționale și globale. Deciziile care se vor lua pentru a implementa aceste inovații în viața de zi cu zi, vor reprezenta o strategie deosebit de importantă, în contextul dezvoltării durabile. Aproximativ jumătate din amenințările asupra climei vor dispărea, dacă vom economisi energia în maniera în care economisim banii. În general, este de departe mult mai ieftin să fim eficienți și să economisim combustibilii, decât să-i ardem. Pilele de combustie constituie o mare oportunitate spre inovare, o provocare prea incitantă pentru a fi ocolită [Badrul2000], [Bruce2001], [Peltier2006].

4.5. Concluzii

O sinteză a principalelor concluzii desprinse din aspectele prezentate în cadrul acestui capitol se prezintă astfel:

1. Principalele beneficii ale pilelor de combustie, care fac atractivă folosirea lor ca sursă independentă de energie electrică în diverse domenii, sunt următoarele:
 - randament foarte bun;
 - siguranță mare de funcționare;
 - calitate bună a energiei livrate;
 - funcționare liniștită cu un nivel de zgomot redus;
 - ușurință în exploatare (alimentare simplă, poate fi supravegheată și controlată de la distanță-calitate remarcabilă pentru introducerea pilelor de combustie în stațiile electrice telecomandate și teleconduse);
 - ușurință în întreținere, neavând piese în mișcare;
 - pilele de combustie sunt compacte și robuste;
 - pot fi amplasate în stații îndepărtate de sursele de alimentare alternativă (linii, centrele electrice locale, etc.);
 - flexibilitate față de combustibilul folosit;
 - reduce dependența de hidrocarburi;
 - reduce la zero emisiile de gaze poluante;
 - preț de cost rezonabil.
2. Tehnologia pilelor de combustie se găsește în faza de penetrare a pieței, de trecere de la aplicațiile speciale (astronautică, domeniul militar) spre cele „civile”, dar și pentru alimentarea unor consumatori pretențioși în privința continuității, cum sunt SP; ca urmare, în viitorul apropiat se vor manifesta puternice tendințe de ameliorare a tehnologiilor și de micșorare a prețului de cost.
3. Utilizarea pilelor de combustie este benefică și din considerente de protecție a mediului ambiant; aderarea la Protocolul de la Kyoto și existența normativelor Uniunii Europene — *Cartea Verde: O strategie europeană pentru energie durabilă, competitivă și sigură* — în acest domeniu, vor determina o schimbare majoră a mentalității utilizării tehnologiilor clasice de conversie a energiei, în sensul înlocuirii lor cu surse de energie regenerabilă.
4. Utilizarea pilelor de combustie ca sursă de energie pentru alimentarea SP din stațiile electrice, în contextul mai sus conturat, reprezintă o soluție de viitor, atractivă, oportună și fezabilă.
5. Uniunea Europeană acordă sprijin financiar nerambursabil pentru finanțarea proiectelor ce vizează înlocuirea soluțiilor clasice cu soluții alternative de energie;

acesta este un argument foarte important pentru a promova o aplicație pilot, de alimentare a SP utilizând pile de combustie, într-o stație electrică aflată în gestiunea Sucursalei de Transport Timișoara, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.

Principalele contribuții personale din cadrul acestui capitol, sunt următoarele:

1. Realizarea unei sinteze bibliografice într-o viziune proprie, graduală, asupra tuturor aspectelor legate de tipurile de pile de combustie și de tehnologiile aferente lor, în vederea utilizării lor în cadrul unor aplicații concrete vizând stațiile electrice din cadrul rețelei de transport al energiei electrice.
2. Clasificarea într-o manieră proprie, multicriterială, a tipurilor de pile de combustie existente la ora actuală pe plan mondial.
3. Stabilirea locului care revine pilelor de combustie în contextul actual al surselor alternative de energie electrică.
4. Identificarea beneficiilor pilelor de combustie, care le fac atractive în folosirea lor ca surse independente de energie electrică.
5. Reliefa contribuției pe care o pot aduce pilele de combustie la limitarea gazelor cu efect de seră și la diminuarea schimbărilor climatice (în ton cu prevederile Protocolului de la Kyoto).
6. Identificarea contribuției pe care o pot aduce pilele de combustie în dezvoltarea durabilă în domeniul energiei.

5. MODELAREA ȘI ANALIZA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE A PILELOR DE COMBUSTIE

5.1. Modelarea pilelor de combustie pentru regimuri staționare de funcționare

5.1.1. Aspecte generale ale modelării și identificării sistemelor

Sistemul este un ansamblu de elemente interconectate, capabil să se individualizeze prin realizarea unor funcții specifice

Structura reprezintă modul de organizare a elementelor de sistem. Sistemele pot fi:

- *materiale (reale)* – porțiuni din Univers care prezintă interes pentru cercetător. Ele se delimitează de restul Universului, numit și mediu înconjurător, prin frontieră;
- *conceptuale* – reprezintă, în raport cu o serie de ipoteze acceptate, aspectele considerate esențiale ale unui sistem real, furnizate sub o formă utilizabilă. În literatura de specialitate, mai ales în automatică, în locul noțiunii de sistem se folosește foarte des termenul de *proces*, cu o conotație generalizatoare și abstractizantă, în sensul că procesul reprezintă un sistem în contextul evoluției sale dinamice.

Modelul este o reprezentare, de complexitate mai mare sau mai mică, a unui sistem real, realizată în scop cognitiv. Modelele au o deosebită importanță practică în faza de studiu a sistemului considerat, în faza de proiectare dar și în exploatare prin faptul că orice model folosește la înțelegerea legităților care guvernează sistemul modelat și prin posibilitatea de a simula cu costuri relativ mici regimurile de funcționare ale sistemului modelat. Modelele pot fi:

- *descriptive* sau *semantice*, care constau dintr-o reprezentare a sistemului real fie cu ajutorul imaginilor (figuri, desene, fotografii), fie în vorbirea curentă;
- *matematice*, care cuprind sisteme de ecuații (algebrice, diferențiale), inecuații, funcții, mulțimi, scheme bloc etc., capabile să descrie comportarea sistemului real cu o anumită acuratețe, depinzând de ipotezele adoptate în studiu și conformă cu scopul urmărit;
- *fizice*:
 - *la scară redusă*, când au aceeași natură fizică ca și sistemul real;
 - *analogice*, când natura fizică a modelului diferă față de cea a sistemului real, însă relațiile între mărimile modelului analogic sunt similare cu cele existente între mărimile corespunzătoare ale sistemului real modelat.

Modelele descriptive sunt cele mai apropiate de sistemul de gândire uman, fiind ușor receptate și conținând un mare volum de informație implicită, foarte utile atunci când se apreciază calitativ rezultatele date de modelele matematice aferente. Sub aspect de reprezentare cantitativă nu pot oferi rezultate satisfăcătoare, ci doar cel mult ordine de mărime pentru valorile variabilelor.

Modelele fizice sunt costisitoare, uneori foarte greu de realizat, însă au avantajul de a păstra investigația în limitele realității.

Pentru nespecialiști, modelele matematice sunt greu de înțeles, sunt complet separate de realitate, necesitând din acest motiv o validare atentă și o bogată experiență de utilizare. Ele însă oferă, în limita ipotezelor de lucru adoptate, rezultate cantitative în bună concordanță cu realitatea. Odată cu creșterea performanțelor calculatoarelor

moderne, folosirea modelelor matematice a devenit extrem de răspândită datorită avantajelor lor: economicitate, flexibilitate, precizie, posibilități grafice adecvate pentru obținerea unei realități virtuale sugestive, comodă de investigat.

În cele ce urmează, vor fi utilizate în exclusivitate modele matematice, numite pe scurt modele, adecvate pentru analiza regimurilor de funcționare a pilelor de combustie.

Modelarea este activitatea prin care se caută găsirea unui model adecvat pentru un anumit sistem real, abordat în studiu. În Anexa 5 sunt prezentate o serie de elemente teoretice, cu caracter general, legate de modelare: construirea și utilizarea modelelor, clasificarea modelelor matematice, descrierile standard pentru diverse modele matematice deterministe, etapele modelării și identificării unui sistem etc. Utilizarea aspectelor teoretice menționate se regăsește în paragrafele și subcapitolele următoare, aplicația concretă referindu-se la regimurile de funcționare a pilelor de combustie.

5.1.2. Evaluarea modelelor pentru pilele de combustie

În cadrul acestui subcapitol se vor prezenta criteriile de selectare a modelului pilei de combustie, o succintă trecere în revistă a modelelor pilelor de combustie și, în final, alegerea modelului concret utilizat în lucrare [Haraldson].

5.1.2.1. Criterii de selectare a modelului pilei de combustie

Modelele joacă un important rol în dezvoltarea pilelor de combustie pentru că ele facilitează o mai bună înțelegere a felului în care parametrii influențează performanțele acestora ca și a sistemelor cu pile de combustie. Înainte de a selecta un model a unei pile de combustie, este important să se clarifice care sunt caracteristicile importante pe care modelul trebuie să la aibă. Deși sunt vitale pentru rezultat, aceste criterii tind să fie neglijate. Pentru început este util să se stabilească clar obiectivele simulării, astfel ca problemele legate de resursele organizaționale, respectiv costuri, personal și timp, să poată fi luate în considerare.

De asemenea, pentru a se face cea mai bună alegere a modelului pilei de combustie, sunt necesare a fi clarificate așa numitele "constrângeri tehnice", cum ar fi problemele urmărite prin simulare și nivelul cerut al detaliilor, nivelul de cunoaștere al utilizatorului și informația disponibilă. Dacă obiectivul simulării este de a furniza un mijloc de educație sau de studii detaliate, dezvoltarea și validarea unui model propriu de pilă de combustie este o cale folositoare pentru a câștiga cunoștințe.

Adeseori, procesul de dezvoltare a unui model de pilă de combustie, tinde să fie costisitor și consumator de timp. Pentru proiectele mici sau aplicații ingineresti, o soluție convenabilă poate fi utilizarea unui software comercial validat. Software-ul comercial este definit ca software-ul sau modulul unui software deja existent, disponibil în mod liber sau prin cumpărare.

În continuare, termenul de *model* se referă atât la modelele existente în literatura de specialitate, cât și la modelele software. Un astfel de software poate include modele gata de folosit pentru pilele de combustie, cu proprietatea de a fi modificate de către utilizator, sau o bibliotecă cu componente ale diferitelor pile de combustie sau sisteme, pentru construirea unui model adaptat clientului. Cu toate acestea, aspectul legat de economia de timp al software-ului comercial poate să nu fie reală, pentru că o evaluare a kit-ului demonstrativ a software-ului poate fi mare consumatoare de timp, în funcție de complexitatea programelor. O altă deficiență este aceea că, deși în mod obișnuit software-ul este însoțit de un ghid al dezvoltatorului sau al vânzătorului programelor, totuși timpul necesar pentru antrenamentul specific pentru lucrul cu programul respectiv, precum și realizarea modificărilor dorite ale modelului, sunt consumatoare de timp.

Alegerea optimă a modelului diferă pentru fiecare aplicație și fiecare utilizator, iar deciziile inițiale sunt foarte importante, pentru a evita modificările ulterioare ale costurilor, în procesul de evaluare a modelului. Odată ce criteriile inițiale au fost clar stabilite, pasul următor îl reprezintă stabilirea detaliilor, respectiv conținutul și structura modelului.

Elementele esențiale pentru evaluarea modelului sunt următoarele:

- calea de abordare a modelului (teoretic, semi-empiric);
- tipul modelului (de stare, de evoluție – tranzitoriu);
- frontiera sistemului (pila de combustie, bateria, sistemul);
- dimensiunea spațială (0 la 3 dimensiuni);
- complexitatea/detalierea (electrochimic, termodinamic, dinamica fluidelor);
- pasul de timp (fix, variabil, timp real);
- viteza;
- precizia;
- flexibilitatea;
- codul sursă (deschis, cu proprietar);
- reprezentarea grafică a modelului;
- biblioteca de modele, componente și proprietăți termodinamice;
- documentația;
- validarea.

Primul criteriu este calea de abordare a modelului. El poate fi asociat, printre altele, la frontiera sistemului. Frontiera sistemului definește zona de interes a modelului. Ea poate fi la nivelul fundamental al celulei pilei de combustie, incluzând electrozii și membrana, la nivelul superior cu celulele individuale asamblate într-o baterie, sau la cel mai înalt nivel al pilei de combustie, constând dintr-o baterie și serviciile ei auxiliare formate din compresor, pompe și așa mai departe.

Un model teoretic al pilei de combustie, denumit "mecanicist", este bazat pe legile electrochimice, termodinamice și uneori ale dinamicii fluidelor, folosind ecuațiile fenomenologice de bază, cum ar fi ecuația Nernst-Planck pentru transportul speciilor, ecuația Stefan-Maxwell pentru transportul fazelor gazoase și ecuația Butler-Volmer pentru tensiunea pilei. Depinzând de focalizarea lor, modelul poate furniza detalii ca imaginea curgerii, distribuția densității de curent, căderile de tensiune și presiune în bateria pilei de combustie. Dacă se dorește un mijloc de educație sau studii detaliate, se recomandă un model teoretic de pilă de combustie cu flexibilitate pentru condițiile ei de aplicare și funcționare. Consecințele obișnuite ale unui astfel de model sunt acelea că dezvoltarea modelului necesită timp și validarea detaliilor bateriei de pile de combustie poate fi dificilă de realizat. Pe de altă parte, există modele semi-empirice ale pilelor de combustie care se bazează pe date experimentale specifice fiecărei aplicații și condiții de funcționare. Cum cele tipice nu furnizează tot așa de multe detalii ca modelele teoretice, cel puțin ele sunt validate și pot constitui o rapidă pornire în modelarea pilelor de combustie și o bună bază pentru aplicațiile ingineresti. Pentru că modelul semi-empiric este adaptat unei anumite aplicații, el trebuie modificat pentru o nouă aplicație sau noi condiții de funcționare. Nu există o delimitare clară a folosirii modelelor teoretice și cele semi-empirice ale pilelor de combustie. În prezent, un model al unui sistem de pilă de combustie, poate utiliza un model teoretic pentru pila de combustie și diagrame empirice ale compresoarelor sau a altor echipamente ale sistemului considerat.

Starea modelului, fie cea staționară sau tranzitorie (sau cazul special al stării cvasistatice), poate fi raportată la frontierele sistemului. De exemplu, scopul modelului poate fi celula sau nivelul sistemului și obiectivele simulării pot fi aplicații staționare sau de transport ale pilelor de combustie. Modelele statice, folosind un singur punct

de funcționare la fiecare pas, sunt utile pentru dimensionarea componentelor sistemului (de exemplu, suprafața de schimb de căldură), calculul cantităților de materiale, cum ar fi catalizatorii și pentru studiile parametrice. Tipic, pilele de combustie în laborator funcționează în stări staționare. Cu toate că pilele de combustie răspund imediat la variațiile de sarcină, atunci când sunt integrate în sisteme mari (compuse din compresor, umidificator și altele), celelalte componente ale sistemului se vor aduna la timpul de răspuns. Aceasta este în mod special adevărat dacă un reformator este inclus în sistem. La folosirea într-un vehicul, modelul ar trebui să fie dinamic într-o anumită măsură pentru a considera regimurile tranzitorii ale unui sistem de transport cu pile de combustie. De exemplu, randamentul unui sistem cu pilă de combustie calculat în starea staționară furnizează doar o parte a imaginii funcționării sale. Modelele tranzitorii pot fi folosite pentru procedurile de pornire și oprire, analiza influențelor diferitelor componente ale curgerilor pe durata unui ciclu motor și optimizarea timpului de răspuns la variațiile sarcinii [Amphlett2006c].

Dimensiunile spațiale și complexitatea /detalierea, sunt de asemenea criterii importante. Descrierea unei pile de combustie, cu considerarea fenomenelor de tipul limitării transportului masei, pretind cel puțin o dimensiune. Din perspectiva sistemului pilei de combustie, modelele cu dimensiune 0 folosind curbele de polarizare, pot fi suficiente pentru un sistem care nu este proiectat să funcționeze în apropierea zonei curentului limită. Ele pot fi de asemenea potrivite pentru optimizarea inițială a sistemelor. Pentru tratarea adecvată a gestionării apei și evacuării căldurii, modelul ar trebuie să conțină nu numai relații electrochimice dar și ecuații termodinamice și ale dinamicii fluidelor. Ecuațiile transferului de căldură și bilanțurile masei și energiei sunt importante pentru a furniza o imagine adecvată a tuturor proceselor din pila de combustie și sistemele de pilă de combustie.

Alte criterii legate de software includ pasul de timp, adică abilitatea de a folosi pași de timp ficși, variabili, și/sau în timp real, viteza, precizia, flexibilitatea și codul sursă. Reprezentarea grafică a modelului, biblioteca de proprietăți termodinamice și cu componente ale sistemului, documentația modelului sunt caracteristici ale modelului finalizat. Folosind pentru pila de combustie software cu bibliotecă de proprietăți termodinamice sau software pentru sistem de pilă de combustie cu posibilități de alegere a blocurilor pentru diferite componente ale sistemului, se poate furniza un test pentru modelul propriu al pilei de combustie. În ceea ce privește codul sursă, specificațiile intrărilor modelului pot fi complexe, sau codul inflexibil, făcându-l dificil de folosit sau de transformat pentru alte aplicații. Utilizatorul trebuie să cunoască în detaliu algoritmi și/sau simplificările modelului, pentru a fi capabil să înțeleagă în totalitate și să utilizeze modelul. În mod ideal, modelul ar trebuie să aibă un cod "open-source" (sursa codului disponibilă și utilizatorul să aibă dreptul de a o modifica după cum dorește), fără subsisteme ascunse (mascate). Cu toate că adeseori această informație este brevetată, o cale realistă de a cunoaște modelul este folosirea unui manual bine scris și a unui tutorial cu suport practic, obținute de la dezvoltatorul software-ului respectiv.

În final, validarea modelului este importantă pentru că modelul trebuie validat într-o anumită măsură pentru a fi o unealtă utilă și credibilă. Pentru validare sunt necesare date adecvate. Cu resurse limitate, acest lucru poate fi dificil fiindcă cele mai multe date nu pot fi găsite în literatura de specialitate accesibilă. Chiar dacă datele întregului sistem al pilei de combustie sunt brevetate, datele pentru componentele sistemului cu o singură pilă de combustie, cum ar fi bateria pilelor de combustie și compresorul, sunt ușor de achiziționat. În consecință, o cale de a gestiona datele lipsă este de a dezvolta modele de subsisteme mai limitate și bine definite, care să fie validate separat sau în grup și apoi ele să fie asamblate pentru implementarea unui model mare al unui sistem de pilă de combustie.

5.1.2.2. Principalele modele ale sistemelor pilelor de combustie

Pe durata ultimilor 10 ani, în literatura tehnică de specialitate au fost descrise mai multe modele de pile de combustie PEM, de la modelele simple cu dimensiune 0, la modelele complexe tridimensionale [Amphlett1995a], [Amphlett1995b]. Multe universități, laboratoare naționale și companii, și-au dezvoltat propriile modele de pile de combustie, toate cu diferite căi și nivele de detaliu a abordărilor [Journal of Electrochemical Society-ECS Digital Library, Journal of Power Sources-Elsevier, Journal of Hydrogen Energy-Elsevier]. Multe modele sunt bazate pe teorie, detaliate și complexe, încercând să ia în considerare fenomenele din pila de combustie. Modele se concentrează în mod normal numai pe un aspect și pe o zonă a pilei de combustie. Aceasta este nesatisfăcător pentru utilizator care dorește să achiziționeze un model de pilă de combustie mult mai cuprinzător, care să-i lase posibilitatea de a asambla și lega mai multe modele într-un model mai mare. Unele modele sunt semi-empirice, au căutat să furnizeze o relație generală tensiune-curent. Totuși aceste relații tind să fie specifice unei anumite baterii de pile de combustie, fără vreo justificare fizică reală. Coeficienții din ecuația tensiune-curent trebuie revizuiți pentru fiecare configurație nouă de pile combustie. Acest aspect, limitează aceste tipuri de modele, la rolul de unealtă predictivă. Modelele sistemelor de pilă de combustie, folosesc în mod uzual căi simplificate pentru descrierea aspectelor electrochimice, cum ar fi cinetica electrozilor și limitările transportului de masă din pila de combustie. Aceste modele sunt în general semi-empirice, cu relații suplimentare de termodinamică și dinamica fluidelor, pentru sistemele auxiliare. Tabelul 5.1 furnizează un exemplu al caracteristicilor câtorva modele din literatură, analizate de [Wöhr1998].

Tabelul 5.1. Particularitățile unor modele ale sistemelor pilelor de combustie

Modelele	Starea	Frontiera sistemului	Fenomen studiat
Modele teoretice			
[Springer1991]	SS	Pila de combustie	Transportul apei
[Bernardi1992]	SS	Stratul de catalizator	Polarizarea celulei, transportul apei și utilizarea catalizatorului
[Fuller1993]	SS	Pila de combustie	Gestionarea căldurii și apei și folosirea combustibilului
[Nguyen1993]	SS	Canalele de gaz	Gestionarea căldurii și apei
[Yi1998]	SS	Pila de combustie	Gestionarea căldurii și apei, transportul speciilor
[Dannenberg2000]	SS	De-a lungul canalului	Gestionarea căldurii și apei
[You2002]	SS	Stratul de catalizator catodic	Transportul și curgere în canalele de gaz și difuzoarele de gaz
[Boettner2002]	SS	Sistemul pilei de combustie	Sistemul și performanțele componentelor sistemului și strategiile de control
Modele semi-empirice			
[Kim1995]	SS		Ecuația empirică de polarizare a celulei
[Amphlett1996]	TR	Bateria pilelor de combustie	Gestionarea căldurii
[Mann2000]	SS	Pila de combustie	Model generic

SS = stare staționară, TR = tranzitorie

□ Instrumente software comerciale pentru pilele de combustie

Crearea din nou și validarea modelelor existente în literatură este consumatoare de timp, ceea ce face ca opțiunea modelelor gata de folosit să fie atractivă doar când timpul este limitat. Există disponibile câteva modele de pilă de combustie comerciale

și modulele software adiționale, de exemplu Emmeskay, ADVISOR™ 2002 de la National Renewable Energy Laboratory (NREL), GCTool (General Computational Toolkit) de la Argonne National Laboratory (ANL), modulele pilei de combustie din Easy 5 de la Ricardo și FEMLAB de la COMSOL[Wipke1999], Markel2002]. Au fost dezvoltate mai multe modele comerciale, în special modele multidimensionale. Spre exemplu Ansoft Corporation și Synopsys (fost Avant), vor face disponibile în viitorul apropiat modelele sistemelor de pilă de combustie de tip PEM. Fluent & CD Adapco Group vor lansa în curând pachetele de programe CFD pentru pila de combustie PEM.

În Fig. 5.1 se prezintă o selecție de modele de pile de combustie existente în literatura de specialitate și disponibile în comerț. Figura oferă o imagine sistematică a modelelor considerate de pile de combustie. Dacă se dorește un model mai detaliat și complex de pilă de combustie, atunci utilizatorul ar trebui să privească jumătatea superioară a figurii. Dacă utilizatorul caută un model de sistem de pilă de combustie, atunci acesta trebuie căutat în caseta definită de axele inscripționate "0-D" și "Semi-empiric".

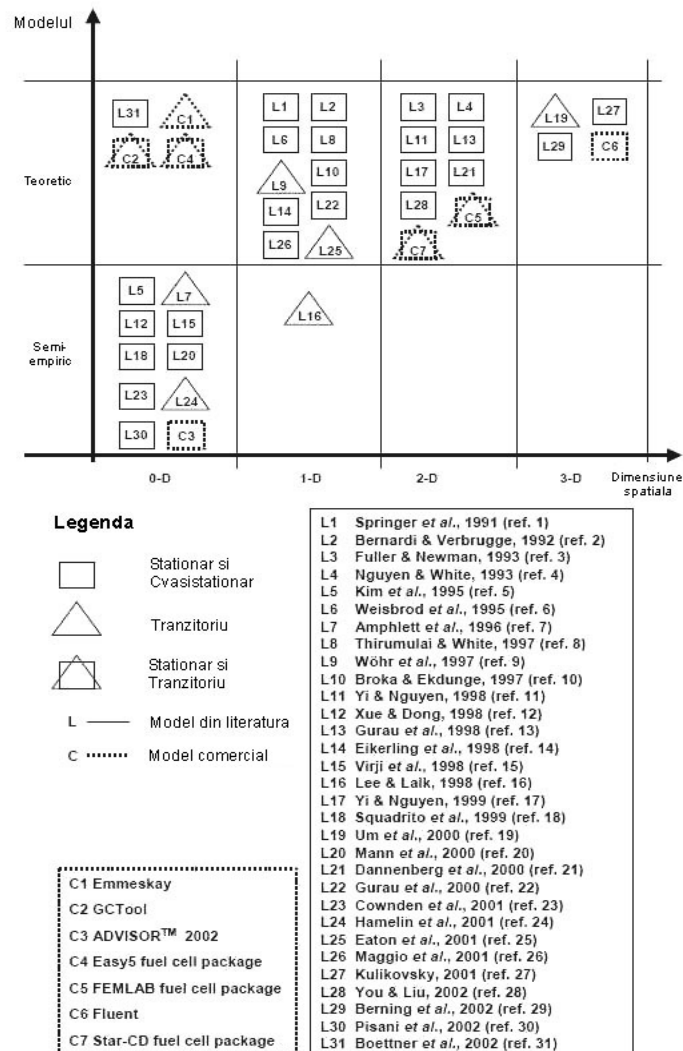


Fig. 5.1. Modele de pile de combustie disponibile

Tabelul 5.2 oferă o imagine mult mai detaliată a modelelor de pilă de combustie comerciale. Informațiile despre modelele de pilă de combustie provenind de la Fluent și CD Adapco Group Fig. 5.1, nu sunt suficiente pentru o comparație mult mai cuprinzătoare. De aceea, cele două modele nu sunt incluse în Tabelul 5.2. Detaliile despre caracteristicile software-ului prezentate în Tabelul 5.2 au fost găsite în informațiile vânzătorului, în kit-urile demonstrative, în manualele atașate software-ului etc. Informațiile despre modele variază funcție de sursă și se modifică mult în timp. Drept urmare, informațiile cuprinse în Tabelul 5.2 trebuie să privească fiind valabile în momentul redactării tezei.

Tabelul 5.2. Software comercial pentru câteva modele de pilă de combustie

Modelul	Emmeskay	ADVISOR™ 2002	GCTool	Easy5	FEMLAB
Originea	Emmeskay	NREL	ANL	Ricardo	COMSOL
Dimensiune	0	0	0	0	2
Stare					
• Tranzitorie	+	-	+	+	+
• Staționar	-	+	+	+	+
Frontiera					
• Celula	-	+	-	-	+
• Bateria	+	-	-	+	-
• Sistemul	-	+	+	+	-
Metoda					
• Teoretică	+	-	-	+	+
• Semi-empirică	-	+	+	-	-
Opțiunea pasului de timp: fix sau variabil	+	+	-	+	Indisponibil
Complexitate	Medie	Scăzută	Medie /mare	Medie	Mare
• Celula / baterie	N/A	Medie	Medie /mare	Medie /mare	Indisponibil
• Sistemul					
Reprezentare grafică	+	+	-	+	+
Biblioteca	-	+	+	+	+
Documentația	-	+	+	+	+

Modelul Emmeskay de pilă de combustie este un pachet de programe pentru un model 0 dimensional al unei baterii de pile de combustie. Modelul este bazat pe pachetul grafic Simulink a lui MathWorks. Poate rula cu pași de timp fiși sau variabili și poate rula în modul timp real. În acest model, bateria de pile de combustie este modelată ca o "cutie neagră", folosind funcția S a Matlab-ului, pentru a-l lega la un cod sursă compilat și brevetat. Posibilitățile lui permit detalierea transportului apei prin membrană, condensarea și evaporarea apei și transferul căldurii rezultate în urma reacției chimice. Un avantaj special al acestui model este că include dinamica presiunii. Presiunile anodică și catodică sunt controlate de un regulator PI, care reglează vitezele de curgere a ieșirii masei de reactant la anod și catod. Temperatura la ieșirea catodului este de asemenea reglată de un regulator care controlează curgerea agentului de răcire. Având dinamica presiunii, se pot evalua diferite strategii de reglare a pilei de combustie. Cu toate acestea, este disponibilă doar o mică cantitate de informații despre detaliile calculului, fiindcă acesta este brevetat de Emmeskay.

Modelul ADVISOR™ 2002 are o cale de abordare similară, cu excepția faptului că performanța pilei de combustie este bazată pe curba de polarizare, folosirea pe celulă a combustibilului asociat și numărul de celule individuale din interiorul bateriei. Sistemul auxiliar (adică compresorul, pompa de combustibil și ventilatoarele de răcire), poate fi specificat separat de bateria de pile de combustie și este compus din diagramele componentelor. Diagrama randamentului / puterii sistemului și curbele de polarizare incluse în difuzarea publică, specifice bateriilor de pile de combustie de o anumită mărime și putere de ieșire, au fost furnizate de ANL și UTC Fuell Cells (formal IFC).

Un inconvenient a celor două modele OR™ 2002 este că nu au inclus gestiunea apei și căldurii. Interacțiunea termică între sistemul de pilă de combustie și restul vehiculului nu poate fi afișată. Mai mult, submodelele componentelor, cum ar fi reformatorul și compresorul, nu sunt incluse în modelul sistemului. În Tabelul 5.2 cele două modele sunt prezentate ca "ADVISOR™ 2002". Un al treilea model al unui sistem de pilă de combustie, GCTool de la ANL, este inclus în ADVISOR™ 2002 ca o opțiune de co-simulare. Depinzând de scopurile specifice ale utilizatorului, oricare din cele 3 modele poate fi folosit în ADVISOR™, pentru a reprezenta interacțiunea pilei de combustie cu restul vehiculului.

GCTool a fost unul din primele pachete de programe pentru pilele de combustie care au fost disponibile public. Dezvoltat și întreținut de ANL, el este un model secvențial programat în limbaj C. El conține modelele unor tipuri diverse de pile de combustie și a componentelor sistemului cum ar fi reformatoare, condensatoare, pompe și duze. Utilizatorul proiectează configurația sistemului din diferitele modele ale componentelor, care sunt interconectate prin curenți definiți. Pot fi realizate simulări de regimuri staționare și dinamice. GCTool are propria bibliotecă pentru proprietățile termodinamice, care a constituit unul dintre avantajele majore atunci când a fost difuzat. Pachetul de programe GCTool, include un manual și exemple despre felul cum trebuie folosite programele.

Pachetul de programe Easy5 de la Ricardo, este similar cu GCTool. Ambele sunt pachete de programe de simulare a sistemelor de pilă de combustie. Cu toate acestea, Easy5 afișează informațiile pentru fiecare bloc într-un mod mult mai accesibil. Ca și GCTool, Easy5 are o bază de date conținând diferite componente ale sistemului, cum ar fi bateria de pile de combustie, reformatorul, filtrul de gaz, echipamentele electrice și de control. El conține de asemenea modele ale sistemelor termodinamic și termic. Un avantaj al Easy5, este capacitatea sa de a optimiza funcționarea sistemului și dimensionarea componentelor. În contrast cu GCTool, el nu include însă o bibliotecă pentru proprietățile termodinamice.

5.1.2.3. Alegerea modelelor pilelor de combustie: exemplul NREL

□ Selecția modelului NREL

Așa cum s-a prezentat anterior, cele 3 modele existente în ADVISOR™ 2002, furnizează mijloacele pentru evaluarea vehiculelor acționate cu pile de combustie. NREL decide acest model de pilă de combustie, cu o mai mare flexibilitate și cu detaliile necesare. Obiectivul simulării pentru NREL, a fost acela de a furniza o unealtă pentru studii mai detaliate, cum ar fi cele para-metrice, de dimensionare a componentelor și de optimizare. Cu un model robust de sistem autonom de pilă de combustie, pot fi optimizați parametrii sistemului, cum ar fi temperatura celulei, presiunea și coeficienții stoechiometrici pentru curgerile gazelor la anod și catod. Scopul studiului a fost acela de a integra modelul sistemului pilelor de combustie în ADVISOR™, astfel ca să poată fi luate în considerare efectele sistemului auxiliar asupra ieșirii pilei de combustie și asupra restului vehiculului cu pilă de combustie. Așadar integrând modelul în ADVISOR™, este posibil ca rezultatele să fie vizibile în contextul vehiculului, ca de exemplu economia de combustibil, masa vehiculului, accelerația, calificativele testelor și ciclurile multiple ale mașinii.

□ Compararea a două modele de sisteme cu pile de combustie

NREL a decis să evalueze 2 modele care recent au fost disponibile: modelul Virginia Tech (VT) și modelul Royal Institute of Technology (KTH). Cele 2 sisteme de pilă de combustie au caracteristici similare. Ele sunt 0-dimensionale bazate pe MALTALAB Simulink și au codul sursă posibil de modificat. Ele combină componente empirice

sub formă de diagrame, cu modele teoretice pentru a prognoza gestionarea apei și căldurii. În Fig. 5.1, cele două modele ar trebui localizate în caseta din stânga jos (semi-empirice, 0-D).

Modelul VT al sistemului de pilă de combustie Fig. 5.2, dezvoltat de Virginia Tech în colaborare cu NREL, constă dintr-un model de pilă de combustie și un model de sistem auxiliar [Gurski2002]. El este un model tranzitoriu semiempiric care explică gestionarea căldurii și bilanțul apei din sistem. Modelul pilei de combustie este o curbă de polarizare bazată pe o baterie de pile de combustie disponibile la VT. Modelul compresorului ei, folosește diagrame cu date de la Opcon Automotor [Kulp2001].

Modelul este proiectat pentru a fi încorporat în AdvISOR™ 2003. Scopurile modelului sunt de a produce efecte ale pornirii la cald și ale pornirii la rece, relativ la economia de combustibil, limitările de putere datorate temperaturii și bilanțul apei pentru umidificarea reactantului. În cele ce urmează se prezintă exemple ale intrărilor modelului, reprezentând constante și parametri:

- numărul de celule și aria activă a unei celule;
- coeficienții stoechiometrici și debitele la racordul catodului și anodului;
- caracteristicile compresorului de aer și ale pompei;
- tensiunea minimă a celulei și densitatea de curent;
- temperatura maximă a agentului de răcire;
- constante: tensiunea de mers în gol, capacitățile calorice, greutatea moleculare, densitatea și raportul căldurii specifice a aerului, cea mai joasă valoare a temperaturii de ardere a hidrogenului etc.;
- condiții inițiale: temperaturile aerului înconjurător, a rezervorului, a radiatorului, a orificiului de ieșire catodic, a orificiului de ieșire a compresorului, a orificiului de ieșire al umidificatorului, a orificiului de ieșire a agentului de răcire; presiunea și temperatura ambientale; viteza de curgere minimă a masei agentului de răcire;
- procentajul recuperării condensatorului.

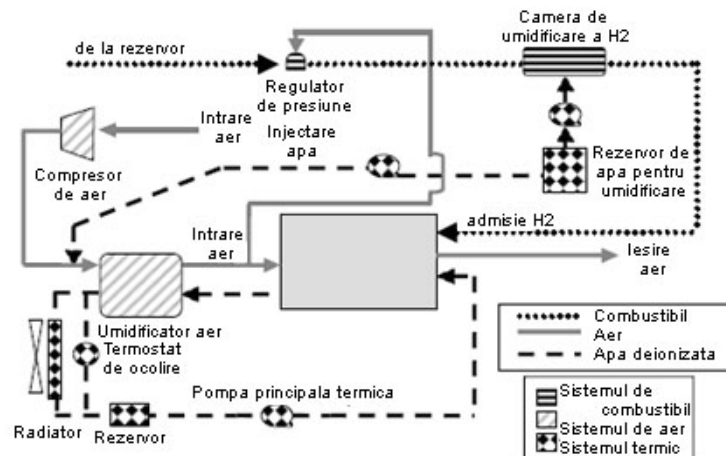


Fig. 5.2. Modelul VT al sistemului de pile de combustie

Ieșirile modelului VT sunt puterea netă de ieșire a sistemului pilei de combustie și caracteristicile sistemului. Caracteristicile sistemului includ: cerințele serviciilor auxiliare ale sistemului de putere (compresorul de aer, ventilatorul condensatorului și pompa agentului de răcire), debitele masice în diferite puncte, pierderile de căldură, generarea apei, bilanțul apei, tensiunea și curentul pilei. Un exemplu a impactului temperaturii de lucru a sistemului pilei asupra puterii nete și a randamentului sistemului, este prezentat în Fig. 5.3 [Hubertus1998].

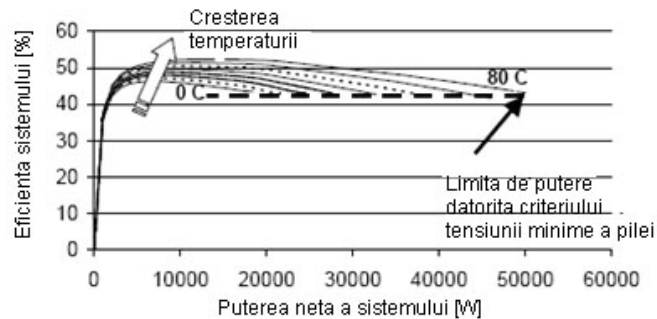


Fig. 5.3. Ieșiri ale modelului VT, funcție de temperatura de funcționare

În Fig. 5.4 este prezentat un exemplu al unui sistem de pilă de combustie în contextul unui vehicul, unde se afișează ieșirea modelului VT integrat în ADVISOR™ 2003. Figura arată o comparație a randamentului între modurile de pornire la cald și la rece, pe un ciclu al unei mașini de șosea (U.S. EPA). Aici se observă o penalizare clară a pornirii la rece, oglindită printr-un randament mai scăzut al sistemului și un timp mai lung de atingere a temperaturii de funcționare a sistemului de pilă de combustie. Acest ciclu motor particular, funcționează în mod normal cu pornire la cald.

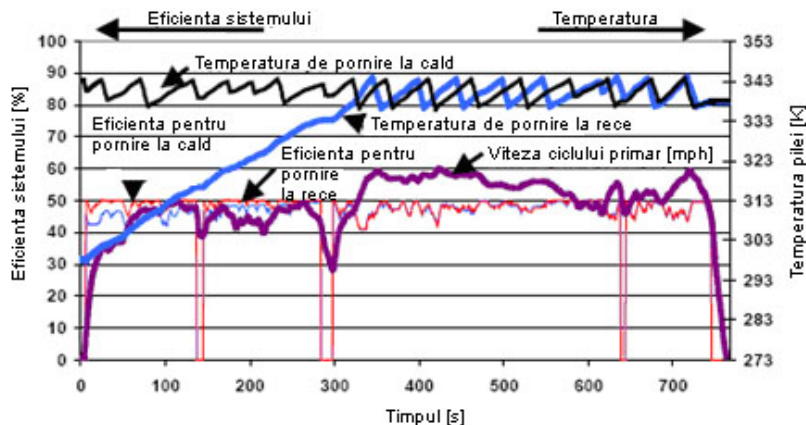


Fig. 5.4. Ieșiri ale modelului VT integrat în ADVISOR™ 2003 (U.S. EPA)

Modelul KTH al sistemului de pilă de combustie Fig. 5.5, are caracteristici similare cu modelul VT. Este un model semi-empiric cu gestionarea căldurii și apei [Johansson2001]. Cu toate acestea, modelul KTH este un model staționar. Mai mult, componenta bateriei de pile de combustie a modelului este teoretică, în parte bazată pe [Springer1991] și consideră modificările de fază ale apei în bateria pilelor de combustie. Abordarea teoretică permite, pentru definirea bateriei, calcularea numărului de celule pe baza puterii de ieșire maxime necesare sistemului. Cu considerarea ariei active și a coeficienților stoechiometrici ai hidrogenului și aerului, modelul poate fi folosit la orice baterie de pile de combustie, oferind modelului o flexibilitate semnificativă. Sistemul auxiliar include calculul unui rezervor de hidrogen și cererea individuală de putere pentru pompe și ventilatoare. El conține de asemenea diagramele cu datele compresorului de la Opcom Autorotor. Sistemul permite ca hidrogenul să fie recirculat și permite pentru apa produsă în baterie să fie condensată și folosită în umidificatoare. Căldura produsă în baterie este transferată unui circuit de răcire. De asemenea modelul consideră pierderile prin frecare din conducte, coturi și filtre.

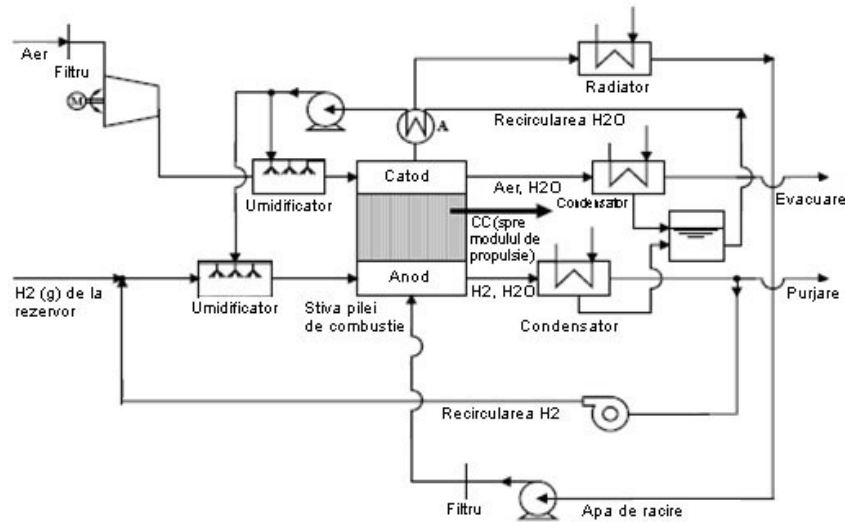


Fig. 5.5. Sistemul KTH pentru pile de combustie

Intrările în modelul KTH sunt similare cu cele din modelul VT. Exemplele de caracteristici unice includ, procentajul purjei (volumul evacuat la anod care trebuie îndepărtat din sistem) și diametrul și lungimea tubulaturii. Ieșirile modelului sunt, puterea netă a sistemului pilei de combustie, alcătuirea bateriei și caracteristicile sistemului, adică: debitul masic al reactanților, produsul, materialul inert și de răcire, căldura dezvoltată în baterie, sarcinile individuale, bilanțul apei și combustibilului sistemului de pilă, incluzând umidificatoarele și condensatoarele și randamentul pilei de combustie și cel al sistemului.

În Fig. 5.6 este prezentat un exemplu de rezultat al modelului KTH, pentru un sistem de pilă de combustie integrat în ADVISOR™ 2003. Un vehicul mic de aproximativ 100 kg cu sistem de pilă de combustie, cu puterea de ieșire de 48 kW și 43% la vârful de sarcină, este simulat folosind ciclul mașinii de șosea U.S. EPA. Diagrama cea mai de sus arată specificația vitezei ciclului motor și viteza vehiculului în mile pe oră (mph). Cele 3 diagrame de dedesubt afișează impactul sistemului auxiliar asupra puterii nete de ieșire a sistemului de pilă de combustie. Prima dintre aceste diagrame, arată puterea netă a sistemului achiziționată pe durata unui ciclu. Diagrama următoare arată variațiile cererii de putere a sistemului auxiliar, incluzând pe acelea ale compresorului, pompei și ventilatoarelor. Componenta majoră a sarcinii sistemului auxiliar, este cea a compresorului și cererea sa de putere este arătată în diagramă. Variația folosirii combustibilului pe durata unui ciclu motor, este arătată în diagrama din partea de jos a figurii.

În Tabelul 5.3 se compară modelele VT și KTH ale sistemelor de pilă de combustie. Chiar dacă ele au caracteristici similare (dimensiune, frontiera sistemului și mediului), există diferențe distincte. Pentru moment, metodologia modelului de pilă de combustie pentru modelul KTH, pornește de la modelul VT în detalierea fenomenelor electrochimice. Modelul VT are mai multe detalii pentru transferul căldurii, în timp ce modelul KTH are detalii pentru dinamica fluidelor. O opțiune de viitor este aceea de a combina mai multe modele termice detaliate ale modelului VT, cu modelul detaliat al pilei de combustie din modelul KTH, pentru a produce un model optim de sistem de pilă de combustie, care consideră transferul de căldură peste frontierele sistemului. Combinarea modelelor VT și KTH pentru sistemele de pilă de combustie poate forma o unealtă valoroasă pentru viitoarele studii parametrice și de optimizare.

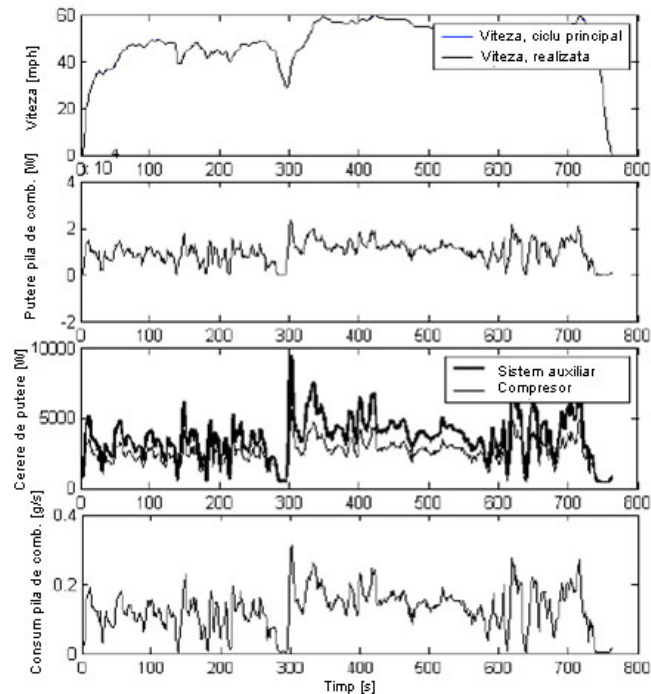


Fig. 5.6. Modelul KTH pentru un sistem integrat în ADVISOR™ 2003

Tabelul 5.3. Compararea modelelor VT și KTH

Modelul		VT	KTH
Originea		Virginia Tech	Royal Institute of Technology, Suedia
Dimensiunea		0	0
Starea:	Tranzitorie	+	-
	Staționară	-	+
Frontiera sistemului:	Celula	-	-
	Bateria	+	+
	Sistemul	+	+
Abordarea de ansamblu:	Teoretică	-	-
	Semi-empirică	+	+
Abordarea pilei:	Teoretică	-	+
	Semi-empirică	+	-
Complexitatea:	Celulă / baterie	Medie	Medie/Mare
	Sistem	Medie/Mare	Medie/Mare
Termodinamica & dinamica fluidelor		+	+
Mediul de programare		MATLAB/Simulink	MATLAB/Simulink
Viteza în cicluri UDDS (1369 sec):			
<1/90 timp real (15 sec)		+	-
<1/30 timp real (45 sec)		-	+
Opțiunea pasului de timp fix & variabil		+	+
Flexibilitate		+	+
Reprezentare grafică		+	+
Documentație		+	+

Ambele modele sunt rapide și de sine stătătoare. Când se integrează în ADVISOR™ 2003, viteza de soluționare este micșorată la 1/30 din timpul real. Ciclul mașină UDDS servește ca bază de comparație. Timpul real egalează ciclul motor care are o durată de aproximativ 20 de minute. Modelul VT este cu ceva mai rapid decât cel al modelului KTH. Aceasta se datorează diferențelor de arhitectură a modelelor: modelul VT are o structură de tip blocuri Simulink, pe când modelul KTH este bazat pe m-funcțiile MATLAB.

Nici unul dintre modele nu are opțiunea de a rula fie cu pași ficși de timp, fie cu pașii de timp variabili. Ambele rulează cu pas fix de timp, facilitând integrarea modelelor în ADVISOR™ 2003, care rulează cu pas constant de timp. Un nou model dezvoltat la NREL, cu pas de timp fix/variabil, va permite integrarea modelelor care rulează cu pași de timp variabili. Deoarece codul sursă nu este brevetat, modelele KTH și VT sunt foarte flexibile, permițând integrarea ușoară în model a noilor blocuri și caracteristici. O altă proprietate care face ușoară înțelegerea sistemului este faptul că modelele sunt bazate pe Simulink cu blocuri grafice și interconexiuni între ele. Documentația modelelor, disponibilă în articole și teze de doctorat, facilitează de asemenea utilizarea modelelor. Nici un model nu a fost încă validat în întregime. Cu datele pentru componentele sistemului cum ar fi compresorul și bateria de pile de combustie în modelul VT și compresorul în modelul KTH, modelele pot fi considerate ca validate doar parțial. În intenția NREL este ca în viitorul apropiat, să valideze modelele cu datele altor componente ale sistemului.

Alegerea dacă să se dezvolte un model propriu de pilă de combustie, sau să se achiziționeze un software gata de folosit, depinde de scopul simulării și de constrângerile cum ar fi timpul și costul. Modelele de pile de combustie din literatură, sunt clasificate în categorii cum ar fi starea, dimensiunile și metodologia de abordare. Pachetele de programe pentru pile de combustie existente sau care în curând vor fi disponibile, au fost clasificate și comentate. În final este prezentată o evaluare mai detaliată a două modele pentru sisteme de pilă de combustie. În combinație modelele KTH și VT pentru sistemele de pilă de combustie, formează o unealtă valoroasă pentru studiile parametrice și de optimizare. Separat, ele funcționează bine integrate în ADVISOR™ 2003. În viitor, NREL intenționează să valideze cele 2 modele de sisteme de pilă de combustie cu date ale diferitelor componente ale sistemului [Ardelean2007a].

5.1.3. Modele pentru regimuri staționare

5.1.3.1. Model empiric pentru caracteristica de funcționare

Pentru modelarea performanțelor în regim staționar a pilelor de combustie, au fost dezvoltate mai multe modele teoretice și empirice. Modelul prezentat mai jos este unul empiric. El oferă posibilitatea de a simula atât pile de combustie, cât și curba U-I a electrolizorului, în condiții normale de funcționare. Modelul poate fi adaptat și pentru simularea pilelor de combustie regenerative (RFC) [Bever1997], [Chamberlin1995].

□ Chestiuni generale

În Fig. 5.7 se prezintă caracteristica de funcționare a pilei de combustie: tensiune – densitate de curent.

Modelul lui Chamberlin și Kim descrie tensiunea pilei în funcție de densitatea de curent, cu ajutorul a 5 parametri:

$$U_{pila}(J) = E_0 - b \cdot \ln(J) - R \cdot J - m \cdot \exp(n \cdot J) \quad (5.1)$$

unde U_{pila} este tensiunea pilei [V], J – densitatea de curent [$A \text{ cm}^{-2}$], E_0 – tensiunea de mers în gol [V], b – parametrul Tafel pentru reducerea oxigenului [V], R – rezistența [$\Omega \text{ cm}^2$], m , n – parametrii de difuzie ([V] și [A^{-1}]).

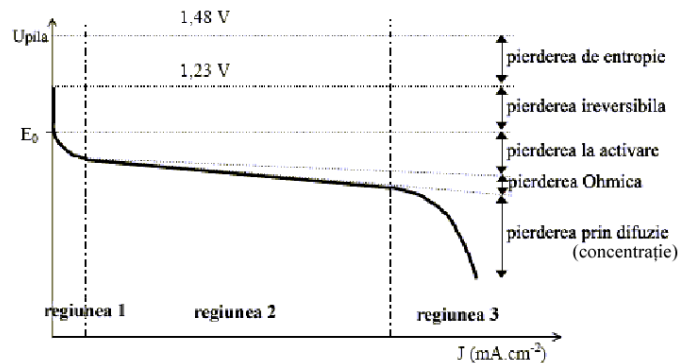


Fig. 5.7. Caracteristica de funcționare a pilei de combustie: tensiune – densitate de curent

Fiecare termen al relației (5.1) este dominant în câte o regiune a caracteristicii $U-J$ (Fig. 5.7). În regiunea 1 tensiunea coboară brusc datorită reacțiilor activării electrochimice a oxigenului (factorul logaritmic are cea mai mare influență). În regiunea 2, curba este aproximativ liniară (pierderi rezistive). Regiunea 3 corespunde pierderilor de difuzie / concentrație (factorul exponențial).

În modelul lui Kim, cei cinci parametri (E_0 , b , R , m , n) depind de temperatura și presiunea din pilă, precum și de presiunea parțială a oxigenului. Ei depind chiar de bateria modelată, astfel că nu pot fi transpuși unei alte pile fără o nouă identificare a lor. Acest model se potrivește foarte bine cu rezultatele experimentale. Hamelin a comparat modelele lui Amphlett și al lui Kim. Se pare că tensiunile estimate sunt apropiate și ambele diferă ușor de tensiunea celulei experimentale în aceleași regiuni (densități mici și mari de curent). Totuși, folosirea acestui model pentru densități de curent mici este o adevărată provocare, deoarece el este divergent în apropierea lui $J = 0$ ($\ln 0 = \infty$). Această particularitate își face din plin simțită prezența la modelarea unei pile de combustie regenerativă, un dispozitiv care poate fi folosit atât ca electrolizor cât și ca pilă de combustie. În aceste condiții ecuația (5.1) este divergentă ori de câte ori dispozitivul trece continuu dintr-un regim de lucru în celălalt regim.

Pentru a rezolva această problemă, a fost propus un nou model trecând prin divergență. Pentru a simula un electrolizor, este folosită aceeași ecuație electrică, dar cu schimbarea parametrilor. Pornind de la aceasta, modelul este capabil să simuleze o pila de combustie regenerativă prin întregul său comportament.

□ Descrierea modelului propus în [Busquet2004]

Modelul propus în [Busquet2004] este foarte asemănător cu modelul clasic semi-empiric propus de Kim, cu avantajul de a fi convergent tuturor densităților de curent. Mai mult, este un model pur empiric, cu patru grade de libertate. Acest model nu ia în considerare zona de difuzie (regiunea 3 din Fig. 5.7). Ca și la modelul lui Kim, este posibilă adăugarea unui termen exponențial pentru a aborda această problemă. Autorii nu au vrut să deterioreze pila de combustie prin utilizarea în această regiune. În general pilele de combustie sunt utilizate într-o regiune în care la orice temperatură nu apar probleme termice sau de difuzie.

□ Ecuația electrică

Pentru a rezolva problema convergenței, s-a propus schimbarea termenului logaritmic în $1/(\ln J)$, aproape de 0 pentru $J = 0$. Se obține următoarea ecuație:

$$U_{pila}(J) = E_0 + \frac{b}{\ln(d \cdot J)} - c \cdot J \quad (5.2)$$

unde b , c , d sunt parametri ($[V]$, $[\Omega \text{cm}^{-2}]$, $[\text{cm}^2 \text{A}^{-1}]$). Celelalte ipoteze sunt ilustrate în Fig. 5.8.

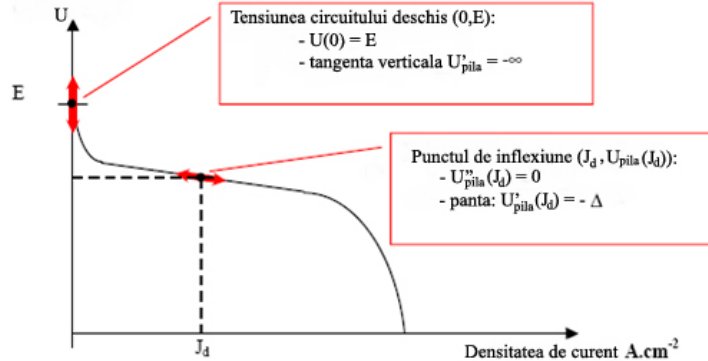


Fig. 5.8. Ipoteza fundamentală a modelului expus

Curba tensiunii pilei are față de densitatea de curent un punct de inflexiune pentru $J = J_d$, iar în acest punct panta tangentei este notată $-\Delta$.

Particularizând relația (5.2) pentru $J = 0$, respectiv $J = J_d$ și ținând cont de valorile derivatelor (Fig. 5.8) se obține:

$$d = \frac{1}{J_d \cdot e^2} \quad \text{și} \quad c = \Delta - \frac{b}{4 \cdot J_d} \quad (5.3)$$

Înlocuind în relația (5.2) rezultă:

$$U_{pila}(J) = E_0 + \frac{b}{\ln(J/J_d)} + \left(\frac{b}{4 \cdot J_d} - \Delta \right) \cdot J \quad (5.4)$$

□ Determinarea celor 4 parametri

Cei patru parametri (E_0 , J_d , b și Δ) trebuie determinați prin ajustarea curbei de modelare la datele experimentale. Acești parametri depind de temperatura pilei (T) precum și de presiunea parțială. Influența presiunii parțiale a hidrogenului poate fi neglijată atâta timp cât particulele de hidrogen din partea anodică a pilei de combustie sunt în proporție de peste 20%. Datorită dependenței temperaturii și a presiunii potențialului termochimic și a ecuației Butler-Volmer, influența lui T și a presiunii parțiale p_{O_2} asupra celor patru parametri are următoarea formă:

$$k_1 + k_2 \cdot T + k_3 \cdot T \cdot \ln(p_{O_2}) \quad (5.5)$$

De aceea, pentru fiecare parametru trebuie determinate 3 constante pentru a descrie dependența de T și p_{O_2} ($E_1, E_2, E_3; J_{d1}, J_{d2}, J_{d3}; b_1, b_2, b_3; \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$;

$$\begin{bmatrix} E \\ J_d \\ b \\ \Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & E_2 & E_3 \\ J_{d1} & J_{d2} & J_{d3} \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ \Delta_1 & \Delta_2 & \Delta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ T \\ T \cdot \ln(p_{O_2}) \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Pentru a determina parametrii avem nevoie de minim 16 date: 4 perechi (J, U_{pila}) și patru perechi (p_{O_2}, T), unde p_{O_2} și T trebuie să fie la cel puțin două nivele diferență.

În cazul unui electrolizor, presiunea parțială a oxigenului corespunde presiunii de funcționare a electrolizorului (este produs oxigen pur). În cazul unei pile de combustie, când este utilizat oxigen pur, presiunea parțială corespunde presiunii sistemului. Când se utilizează aer ambiental, presiunea parțială a oxigenului depinde de particula molară a oxigenului și de utilizarea oxigenului (inversul factorului stoichiometric).

5.1.3.2. Aproximarea ecuației empirice pe baza datelor experimentale

Se consideră cazul unui electrolizor alcalin de 3,6 kW (Hydrogen Systems), care are 16 pile de 300 cm² conectate în serie. Marginea a fost dezvoltată și adaptată la putere și la aplicație. Temperatura pilei este calculată ca fiind media dintre cele două intrări și cele două ieșiri ale electrolitului în și din celulă. În Fig. 5.9 - 5.12 sunt prezentate date experimentale și curbe simulate ale electrolizorului și pilei de combustie pentru diverse valori ale temperaturii (T) și presiunii (p).

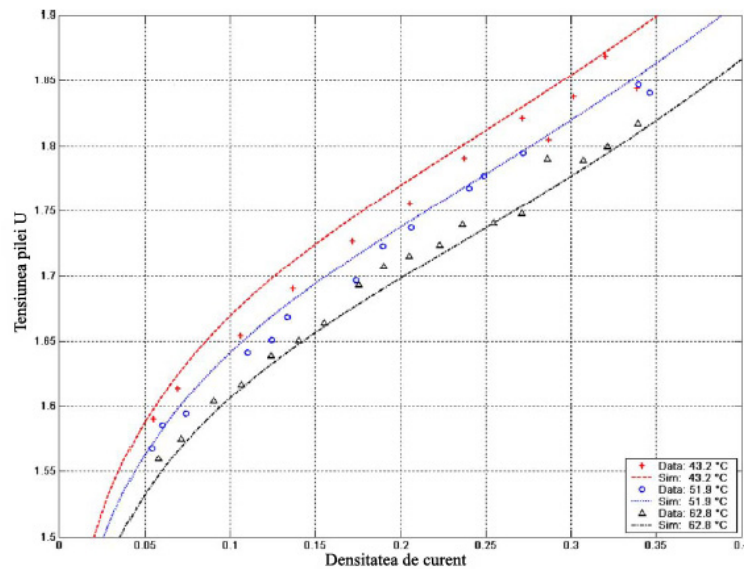


Fig. 5.9. Date experimentale și curbe simulate ale electrolizorului – influența temperaturii ($P = 9,6$ bar)

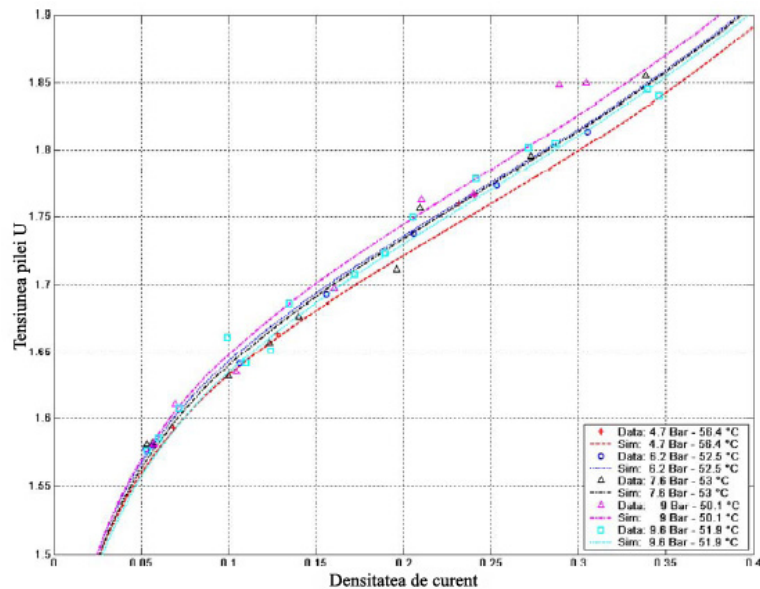


Fig. 5.10. Date experimentale și curbe simulate ale electrolizorului – influența presiunii ($T = 52-56^{\circ}\text{C}$)

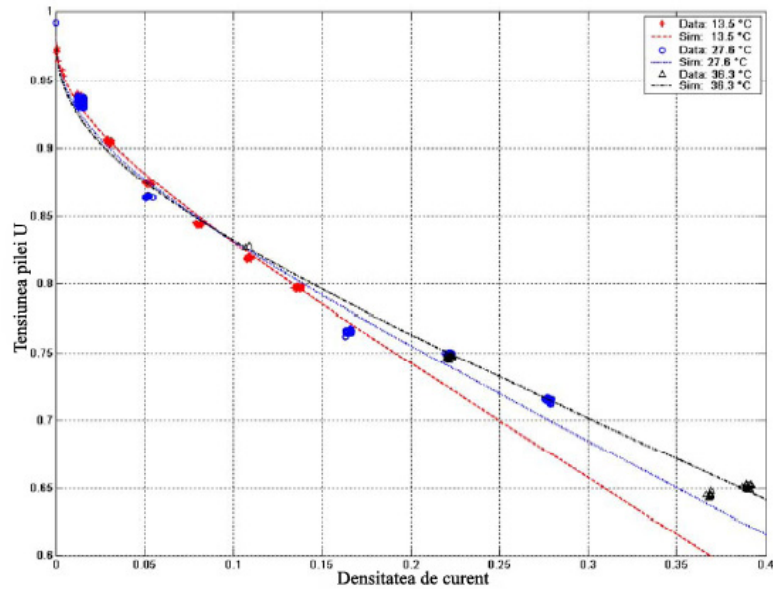


Fig. 5.11. Date experimentale și curbe simulate ale pilei de combustie – influența temperaturii ($p_{O_2} = 1,4$ bar)

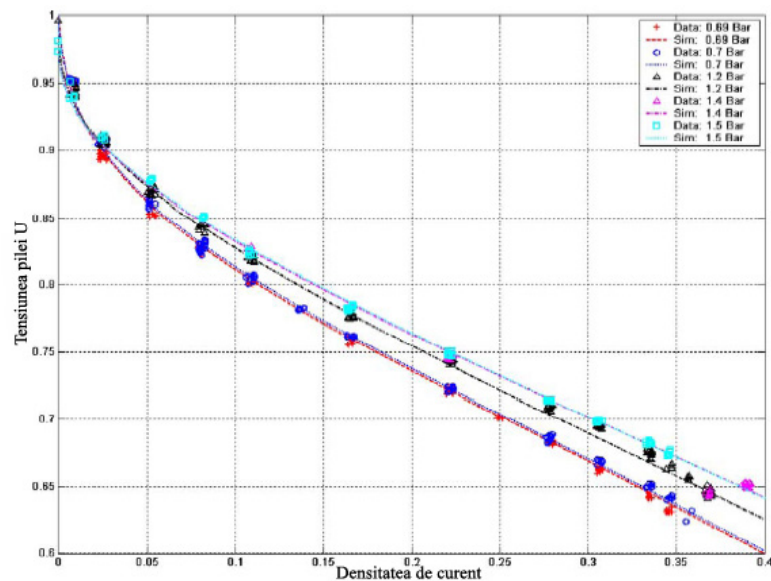


Fig. 5.12. Date experimentale și curbe simulate ale pilei de combustie – influența presiunii ($T = 35^\circ\text{C}$)

□ Rezultate

Fiecare constantă a electrolizorului și a pilei de combustie a fost determinată ca funcție a temperaturii față de presiunea parțială a oxigenului, folosind rezultatele experimentale menționate anterior (Fig. 5.9 - 5.12). În ciuda faptului că datele experimentale sunt dispersate, protocolul ajustării dă posibilitatea selectării celei mai reprezentative curbe. Procesul de identificare duce la obținerea rezultatelor prezentate în Tabelul 5.4.

Tabelul 5.4. Constante ale modelului electric: valori pentru electrolizor și pentru pila de combustie

	Electrolizor			Pila de combustie		
J_d	0.355	-1.078 E-3	5.232 E-4	-0.868	-1.762 E-3	4.900 E-4
E	1.025	1.240 E-3	-1.050 E-4	0.796	4.661 E-3	-3.220 E-4
b	-6.125	1.500 E-2	-3.245 E-4	-1.926	2.616 E-2	-1.489 E-3
Δ	-1.819	4.830 E-3	-1.248 E-4	3.892	-7.447 E-3	-2.696 E-4

□ Comentarii

Pentru a valida modelul trebuie analizate influența temperaturii și a presiunii parțiale a oxigenului. Vom scoate în evidență limitele validității modelului, predicția acestuia fiind valabilă pentru un echipament specific și valori ale presiunii și temperaturii, în concordanță cu parametrii. Pentru electrolizor, presiunea absolută experimentală variază între 1,7 și 9,9 bar, iar temperatura variază între 31°C și 63°C. Pentru pila de combustie, presiunea parțială a oxigenului și a hidrogenului variază între 0,7 și 1,5 bar, iar a temperaturii, este între 15°C - 36°C.

□ Influența temperaturii

Fig. 5.9 și Fig. 5.11 ilustrează caracteristica $U-J$ a electrolizorului și a pilei de combustie la presiune fixă pentru diferite valori ale temperaturii. Creșterea temperaturii duce la o mai bună performanță atât a electrolizorului cât și a pilei de combustie, din punct de vedere al eficienței.

□ Influența presiunii

Presiunea are un efect important asupra performanței pilei de combustie Fig. 5.10, dar nu și asupra electrolizorului Fig. 5.12. Mai precis, presiunea ridicată are influență doar asupra purității gazelor produse prin electroliză, dar nu și asupra eficienței reacției.

5.1.3.3. Concluzii referitoare la modelul electric

Modelul propus este unul de început. Este un model satisfăcător pentru simularea unui electrolizor sau a unei pile de combustie, la o densitate de curent mică sau medie. Acest model este inovator datorită convergenței spre zero a densității de curent și a coerenței sale matematice.

Modelul demonstrează o bună aproximare a ecuației empirice cu datele experimentale, iar influența presiunii și a temperaturii, este corect comparată cu comportamentul fizic al componentelor electrochimice.

Modelul propus are câteva dezavantaje [Famouri2003]:

- pentru a se asigura stabilitatea numerică a metodei de determinare a coeficienților, ecuația lui Tabel este modificată, ceea ce nu este de dorit;
- determinarea coeficienților necesită rezolvarea unor sisteme de ecuații neliniare, la care se folosesc metode iterative pentru găsirea soluției. Problema principală este legată de stabilirea aproximării corecte a sistemului de ecuații inițiale. Un punct de pornire greșit ales, poate conduce la o soluție corectă din punct de vedere matematic, dar care nu satisface realitatea fizică.

Având în vedere aceste dificultăți și constatând că modelul matematic propus este liniar în raport cu parametrii lui ($E_1, E_2, E_3, b_1, b_2, b_3, R$), se propune în continuare utilizarea regresiei liniare multiple pentru stabilirea pe cale empirică (experimentală) a coeficienților necunoscuți.

Considerându-se o funcție liniară de n variabile:

$$y = \sum_{j=0}^n b_j \cdot x_j \quad (5.7)$$

unde y este variabila de explicat (în cazul de față valoarea tensiunii la bornele pilei de combustie), b_j reprezintă componentele vectorului coeficienților (pentru modelul matematic în discuție, este vorba despre parametrii $E_1, E_2, E_3, b_1, b_2, b_3, R$), iar x_j sunt variabilele aleatoare. Pentru modelul considerat, valorile x_j sunt: $x_0 = 1, x_1 = T, x_2 = T \cdot \ln(p), x_3 = \ln(J), x_4 = T \cdot \ln(J), x_5 = T \cdot \ln(J) \cdot \ln(p), x_6 = J$.

Valorile estimate ale coeficienților modelului matematic se calculează cu relația [Kilyeni2004]:

$$\mathbf{b}^* = (\mathbf{X}^T \cdot \mathbf{X})^{-1} \cdot \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{y} \quad (5.8)$$

unde: \mathbf{y} este vectorul cu p componente – numărul măsurătorilor efectuate pentru fiecare regim al pilei de combustie; \mathbf{X} este matricea cu p coloane și n linii, ale cărei elemente sunt cele p măsurători ale celor n variabile explicative.

În urma efectuării calculelor au rezultat următoarele valori pentru coeficienții modelului matematic:

$$\mathbf{b}^* = [0.600, 5.884 \cdot 10^{-4}, 1.526 \cdot 10^{-4}, -0.118, 2.613 \cdot 10^{-4}, 3.640 \cdot 10^{-5}, -0.461]^t$$

Rezultatele obținute sunt prezentate în Fig. 5.13.

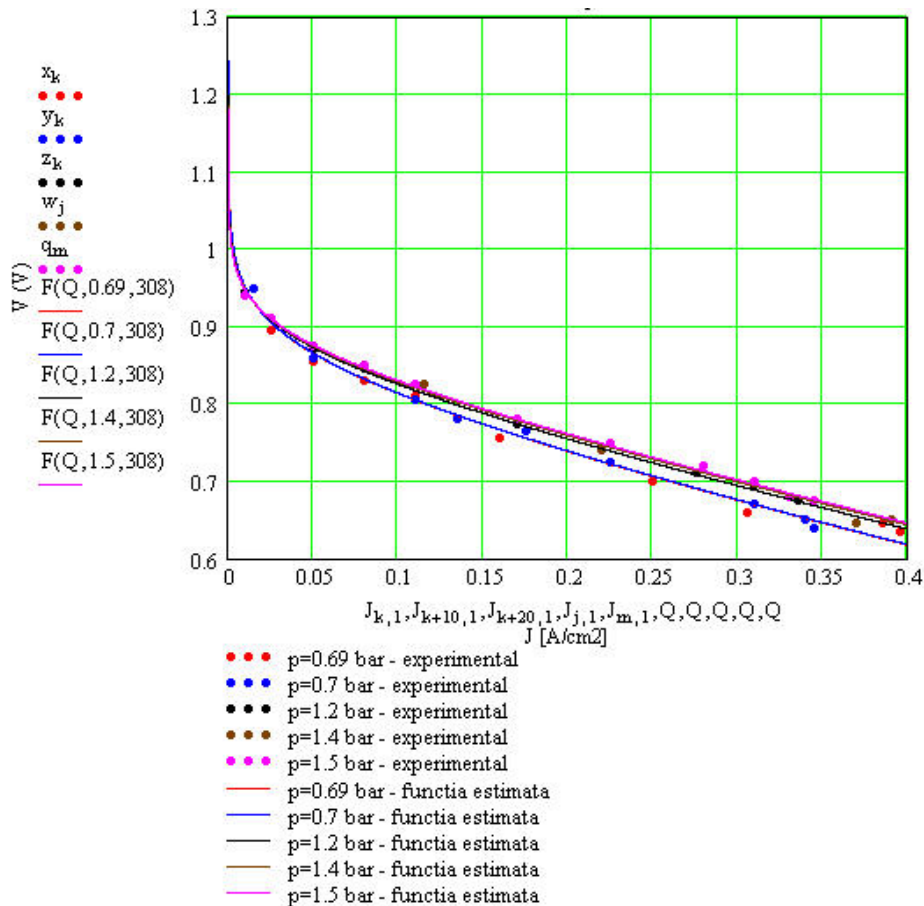


Fig. 5.13. Caracteristica de sarcină PEM FC pentru $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

5.2. Modelarea pilelor de combustie pentru regimuri dinamice de funcționare

PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) pe lângă avantajele conferite de sursele de energie neconvențională și nepoluantă, mai au și pe acela de a putea fi plasate în orice loc în rețeaua de distribuție, fără limitări în ceea ce privește realizarea performanțelor optime. PEMFC sunt surse sigure de energie, comportându-se excelent în regimuri permanente normale. Din cauza inerției relative a reacțiilor chimice care le guvernează funcționarea, ele nu pot răspunde suficient de rapid la variații rapide ale sarcinii. Din această cauză, trebuie studiat cu atenție răspunsul PEMFC în regimurile tranzitorii cum ar fi scurtcircuitate la borne sau pornirea motoarelor electrice de puteri mai mari.

În ultimii ani, au fost concepute modele dinamice ale PEMFC, cu accent pe caracteristicile electrice la bornele pilei de combustie. Pe baza lor au fost realizate scheme electrice echivalente ale PEMFC care includ o capacitate, care să considere efectul de încărcare al stratului dublu de sarcini electrice din interiorul pilei de combustie [Jousse2001]. În prezentul subcapitol se prezintă modele dinamice pentru PEMFC, bazate pe circuite electrice. În primul rând, pe baza unei analize fenomenologice, sunt stabilite sursa internă echivalentă de tensiune și rezistența echivalentă pentru pierderile datorate polarizărilor de activare, ohmice și de concentrație. Apoi este considerat efectul de încărcare în dublu strat, prin adăugarea unei capacități echivalente în modelul pilei de combustie. Caracteristica termodinamică din interiorul pilei de combustie este introdusă în model corespunzător cu ecuația bilanțului de energie. Modelul astfel realizat este apoi implementat în MATLAB/SIMULINK și în PSPICE, folosindu-se componentele electrice echivalente. Rezultatele simulării modelelor au fost validate pe baza datelor experimentale, atât pentru regimurile staționare, cât și pentru cele tranzitorii ale PEMFC. Modelele au un mare potențial de utilizare în studiul și proiectarea sistemelor de comandă ale pilelor de combustie și ale sistemelor alternative hibride de furnizare a energiei electrice [Cownden2001].

5.2.1. Dezvoltarea modelului dinamic

Pentru a asigura cursivitate în urmărirea dezvoltării temei, partea teoretică privind dezvoltarea modelului dinamic, este prezentată în Anexa A6. Sunt prezentate ipotezele de lucru, difuzia gazului în electrozi, ecuația de conservare a masei, tensiunea de ieșire a pilei de combustie, efectul stratului dublu de sarcini și bilanțul termodinamic al energiei [Hamelin2001], [Lasseter2001], [Maggio2001].

5.2.2. Implementarea modelului matematic al PEMFC în Matlab

Pe baza caracteristicilor electrochimice și termodinamice ale acestui tip de pilă de combustie, s-a dezvoltat un model pentru PEMFC în Matlab Simulink [MathWorks]. Din acest model pot fi obținute, tensiunea la bornele pilei de combustie (care este funcție de temperatură) și curentul de sarcină. În Fig. 5.14 prezintă diagrama pe baza căreia a fost dezvoltat modelul Matlab Simulink. În această figură, mărimile de intrare sunt: presiunile gazelor la anodul și catodul pilei, temperatura inițială a pilei de combustie și temperatura incintei. La o anumită sarcină și la un anumit moment de timp, temperatura internă T este determinantă atât pentru curentul de sarcină, cât și pentru tensiunea la bornele pilei de combustie [Rowe2001], [Srinivasan2002].

În diagrama bloc din Fig. 5.14 ecuațiile de difuzie a masei (A5.1) - (A5.13) din Anexa 5, sunt folosite pentru a calcula presiunile parțiale efective ale H_2 și O_2 . Apoi este utilizată ecuația Nernst (A5.20) și efectul de întârziere a oxidării și fluxului de combustibil, dat de (A5.22) pentru a determina potențialul intern (E) al pilei. Ecuațiile de cădere ohmică a tensiunii (A5.30) și (A5.31), ecuațiile căderilor de tensiune de activare (A5.27), (A5.28) și (3.29) și concentrare a căderilor de tensiune (A5.32) și (A5.33), împreună cu ecuațiile de încărcare în dublu-strat (A5.34.), sunt folosite pentru a determina tensiunea la bornele pilei de combustie. Sunt de asemenea luate în considerare efectele termodinamice prin intermediul ecuațiilor de bilanț (A5.36) - (A6.42).

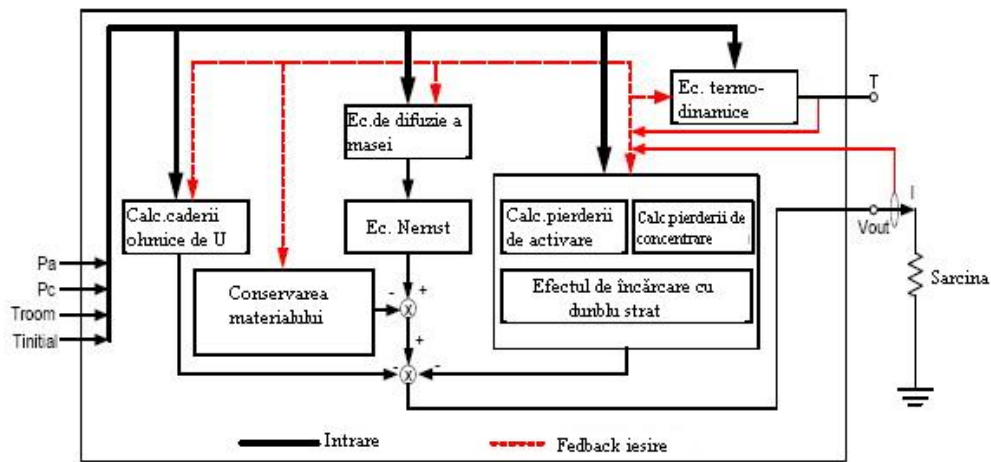


Fig. 5.14. Diagrama modelului construit în Matlab Simulink

5.2.3. Implementarea modelului matematic al PEMFC în Pspice

De obicei, pilele de combustie funcționează împreună cu alte dispozitive electrice cum ar fi convertoarele electronice de putere. Pspice [Pspice] este un mediu de simulare valoros folosit pentru a modela și investiga comportamentul dispozitivelor electronice și al circuitelor electrice. În Pspice, pentru a studia performanțele caracteristice ale unității de generare a pilei de combustie, poate fi folosit un model echivalent al pilei de combustie împreună cu modelele electrice ale altor componente. În Fig. 5.15 se prezintă o diagramă bloc pentru un astfel de model, pentru cazul pilelor de combustie PEMFC, bazat pe caracteristicile anterior discutate. În continuare este discutată dezvoltarea modelului circuitului electric pentru diferitele blocuri prezentate în Fig. 5.15.

5.2.3.1. Potențialul intern E

Conform relațiilor (A5.20) - (A5.26) din Anexa 5, potențialul intern este o funcție de curentul de sarcină și de temperatură. În Fig. 5.16 se prezintă un circuit electric pentru blocul de potențial intern. Sursa de tensiune controlată prin curent și temperatură $f_1(I, T)$ reprezintă partea dependentă de curent și de temperatură a relației (A5.20). Se subliniază faptul că presiunile parțiale efective ($p_{H_2}^*$ și $p_{O_2}^*$) sunt dependente de curent. Sursa de tensiune controlată prin curent $f_2(I)$, se referă la $E_{d,cell}$ din relația (A5.22).

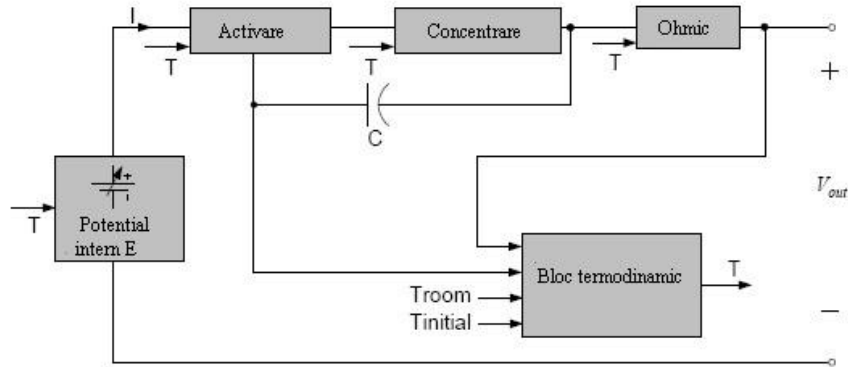


Fig. 5.15. Diagrama pentru a elabora un model electric al PEMFC în Pspice

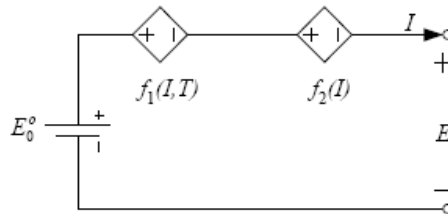


Fig. 5.16. Circuitul electric pentru potențialul intern E

5.2.3.2. Circuitul pentru pierderile de activare

Din relația (A5.28) căderea de tensiune de activare poate fi divizată în două părți: V_{act1} și V_{act2} . V_{act1} poate fi modelată printr-o sursă de tensiune constantă în serie cu o sursă de tensiune controlată prin temperatură. V_{act2} poate fi reprezentată printr-un rezistor dependent de temperatură și de curent R_{act} . Rezistorul se presupune că este format dintr-un rezistor cu valoare constantă (R_{act0}), un rezistor dependent de curent (R_{act1}) și un rezistor dependent de temperatură (R_{act2}). Un rezistor dependent de curent poate fi ușor modelat în Pspice folosind o sursă polinomială de tensiune cu limitare de curent „HPOLY”. Un rezistor dependent de temperatură, poate fi modelat în Pspice prin modele ABM (Analog Behavioral Models). Circuitul electric pentru determinarea căderilor de tensiune cauzate de activare este prezentat în Fig. 5.17. Conform acestei figuri și pe baza relației (A5.28) putem scrie:

$$f_3(T) = (T - 298) \cdot a ; \quad R_{act} = R_{act0} + R_{act1} + R_{act2} \quad (5.9)$$

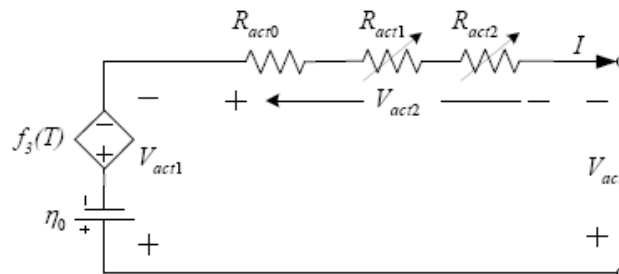


Fig. 5.17. Circuitul electric pentru determinarea pierderilor de activare

5.2.3.3. Circuitele pentru căderile de tensiune ohmice și de concentrație

Conform relațiilor (A5.30) - (A5.33), atât R_{ohm} cât și R_{conc} sunt rezistoare dependente de curent și de temperatură. Astfel acestea pot fi modelate în Pspice [Pspice] în aceeași manieră în care este modelată R_{act} . În Fig. 5.18 se prezintă circuitul echivalent pentru căderea de tensiune ohmică.

$$R_{ohm} = R_{ohm0} + R_{ohm1} + R_{ohm2} \quad (5.10)$$

R_{ohm0} este partea constantă a lui R_{ohm} , $R_{ohm1} = k_{RI} \cdot I$ reprezintă partea dependentă de curent și $R_{ohm2} = -k_{RT} \cdot T$ reprezintă partea dependentă de temperatură.

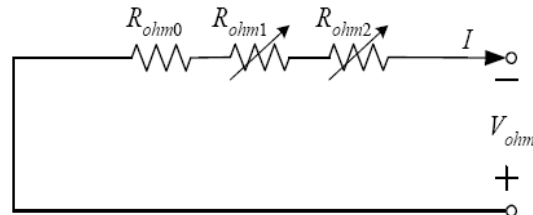


Fig. 5.18. Circuitul electric aferent căderilor de tensiune ohmice

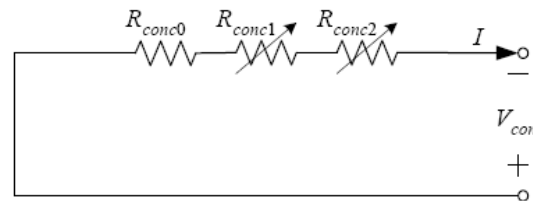


Fig. 5.19. Circuitul electric aferent căderii de tensiune de concentrație

În Fig. 5.19 se prezintă modelul circuitului electric pentru căderea de tensiune de concentrație:

$$R_{conc} = R_{conc0} + R_{conc1} + R_{conc2} \quad (5.11)$$

unde R_{conc0} este partea constantă a lui R_{conc} , iar R_{conc1} , R_{conc2} reprezintă părțile sale dependente de temperatură și de curent.

5.2.3.4. Efectul de încărcare al condensatorului cu dublu-strat

În Fig. 5.20, C reprezintă capacitatea echivalentă a încărcării cu dublu strat. Această capacitate poate fi estimată prin măsurarea răspunsului dinamic al unei pile de combustie reale. Fig. 5.20 reprezintă circuitul echivalent al efectului de încărcare în dublu strat, în interiorul unei PEMFC.

5.2.3.5. Blocul termodinamic

Analogiile între mărimile termodinamice și electrice, prezentate în Tabelul 5.5, sunt folosite la elaborarea modelului circuitului electric pentru blocul termodinamic prezentat în Fig. 5.20. Proprietatea termodinamică în interiorul pilei de combustie (A6.36) - (A5.43) poate fi de asemenea simulată prin circuitul prezentat în Fig. 5.21. Puterea consumată prin pierderile de activare, ohmice și concentrație, este considerată ca sursa de căldură care determină creșterea temperaturii pilei de combustie [Hatsopoulos1965].

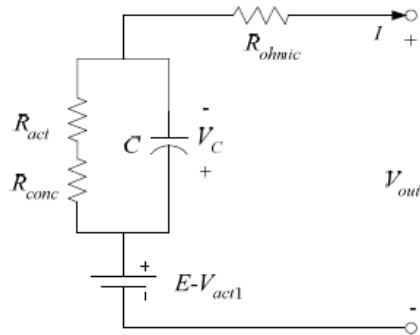


Fig. 5.20. Circuitul echivalent al efectului de încărcare în dublu strat în interiorul unei PEMFC

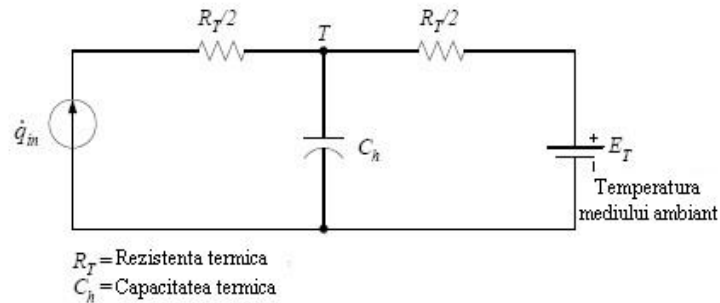


Fig. 5.21. Circuitul echivalent al proprietății termodinamice din interiorul PEMFC

$$\dot{q}_{in} = (E - V_{out}) \cdot I \quad (5.12)$$

Rezistența termică determinată de aerul de convecție:

$$R_T = \frac{1}{h_{cell} \cdot N_{cell} \cdot A_{cell}} \quad (5.13)$$

În Fig. 5.21 sursa cu tensiune constantă E_T reprezintă temperatura mediului, iar tensiunea pe condensatorul C_h reprezintă temperatura globală a pilei de combustie (T).

Tabelul 5.5. Echivalența între mărimile termodinamice și electrice

Potențialul electric U [V]	Temperatura T [K]
Curentul electric I [A]	Căldura debitată P_h [W]
Rezistența electrică R [Ω]	Rezistența termică θ [K/W]
Capacitatea electrică C [F]	Capacitatea termică [J/K]
$R \cdot I = U$	$\theta \cdot P_h = T$
$I = C \cdot \frac{dU}{dt}$	$P_h = C_h \cdot \frac{dT}{dt}$

5.2.3.6. Validarea modelului

Pe baza ecuațiilor și a circuitelor electrice echivalente prezentate, au fost elaborate modele pentru pila de combustie SR-12 PEMFC, atât în mediul Pspice [Pspice], cât și în Matlab Simulink [MathWork]. Caracteristicile pilei de combustie SR-12 sunt prezentate în Tabelul 5.6. Valorile parametrilor modelului electric folosit pentru simulări sunt date în Tabelul 5.7.

Tabelul 5.6. Caracteristicile pilei SR-12

Descrierea	Valoarea
Capacitatea	500 W
Numărul de celule	48
Temperatura mediului în care funcționează	5° C până la 35° C
Presiunile de funcționare*	$p_{H_2} \approx 1.5 \text{ atm}$ $p_{catod} \approx 1.0 \text{ atm}$
Dimensiuni (L x D x I)	56.5 x 61.5 x 34.5 cm
Greutate	44 kg

* Hidrogenul pur 99.95% circulă la un colector de aproximativ 7 psi. Aerul înconjurător este circulat cu ajutorul ventilatoarelor de care dispune SR-12, pentru a trece prin catod cu scopul de a produce oxigen.

Tabelul 5.7. Valorile parametrilor modelului electric pentru pila SR-12

E_0^0 [V]	58.9	C_h [F]	2200
k_E [V/K]	0.00085	R_T [Ω]	0.0347
τ_e [s]	80	C [F]	0.1 F (4.8 F pentru fiecare celulă)
λ_e [Ω]	0.00333	R_{ohm0} [Ω]	0.2793
η_0 [V]	20.145	R_{ohm1} [Ω]	$0.001872 \cdot I$
a [V/K]	-0.1373	R_{ohm2} [Ω]	$-0.0023712 \cdot (T - 298)$
R_{act0} [Ω]	1.2581	R_{conc0} [Ω]	0.080312
R_{act2} [Ω]	$0.00112 \cdot (T - 298)$	R_{conc2} [Ω]	$0.0002747 \cdot (T - 298)$
R_{act1} [Ω]	$-1.6777 \cdot 10^{-6} \cdot I^5 + 1.2232 \cdot 10^{-4} \cdot I^4$ $-3.4 \cdot 10^{-3} \cdot I^3 + 0.04545 \cdot I^2 - 0.3116 \cdot I$		
R_{conc1} [Ω]	$5.2211 \cdot 10^{-8} \cdot I^6 - 3.4578 \cdot 10^{-6} \cdot I^5 + 8.6437 \cdot 10^{-5} \cdot I^4$ $-0.010089 \cdot I^3 + 0.005554 \cdot I^2 - 0.010542 \cdot I$		

5.2.4. Studiu experimental Wang

Pentru a valida modelele dezvoltate în Matlab Simulink și Pspice, au fost măsurate date reale de intrare și de ieșire în cazul pilei de combustie 500 W SR-12 Avista Labs [Wang2001], [Wang2003], [Wang2006]. Diagrama bloc experimentală este prezentată în Fig. 5.22. Sarcina electronică programabilă Chroma 63112 a fost utilizată ca sarcină curentă. Curentul a fost măsurat de traductoarele LEM LA100-P; tensiunea la borne a fost măsurată de către un traductor de tensiune LEM LV25-P și temperatura a fost măsurată printr-o termocuplă tip k împreună cu un conector analog. Datele referitoare la curenți, tensiuni și temperaturi au fost toate achiziționate printr-o placă de achiziție pe 12 biți Advantech.

5.2.4.1. Caracteristicile regimului permanent de funcționare

Au fost obținute prin creșterea curentului de sarcină de la 1.1 A la 20.5 A, în pași de 0.2 A la fiecare 40 s. Au fost măsurate atât curentul prin pilă, cât și curentul la borne Fig. 5.23, dar numai curentul absorbit de pilă este folosit pentru a valida modelele. În Fig. 5.23 se prezintă valoarea medie experimentală a curbei V-I a pilei de combustie. În Fig. 5.23 sunt de asemenea prezentate răspunsul regimului permanent de funcționare al modelelor în Simulink și Pspice, cu scopul de a le compara cu datele experimentale. Atât răspunsul în mediul Simulink și Pspice corespund foarte bine cu datele reale ale pilei de combustie. Căderea de tensiune la începutul și sfârșitul curbelor prezentate în Fig. 5.23, se datorează activării și concentrării pierderilor. Căderea de

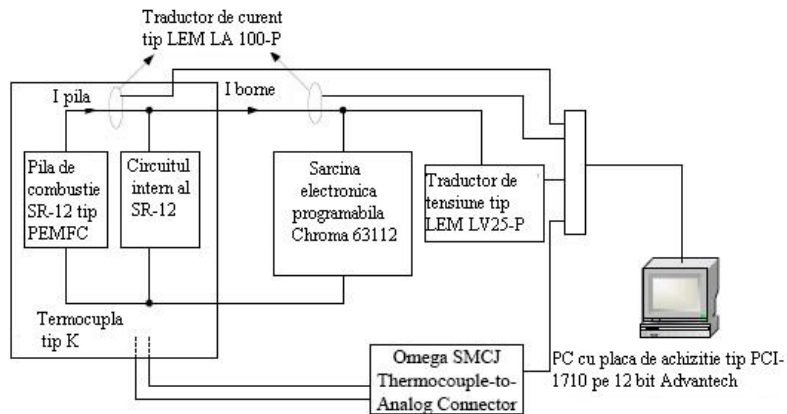


Fig. 5.22. Configurația standului experimental pentru pila PEMFC SR-12

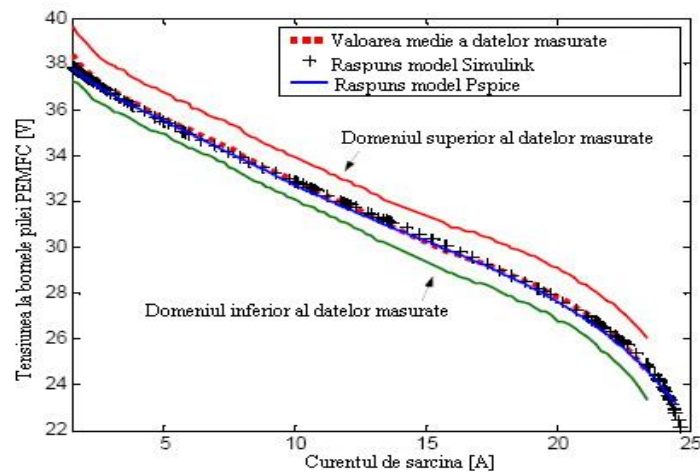


Fig. 5.23. Caracteristicile V-I pentru SR 12 și modele

tensiune la mijlocul curbelor (care sunt aproximativ lineare) se datorează pierderilor ohmice în pila de combustie.

Fig. 5.24 prezintă dependența putere-curent ($P-I$) a pilei de combustie, obținută din datele experimentale și din modele. Răspunsurile modelului se potrivesc de asemenea bine cu datele experimentale în acest caz. Se subliniază faptul că puterea de vârf la borne este în urma ieșirii nominale a pilei de combustie, caz în care pila „trece” în zona de concentrare. În această regiune, puterea la borne va scădea cu creșterea curentului de sarcină, datorită unei scăderi bruște a tensiunii la borne.

5.2.4.2. Răspunsul la temperatură

În Fig. 5.25 se prezintă răspunsul la temperatură în cazul pilei PEMFC, care a fost măsurat în cazul aceluiași curent de sarcină. Temperatura a fost măsurată variind curentul de la 1.1 A la 20.5 A, cu o viteză de 5 mA/s. În Fig. 5.25 sunt de asemenea prezentate răspunsul temperaturii în cazul modelelor Simulink și Pspice, pentru comparație cu valorile măsurate. Deși există unele diferențe între răspunsurile modelelor și datele măsurate, modelele pot prezice răspunsul temperaturii pilei de combustie cu 3.5 K în cel mai rău caz.

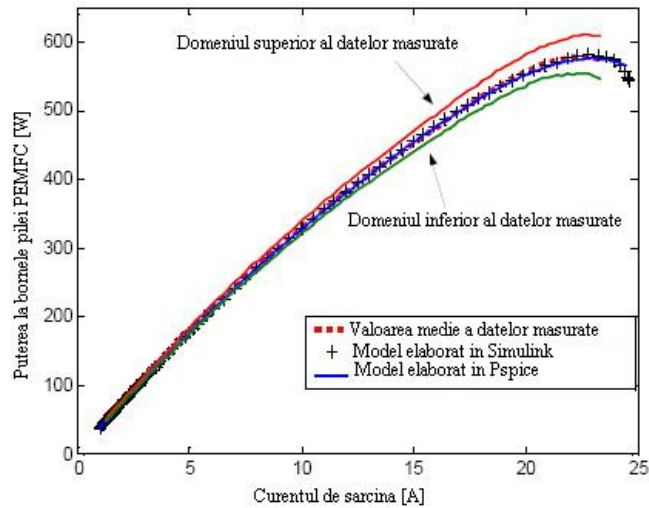


Fig. 5.24. Caracteristicile P-I pentru SR 12 și modele

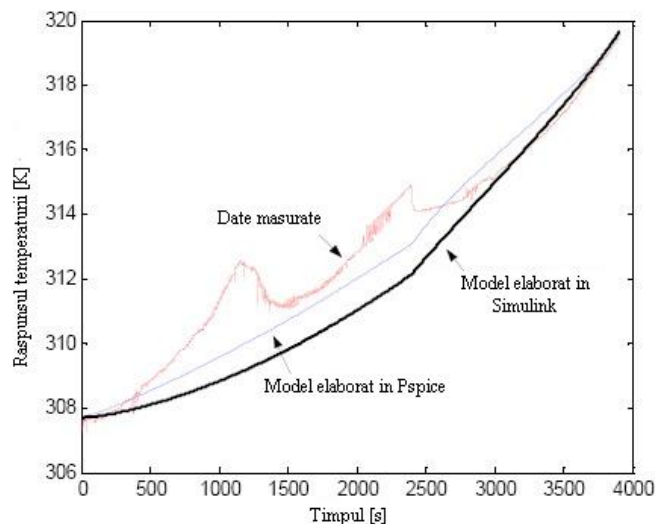


Fig. 5.25. Răspunsurile temperaturii pilei SR 12 și modelelor

5.2.4.3. Performanța tranzitorie

Proprietățile dinamice ale pilei PEMFC depind în principal de următoarele 3 aspecte: efectele de încărcare în dublu-strat, de întârziere a circulației combustibilului și a oxidantului și caracteristicile termodinamice din interiorul pilei. Deși capacitatea (C) datorată efectului de încărcare în dublu-strat este mare (de ordinul a câtorva F pentru fiecare celulă), constanta de timp $\tau = (R_{act} + R_{conc}) \cdot C$ este de obicei mică (mai puțin de 1 secundă), deoarece $(R_{act} + R_{conc})$ este mică (mai puțin de 0.05 Ω pentru o singură celulă) când pila de combustie funcționează în zona liniară. De aceea, condensatorul C va afecta răspunsul tranzitoriu al pilei de combustie PEMFC într-un domeniu de timp

scurt. În Fig. 5.26 se prezintă răspunsurile tranzitorii ale modelelor la o schimbare bruscă de sarcină. Se subliniază faptul că în momentul în care curentul de sarcină crește, tensiunea scade brusc la anumite valori datorită căderii de tensiune de-a lungul R_{ohm} și apoi scade exponențial la valoarea sa din regimul staționar datorită condensatorului C.

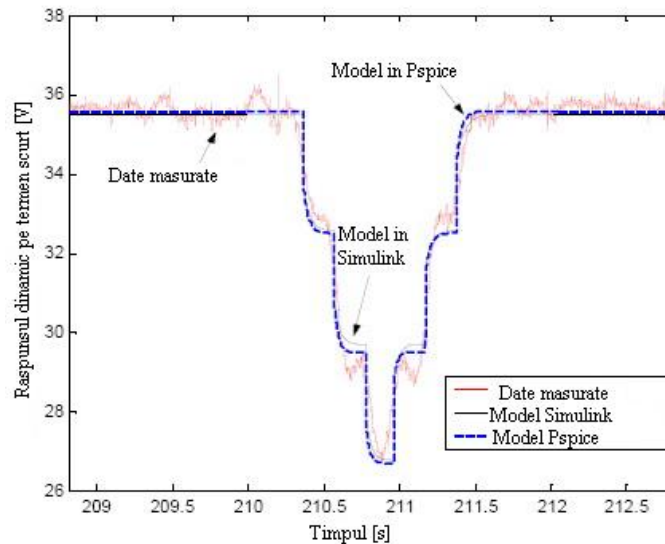


Fig. 5.26. Răspunsurile tranzitorii ale modelelor în domeniu scurt de timp

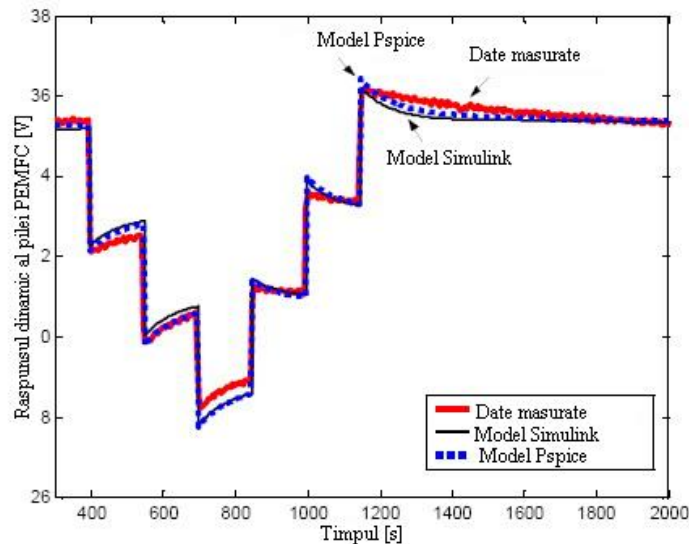


Fig. 5.27. Răspunsurile tranzitorii ale modelelor în domeniu lung de timp

Pe de altă parte circulația combustibilului și a oxidantului nu pot urma schimbările curentului de sarcină instantaneu. Întârzierile pot fi în domeniul a câtorva zecimi de secundă, până la câteva sute de secunde. De asemenea, temperatura pilei de combustie nu se poate schimba instantaneu. Constanta de timp termodinamică a PEMFC poate

fi de ordinul minutelor. Astfel fluxul de combustibil și de oxidant sunt întârziate și caracteristicile termodinamice vor domina răspunsurile tranzitorii la funcționarea pe termen lung. În Fig. 5.26 se prezintă răspunsurile modelelor Pspice și Simulink. Se observă din această figură căderea de tensiune sub valoarea de regim staționar, când sarcina s-a mărit și revine la valoarea sa de regim staționar într-un domeniu de timp lung (de ordinul a câtorva sute de secunde, până la câteva minute). După cum reiese din Fig. 5.26 și Fig. 5.27, rezultatele simulărilor corespund cu datele măsurate.

5.2.5. Model dinamic simplificat al PEMFC

5.2.5.1. Justificarea modelului

Pentru analiza regimurilor tranzitorii ale circuitelor electrice secundare din stațiile electrice de interconexiune din sistem, nu este recomandabilă utilizarea unui model complet al PEMFC din următoarele motive [Ardelean2008b]:

- scopul urmărit este de a cunoaște variația curentului debitat de pila de combustie și a tensiunii la bornele ei, atunci când în circuitele secundare apar variații importante și rapide ale sarcinii, modificări cauzate de pornirea unor consumatori rotativi, de posibile scurt-circuite nedorite, care sunt deconectate rapid de către echipamentul de protecție al circuitelor secundare. În aceste condiții, regimul tranzitoriu, deși important, este de scurtă durată, după care pila de combustie revine în regim staționar;
- modelul trebuie să fie relativ simplu, cu parametri ușor de determinat pe cale experimentală și să se adreseze doar fenomenelor electrice tranzitorii;
- datele obținute prin simulări vor fi folosite pentru aprecierea comportării PEMFC și a aparatajului din circuitele secundare în condiții de lucru dificile, care se încheie întotdeauna prin revenirea la regimul permanent normal de funcționare a serviciilor auxiliare din stație.

Modelul propus se dorește a fi o sinteză și în același timp o simplificare a modelelor descrise în literatura de specialitate, care să îndeplinească următoarele cerințe:

- parametri săi să poată fi stabiliți simplu, fie din datele existente în literatura de specialitate, fie pe cale experimentală, prin teste simple de laborator, urmate de un volum nu prea mare de calcule;
- să înglobeze logic și pe această cale să poată explica principalele fenomene care se petrec în PEMFC;
- să furnizeze rapid și cu o precizie mulțumitoare, de ordinul a câtorva procente, dinamica mărimilor electrice ale pilei, adică tensiunea la borne și a curentului furnizat.

5.2.5.2. Ipoteze simplificatoare adoptate

Din analiza scopurilor prezentate, pentru care modelul PEMFC este construit și a rezultatelor simulărilor din literatura de specialitate, se acceptă ca adevărate următoarele ipoteze [Kortum1965]:

1. Temperatura de funcționare a pilei este constantă. Regimul tranzitoriu are o durată scurtă (câteva secunde) care în comparație cu constantele de timp ale proceselor termice - minute - face ca pe perioada analizată, variația de temperatură a pilei să poată fi neglijată. Mai mult, pilele de combustie cu membrană schimbătoare de protoni, utilizând ca și combustibil hidrogenul, pe de o parte funcționează la temperaturi joase (zeci °C), cu variații mici de temperatură și pe de altă parte, influența variațiilor mici de temperatură asupra parametrilor electrice ai pilei este extrem de scăzută. Se apreciază că erorile introduse de ipoteza temperaturii de lucru constante, sunt de ordinul a 1-2%.

2. Presiunea reactanților din pilă este constantă în timp, indiferent de sarcina pilei. În realitate ea poate varia în limite restrânse (zecimi de bar) și acest lucru este posibil numai la pilele de combustie dotate cu reglajul automat al presiunii. Mai mult, variația parametrilor electrici ai pilei cu presiunea, este sub câteva %.
3. Scopul urmărit de model nu presupune cunoașterea evoluției parametrilor combustibilului folosit de pilă (hidrogenul). Fenomenele de transport a masei, de difuzie a gazelor și cele referitoare la răcirea pilei, vor fi neglijate.

5.2.5.3. Descrierea modelului considerat

Pentru circuitele electrice secundare ale stației, rolul pilei de combustie este de a fi sursa de energie, furnizând energia electrică necesară consumatorilor SP ale stației. Din punct de vedere al Teoriei circuitelor electrice, modelul cel mai convenabil de folosit, este generatorul echivalent de tensiune (generatorul Thevenin), caracterizat prin cei 2 parametri ai săi: tensiunea electromotoare și rezistența internă. Acest model standard este adaptat pentru fenomenele tranzitorii din pila de combustie. Este vorba despre:

- inerția cauzată de prezența sarcinilor electrice ca urmare a potențialului de polarizare și de concentrare. Variația în timp a tensiunii la borne la o întrerupere bruscă a sarcinii, prezentată în Fig. 5.28, remarcă existența a două componente:
- $V_R = R_{ohm} \cdot I_{sarc}$ corespunde variației cauzată de dispariția bruscă a sarcinii I_{sarc} și deci a pierderii de tensiune pe rezistența ohmică internă a pilei;
- V_a este saltul de tensiune ca urmare a reducerii, la mers în gol a polarizării. Această variație este similară cu aceea a încărcării lente a unui condensator de capacitate C .

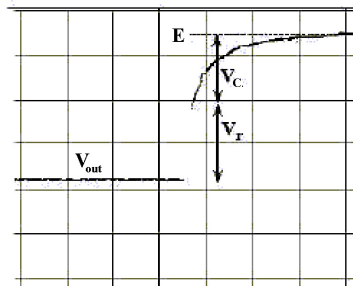


Fig. 5.28. Variația tensiunii la bornele pilei de combustie la pierderea sarcinii

Transformata Laplace a ecuației care descrie această componentă este:

$$V_C(s) = \frac{(R_{act} + R_{conc})}{\tau_c \cdot s + 1} \cdot I(s) \quad (5.14)$$

Variația tensiunii pe condensator la o treaptă unitară a curentului de sarcină a cărui imagine este I_{sarc}/s , rezultă de forma:

$$V_C = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_c}} \right) \cdot (R_{act} + R_{conc}) \cdot I_{sarc} \quad (5.15)$$

unde: $\tau_e = (R_{act} + R_{conc}) \cdot C$ este constanta de timp a circuitului $(R_{act} + R_{conc}) \cdot C$ exprimată în (s); R_{act} este rezistența în (Ω) corespunzătoare polarizării de activare; R_{conct} este rezistența în [Ω] corespunzătoare polarizării de dispersie.

- dinamica produsă de variația mărimilor neelectrice (debitele și presiunile combustibilului și oxidantului, temperatura pilei) asupra t.e.m. și a rezistenței interne a pilei. Această dinamică poate fi reprezentată prin considerarea unei t.e.m. E_d a cărei lege de variație este de tipul derivativ cu întârziere, care în transformarea Laplace are expresia:

$$E_d(s) = \lambda_e \cdot \frac{\tau_e \cdot s}{\tau_e \cdot s + 1} \cdot I(s) \quad (5.16)$$

unde: λ_e – factor constant de amplificare [Ω]; τ_e – constanta de timp totală a proceselor [s].

Variația t.e.m. E_d la o treaptă unitară a curentului de sarcină a cărui imagine este I_{sarc}/s , rezultă de forma:

$$E_d = \lambda_e \cdot e^{-\frac{t}{\tau_e}} \cdot I_{sarc} \quad (5.17)$$

În primul moment ($t=0_+$) t.e.m. dinamică are valoarea $E_{d0+} = \lambda_e \cdot I_{sarc}$. Această valoare scade exponențial în timp cu constanta de timp τ_e .

Conform legii a II-a a lui Kirchhoff și legii lui Ohm, tensiunea la bornele pilei de combustie are expresia:

$$V_{out} = E - E_d - V_C - R_{ohm} \cdot I \quad (5.18)$$

T.e.m. a pilei este diferența dintre potențialul reversibil al pilei E_{cell} calculat cu relația lui Nernst (3.20) $E_{cell} \approx 1.23$ [V] și componenta constantă a potențialului de activare V_{act1} :

$$E = E_{cell} - V_{act1} \quad (5.19)$$

Valoarea lui E poate fi măsurată în regimul de mers în gol al pilei.

Atunci când o pilă de combustie produce energie pe o sarcină electrică, se constată că tensiunea la bornele ei V_{out} scade sub valoarea E_{cell} corespunzătoare funcționării reversibile - egală cu tensiunea electromotoare la mersul în gol calculată cu relația lui Nernst pe baza funcției lui Gibbs. Scăderea tensiunii reflectă o scădere a randamentului pilei de combustie și se datorează *fenomenelor de polarizare* care apar la electrozii pilei. Reacțiile chimice sunt fenomene ireversibile, care conduc la generare de entropie și deci la apariția unei degajări de căldură. Cu cât polarizarea pilei este mai mare, cu atât căldura degajată în pilă va fi mai mare și randamentul ei mai scăzut. Dacă sarcina electrică a pilei are o valoare suficient de mare, atunci cantitățile de reactanți (combustibil și respectiv aer) care vin în contact cu electrolitul sunt insuficiente și prin urmare viteza de reacție scade atât de mult încât reacțiile chimice se opresc, tensiunea electromotoare dispare și pila se blochează complet, manifestându-se fenomenul de *polarizare totală* a pilei de combustie; așa cum se va constata din cele prezentate mai jos ea este cauzată de polarizarea de concentrație.

Polarizarea depinde de valoarea sarcinii electrice la care este supusă pila. Cauzele care determină polarizarea pilei sunt multiple și în funcție de ele se disting 3 tipuri principale de polarizare, prezentate în detaliu în paragraful 4.2.2.15:

- polarizarea de activare;
- polarizarea de concentrație;
- polarizarea ohmică.

Relația dintre polarizare și densitatea de curent (intensitatea curentului raportată la suprafața electrodului) este complexă, în special atunci când sunt prezente interacțiuni

dintre diversele tipuri de polarizări. De aceea, în primă aproximație, este suficientă considerarea independentă a diferitelor tipuri de polarizare pentru a stabili caracteristicile esențiale ale polarizării electrozilor. Așa cum se observă din Fig. 4.19, pentru anumite domenii ale densității de curent este posibilă identificarea genului de polarizare determinant: polarizarea de activare predomină la densități de curent mici, polarizarea ohmică la densități de curent mijlocii și polarizarea de concentrație la densități de curent mari. Schema echivalentă a pilei de combustie în regim tranzitoriu este prezentată în Fig. 5.29:

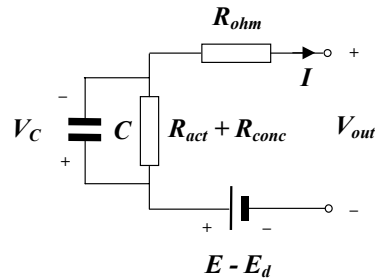


Fig. 5.29. Schema echivalentă a pilei de combustie în regim dinamic.

În cazul unei baterii formate prin inserierea sub formă de stivă unui număr de N_{cell} celule identice, tensiunea la bornele la bornele bateriei se obține din însumarea tensiunilor la bornele tuturor celulelor care alcătuiesc bateria:

$$V_{bat} = N_{cell} \cdot V_{out} \quad (5.20)$$

5.2.5.4. Condițiile inițiale și finale

Condițiile inițiale, corespunzătoare regimului anteperturbație la $t = 0$ ($s = \infty$), pentru $I_0 = I(t = 0)$ sunt:

$$V_{C_0} = V_C(t = 0) = (R_{act} + R_{conc}) \cdot I_0 \quad (5.21)$$

$$E_{d_0} = E_d(t = 0) = 0 \quad (5.22)$$

$$V_{out_0} = V_{out}(t = 0) = E - (R_{ohm} + R_{act} + R_{conc}) \cdot I_0 \quad (5.23)$$

Condițiile finale, corespunzătoare regimului postperturbație la $t = \infty$ ($s = 0$), pentru $I_\infty = I(t = \infty)$ sunt:

$$V_{C_\infty} = V_C(t = \infty) = (R_{act} + R_{conc}) \cdot I_\infty \quad (5.24)$$

$$E_{d_\infty} = E_d(t = \infty) = 0 \quad (5.25)$$

$$V_{out_\infty} = V_{out}(t = \infty) = E - (R_{ohm} + R_{act} + R_{conc}) \cdot I_\infty \quad (5.26)$$

Condițiile corespunzătoare imediat după apariția perturbației la $t = 0_+$, pentru $I_{0_+} = I(t = 0_+)$ sunt:

$$V_C(t = 0_+) = (R_{act} + R_{conc}) \cdot I_0 \quad (5.27)$$

$$E_{d_0} = E_d(t = 0_+) = \lambda_e \cdot I(t = 0_+) \approx \lambda_e \cdot I_0 \quad (5.28)$$

$$V_{out_{0_+}} = V_{out}(t = 0_+) = E - (R_{ohm} + R_{act} + R_{conc}) \cdot I_0 - \lambda_e \cdot I_0 \quad (5.29)$$

Se constată următoarele:

- În modelul dinamic simplificat al pilei de combustie pentru studiul regimurilor tranzitorii, în conformitate cu relația lui Kim, rezistențele de polarizare de activare și de concentrație sunt funcții neliniare de curentul prin debitat de pilă;
 - Există două componente tranzitorii ale tensiunii la borne, care se petrec cu viteze mult diferite și anume:
 - una cauzată de fenomenele de polarizare din pilă, care frânează atingerea valorilor stabilizate finale cu constanta de timp τ_C ;
 - cealaltă cauzată de schimbări ale parametrilor legați de reacțiile chimice (debitele de gaze, presiunile lor, temperatura pilei). Constanta medie, globală de timp cu care se amortizează șocul inițial cauzat de aceste variații este τ_e și este de ordinul zecilor de secunde. Mărimea șocului inițial, parametrul λ_e depinde de caracteristicile pilei și este echivalent aproximativ cu câteva procente (zecimi de procent) din șocul produs de variația curentului debitat de pilă.
 - Dacă fenomenele de polarizare nu se simt la variația încărcării pilei, ceea ce este valabil pentru valori medii ale curenților pila de combustie aproximează suficient de exact generatorul echivalent de tensiune cu parametrii constanți. Dacă în plus, debitele de combustibil și oxidant, presiunile gazelor și ca urmare temperatura în pilă se modifică, atunci parametrii pilei, chiar pentru sarcini medii nu mai sunt constanți în timp și după o variație a lor tind să se stabilizeze. Tensiunea de la borne suferă un salt, după care se stabilizează după $(6 \div 8) \cdot \tau_e$.
- În final, pe baza schemei echivalente se poate concluziona că o pilă de combustie se comportă ca o sursă de tensiune cu:
- rezistența internă variabilă funcție de sarcină, variația fiind pronunțată la sarcinile mici și la sarcinile mari;
 - tensiunea electromotoare a pilei este variabilă atunci când parametrii termodinamici ai pilei se modifică, dar variațiile sunt destul de mici, de ordinul procentelor;
 - tensiunea la bornele pilei de combustie prezintă o inerție față de modificarea sarcinii ca urmare a fenomenului de polarizare a pilei.

5.2.5.5. Determinarea experimentală a parametrilor modelului

Se constată că dacă unul din cele două regimuri, inițial sau final, corespunde mersului în gol al pilei de combustie $I_{sarc} = I_{gol} = 0$, atunci tensiunea de mers în gol la bornele pilei este chiar tensiunea electromotoare $V_{out_{gol}} = E$. Această observație este utilă pentru determinarea experimentală a ei. Trebuie menționat că valoarea măsurată experimental diferă de valoarea calculată pe baza relației lui Nernst ca urmare a polarizării de activare, prezența componentei V_{act1} .

Rezistențele interne ale pilei — ohmică, de polarizare de activare și respectiv de concentrare — se determină ridicând experimental caracteristica de sarcină a pilei, urmată de o stabilire printr-un calcul de regresie liniară a coeficienților relației lui Kim, așa cum s-a prezentat deja.

Pentru stabilirea capacității C , respectiv a constantei de timp τ_C , a factorului de amplificare λ_e se folosește identificarea pe baza răspunsului sistemului la semnal treaptă unitară. Tot prin variație treaptă a parametrilor termodinamici a pilei se poate aprecia și constanta de timp τ_e .

S-au determinat parametrii modelului bateriei de pile de combustie descrisă în [Balkin2002].

5.2.5.6. Simulare folosind mediul de lucru Simnon

Simnon este un mediu de lucru extrem de util pentru simularea sistemelor discrete și continue [Simnon]. Simnon, versiunea pentru Windows, permite:

- rezolvarea de ecuații diferențiale și sisteme de ecuații diferențiale ordinare, cu utilizarea următoarelor tehnici numerice de soluționare;
 - Runge-Kutta-Fehlberg de ordinul 4 (cu pas variabil și pas fix);
 - Euler;
 - Dormand-Prince de ordinul 4;
- simularea sistemelor dinamice interconectate;
- până la 10000 de stări;
- până la 100 de subsisteme;
- până la 50 de întâzieri de timp;
- până la 50 de funcții tabelare;
- până la 32 de variabile care pot fi reprezentate grafic;
- până la 100 variabile memorate;
- numărul de puncte memorate este limitat doar de spațiul de pe disc;
- simulare în timp real;
- transfer de date dinamic DDE (Dynamic Data Exchange);
- module de dezvoltare incluse în mediul de simulare care pot fi utilizate în timpul rulării aplicației.

Implementarea interactivă ușurează controlul operatorului asupra sistemului. Acesta se face prin introducerea unor comenzi de la tastatură. Modelul matematic este descris prin ecuații diferențiale și algebrice ce se editează direct de la tastatură. Rezultatele sunt afișate pe ecranul monitorului sub forma de grafice sau sunt păstrate sub forma numerică. Descrierile sistemelor, parametrii și condiții inițiale pot fi modificate interactiv. De asemenea, mărimile de afișat ca și aspectul grafic pot fi specificate conform necesităților. Operațiile de bază sunt definite printr-un set de numai 6 comenzi la care se adaugă circa 40 auxiliare. Setul de comenzi poate fi extins prin crearea de proceduri utilizator.

Simnon nu permite simulări în următoarele domenii:

- a) ecuații cu derivate parțiale;
- b) analize în domeniul frecvență;
- c) calcul matricial;
- d) identificarea sistemelor;
- e) sisteme continue cu timp mort.

Pentru aceste domenii se recomandă folosirea Matlab-ului [MatWorks].

Pentru testare s-a folosit modelul dinamic simplificat al PEMFC, descris pentru pila de combustie PEMFC în [Balk]. Caracteristicile acestei pile sunt următoarele:

- număr de celule montate în serie $N = 32$;
- caracteristica de sarcină conform Fig. 5.30.

Pentru determinarea expresiei analitice a caracteristicii de sarcină s-a folosit metodologia descrisă anterior implementată în MathCad [Mathsoft]. Mersul calculului este prezentat în Anexa A6. Expresia analitică rezultată este:

$$V_{out} = 0.868991 - 0.028608 \cdot \ln(I) - 3.421743 \cdot 10^{-3} \cdot I + 0.142837 \cdot \ln\left(1 - \frac{I}{29}\right) \quad (5.30)$$

valorile determinate experimental sunt prezentată în Fig. 5.31.

Expresiile celor trei componente ale căderilor de tensiune interne în regim staționar pentru oricare din celulele care formează din pila de combustie sunt:

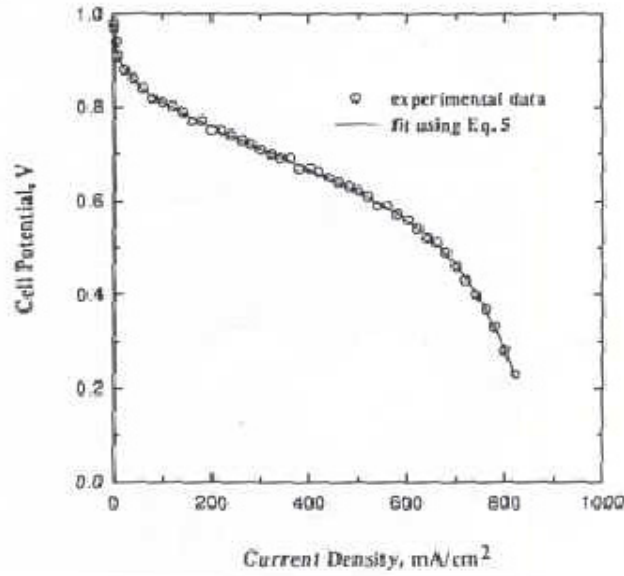


Fig. 5.30. Caracteristica de sarcină

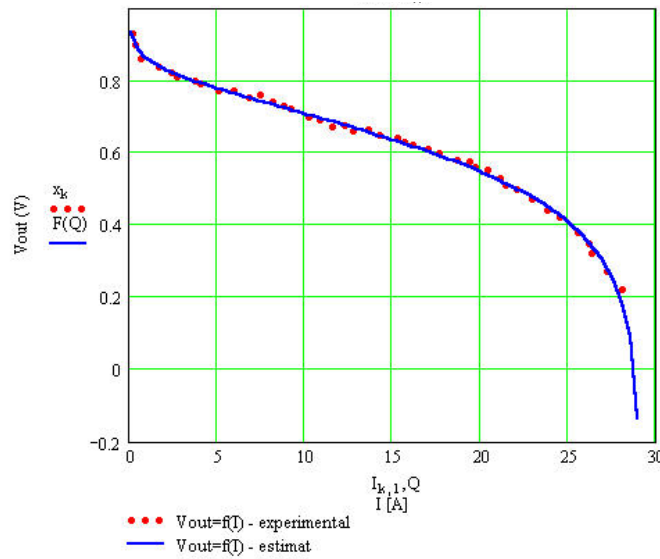


Fig. 5.31. Caracteristica de sarcină experimentală și estimată

$$\begin{aligned}
 V_{act} &= V_{act1} + V_{act2} \\
 V_{act1} &= 0.361009 \\
 V_{act2} &= 0.028608 \cdot \ln(I) \\
 V_{ohm} &= 3.421743 \cdot 10^{-3} \cdot I \\
 V_{conc} &= -0.142837 \cdot \ln\left(1 - \frac{I}{29}\right)
 \end{aligned}
 \tag{5.30}$$

În regim permanent normal, tensiunea la bornele bateriei este dată de:

$$\begin{aligned} V_{out} &= E - V_{act2} - V_{ohm} - V_{conc} \\ E &= 0.98 \text{ V} \end{aligned} \quad (5.31)$$

Curbele corespunzătoare sunt prezentate alăturat în Fig. 5.32.

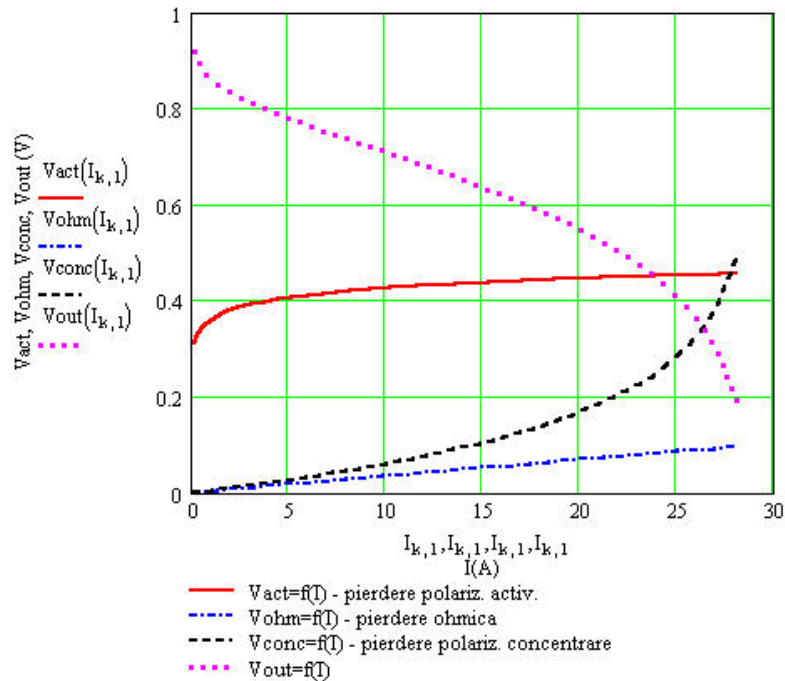


Fig. 5.32. Curbele de polarizare

Folosind datele din [Wang] s-au estimat următorii parametrii pentru pila de combustie de 500 W considerată:

$$\begin{aligned} \lambda_e &= 0.00333 \Omega \\ C &= 5 \text{ F} \\ \tau_e &= 50 \text{ s} \end{aligned} \quad (5.32)$$

Modelului matematic considerat a fost implementat în Simnon.

Au fost analizate următoarele regimuri dinamice:

1. Încărcare treaptă unitate, sarcina inițială 2 A sarcina finală 20 A. Rezultatele sunt prezentate mai jos. Examinând cele două figuri (Fig. 5.33 și Fig. 5.34) se constată prezența componentei dinamice, datorate:
 - polarizării care se amortizează în 0.3 s, amplitudinea componentei Vc este de 7 V;
 - modificărilor parametrilor termodinamici ai pilei ca urmare a schimbării punctului de funcționare. Această componentă Ed se amortizează în 400 s, amplitudinea componentei este de 1,9 V. Diferența (26,6 – 15,9 = 10,7 V) este completată de pierderea de tensiune pe rezistența ohmică (1,7 V), ce poate fi calculată ca produsul dintre rezistență 0,1Ω și saltul de curent de 18 A.

2. Variație în trepte a încărcării. Rezultatele simulării sunt prezentate în Fig. 5.33, 5.34 și 5.35 și ele relevă următoarele aspecte:

- sarcina în trepte are un trend atât crescător cât și coborât;
- tensiunea la bornele pilei variază în mare tot în trepte dar la creșterea sarcinii tensiunea scade iar la scăderea sarcinii tensiunea crește

Componenta tensiunii la borne corespunzătoare inerției polarizării nu poate fi observată pe grafic deoarece timpul în care se amortizează aceasta e mult mai mic decât scara de timp la care sunt prezentate fenomenele tranzitorii. În schimb se observă componenta dinamică cauzată de variația punctului de funcționare care se amortizează cu constante de timp de ordinul 50 s. Contribuția acestei componente face ca variația tensiunii la borne să difere puțin față de variația în trepte a curentului. Contribuția cauzată de această componentă este 20% din variația tensiunii la borne a pilei, între regimurile inițiale și finale ale procesului tranzitoriu.

Rezultatele obținute sunt absolut în concordanță cu cele prezentate în [Wang].

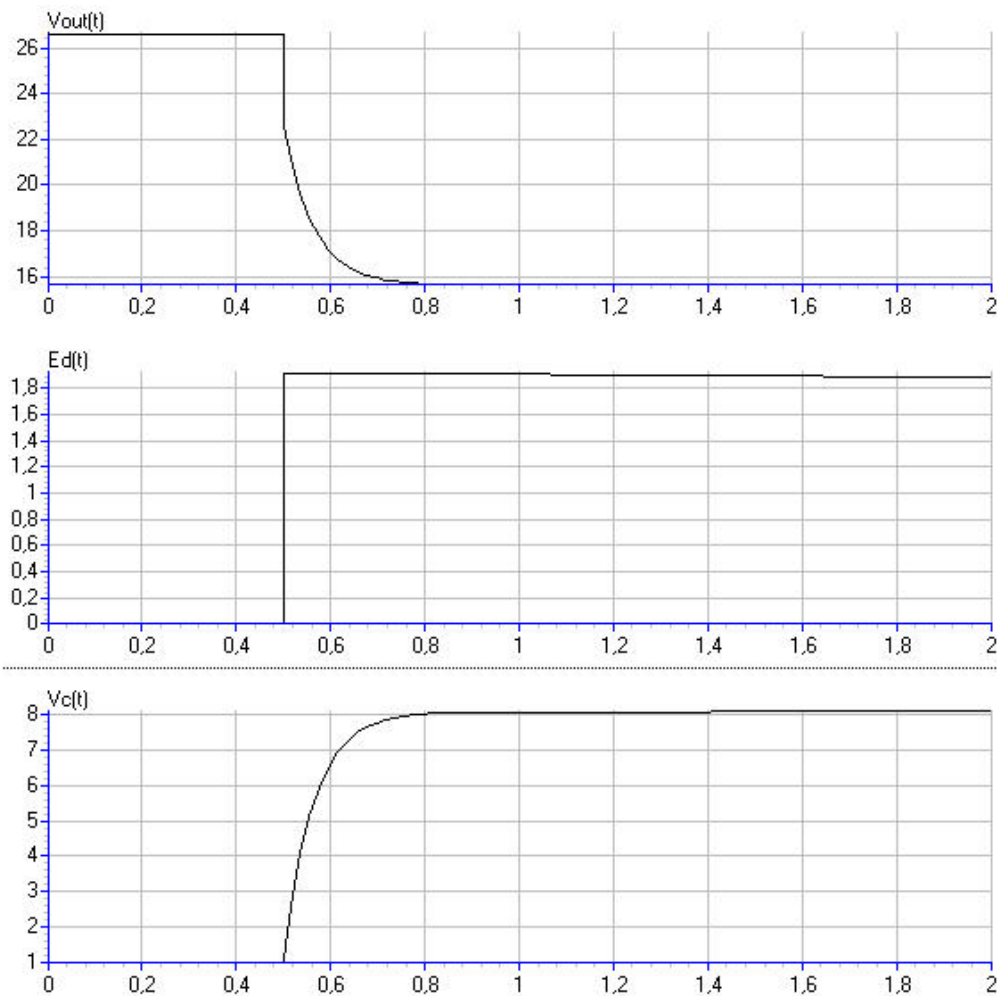


Fig. 5.33. Variația pe durată scurtă de timp a tensiunilor la borne V_{out} , dinamice E_d și pe condensator V_c (semnal treaptă de amplitudine 18 A; regim inițial 2 A)

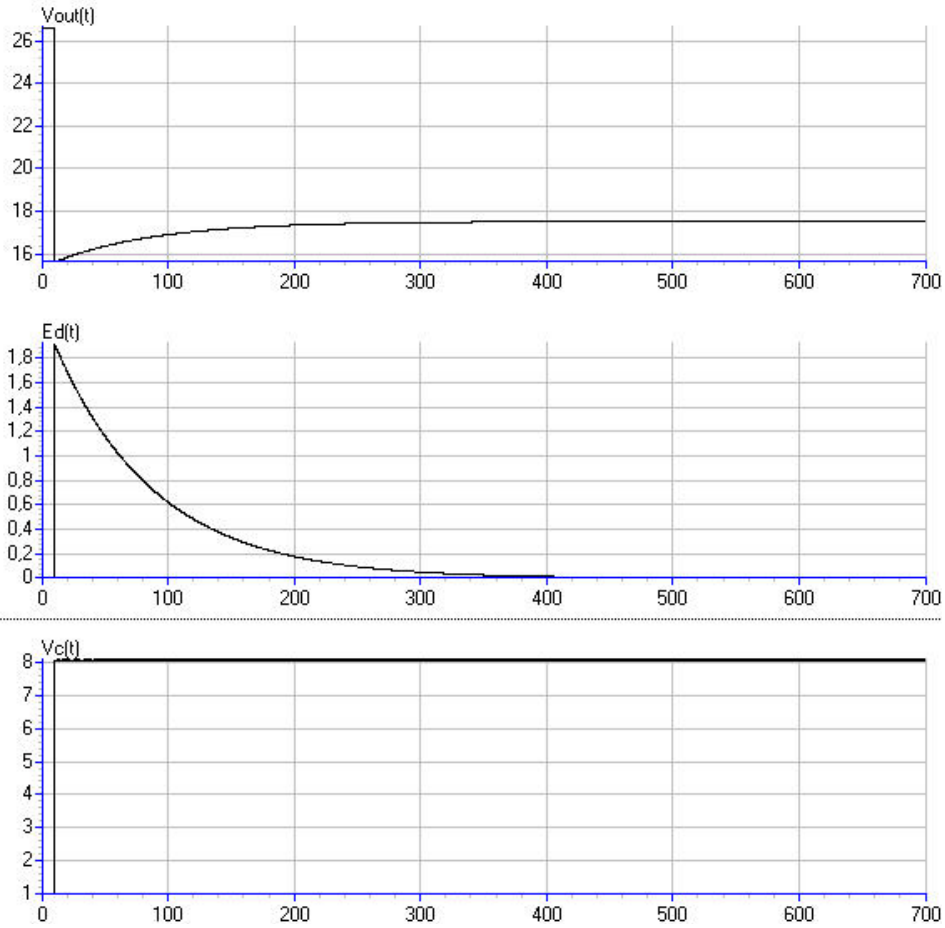
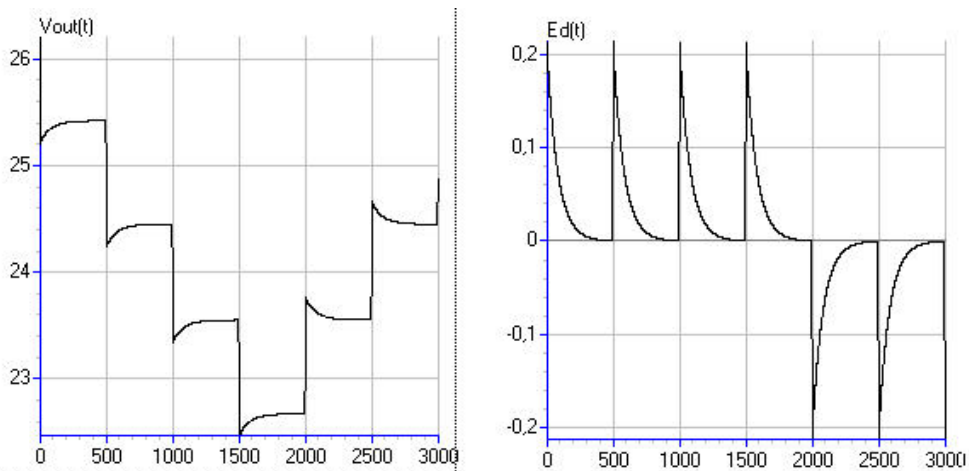


Fig. 5.34. Variația pe durată lungă de timp a tensiunilor la borne V_{out} , dinamice E_d și pe condensator V_c (semnal treaptă de amplitudine 18 A; regim inițial 2 A)



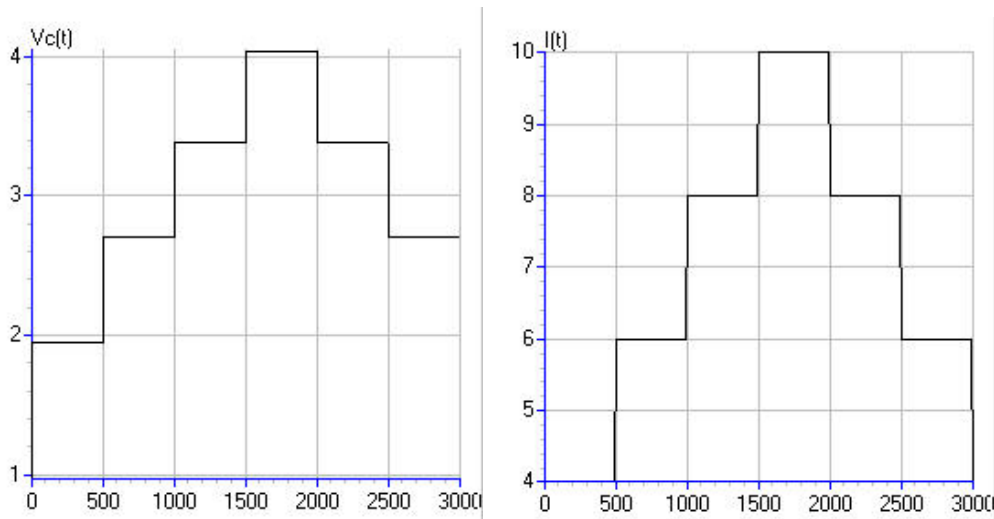


Fig. 5.35. Comportarea pilei la o variație în trepte a încărcări

5.3. Concluzii

Analizând rezultatele obținute cu ajutorul modelului dinamic al pilei de combustie, se pot trage următoarele concluzii:

1. Pila de combustie se comportă ca un generator de tensiune cu rezistența internă puternic dependentă de curentul debitat. Cauza principală o constituie fenomenul de polarizare electrochimică a pilei:
 - pentru sarcini mici apropiate de regimul de mers în gol este vorba de polarizarea de activare;
 - pentru sarcini mari apropiate de sarcina limită este vorba de polarizarea de concentrație.
2. La o pilă de combustie, din cauza neliniarității rezistenței interne, variația pierderii de tensiune în funcție de sarcină este importantă, putând ajunge până la 30% din valoarea tensiunii de mers în gol a pilei.
3. La variația sarcinii, atingerea noului punct de echilibru de funcționare al pilei de combustie se realizează în două etape:
 - într-o primă etapă foarte scurtă, de ordinul zecimilor de secundă până la o secundă, ca urmare a polarizării pilei tensiunea la bornele pilei atinge cu întârziere, exponențial, o valoare cvasi constantă; această valoare este determinată nu numai de valoarea rezistenței interne corespunzătoare noii sarcini ci și datorită unei componente dinamice de 10% până la 15% din valoarea saltului de tensiune proporțională cu saltul de curent;
 - componenta dinamică din saltul total de tensiune inițial se amortizează complet după câteva minute (3-5 min.); această componentă dinamică este cauzată de atingerea valorilor de echilibru ai parametrilor termodinamici ai pilei (temperatură, presiune, debite gaze etc.).
4. Ținând cont de cele precizate, se apreciază că alimentarea consumatorilor de SP dintr-o stație electrică de interconexiune prin intermediul unor pile de combustie nu ridică probleme deosebite, cu excepția pornirii unor motoare de puteri mari (comparabile cu puterea nominală a pilei).

5. Pentru a elucida problema pornirii motoarelor mari se impune o analiză atentă prin simulări adecvate a acestor regimuri extreme, în care pila de combustie poate furniza energie. Este posibil ca alegerea puterii nominale a pilei de combustie să depindă în mod hotărâtor de existența acestor consumatori asincroni importanți.
6. Dacă pila de combustie funcționează în regim tampon cu o altă sursă (de la rețea), atunci pornirea motoarelor asincrone este asigurată de caracteristicile acestei surse de alimentare;
7. O altă problemă care trebuie foarte bine analizată este funcționarea în bloc a pilei de combustie cu convertorul c.c.-c.a., pentru a asigura alimentarea unui consumator independent; principalul aspect care trebuie urmărit este bilanțul de putere reactivă al sarcinii alimentate.

Principalele contribuții personale prezente în acest capitol sunt următoarele:

1. Realizarea unei sinteze bibliografice bine documentate, într-o viziune proprie, asupra tuturor aspectelor legate de modelarea și identificării sistemelor utilizând pile de combustie, atât pentru regimuri staționare, cât și pentru regimuri dinamice.
2. Identificarea modelului matematic care reproduce cel mai fidel comportamentul unei PMFC, funcționând în tandem cu un convertor electronic. Această situație este una reală în cazul utilizării pilelor de combustie pentru alimentarea SP.
3. Identificarea unui model dinamic simplificat pentru pilele PEMFC, cu justificarea modelului ales și definirea clară a ipotezelor simplificatoare.

6. UTILIZAREA PILELOR DE COMBUSTIE CA SURSĂ DE ALIMENTARE A SERVICIILOR PROPRII. STUDIU DE CAZ: STAȚIA DE 220/110 kV SĂCĂLAZ

6.1. Analiza critică a situației actuale privind alimentare serviciilor proprii ale stațiilor electrice

Conform normativului PE 111-8/88, alimentarea serviciilor proprii din cadrul stațiilor electrice de transformare, se asigură astfel:

- pentru stațiile electrice de importanță deosebită, de la trei surse independente, două surse normale, sau o sursă normală și una de rezervă și o sursă de siguranță;
- pentru stațiile cu tensiunea superioară de 220 kV, care nu sunt cuprinse în categoria celor de importanță deosebită și stațiile de 110 kV, de la două surse independente normale, sau una normală și una de rezervă.

Sursele normale și cele de rezervă pot fi constituite din:

- a) o secție sau un sistem de bare colectoare de medie tensiune (6-20 kV) din stația electrică respectivă sau de la o stație sau centrală apropiată;
- b) o secție sau un sistem de bare colectoare de joasă tensiune pentru distribuție, din stația electrică respectivă sau de la o stație sau centrală apropiată;
- c) o linie de medie tensiune din zona stației;
- d) o înfășurare terțiară de MT (10-20 kV) a unui T sau AT, care asigură tranzitul de putere între rețelele de înaltă tensiune (110-750 kV);
- e) în cazuri excepționale, bine justificate din punct de vedere economic, un grup electrogen utilizat exclusiv ca sursă de rezervă.

Pentru stațiile cu tensiunea cea mai înaltă de 750 kV sau de 400 kV normativul prevede ca alimentarea normală (de bază) să se facă, de preferință, de la sursa de tipul d), prin transformatoare prevăzute cu reglaj sub sarcină și siguranță mărită împotriva scurtcircuitelor între faze, iar alimentarea de rezervă, prin una sau două linii de MT, racordate direct la stațiile de 110/MT din zonă. În normativ nu se face nici o precizare referitoare la stațiile cu tensiunea cea mai înaltă de 220 kV, unde se întâlnesc AT 220/110 kV, care prezintă înfășurare terțiară de MT.

Pentru consumatorii vitali trebuie prevăzute una sau mai multe alimentări de siguranță independente care să asigure funcționarea lor în orice condiții, chiar în cazul căderii întregului sistem (black-out), situație în care pentru restabilirea stării de lucru a sistemului, păstrarea funcționalității stațiilor din rețea este imperios necesară. Dacă pentru alimentarea de durată în regim permanent, economicitatea este o cerință importantă pentru reducerea cheltuielilor de exploatare a stației, pentru alimentarea în regim de avarie costurile suplimentare pentru asigurarea surselor de siguranță nu sunt relevante, deoarece aceste costuri sunt foarte mici în comparație cu daunele provocate de scoaterea din funcțiune a consumatorilor conectați la stație. În concluzie, sursa independentă de siguranță trebuie asigurată chiar la un cost mai ridicat, pentru a se realiza siguranța în funcționare, în conformitate cu cerințele din normative.

Acțiunea de rețehnologizare desfășurată în ultimii ani pe scară largă la principalele obiective ale C.N.T.E.E. Transelectrica S.A. (dispecerate energetice teritoriale, stații de conexiuni, stații de transformare), are drept scop creșterea gradului de siguranță în funcționarea SEN, realizarea unei conduceri și a unei monitorizări centralizate, precum și creșterea flexibilității interconexiunilor cu alte sisteme electroenergetice europene. Ținând cont de cerințele de alimentare ale noilor echipamente utilizate, ca

urmărire a procesului de modernizare a stațiilor electrice de transformare, în stațiile din gestiunea S.T. Craiova, s-a pus problema implementării unor surse moderne de energie electrică de siguranță, care să asigure parametri nominali ai tensiunii de alimentare, independent de fluctuațiile tensiunii din rețea și la puterea cerută de diverși consumatori vitali [Velea2008]. A apărut deci necesitatea și totodată oportunitatea elaborării unei analize comparative a posibilităților de înlocuire a grupurilor electrogene cu surse UPS (Uninterruptible Power Supply) de puteri mari, realizate în tehnologie IGBT. În lucrarea susmenționată, autorii prezintă principiile unei analize tehnico-economice estimative pentru implementarea unei configurații UPS – grup electrogen în stația 400/220/110 kV Porțile de Fier 1. S-au avut în vedere o serie de aspecte referitoare la: disponibilitatea unui sistem de alimentare cu energie electrică, compatibilitatea UPS – grup electrogen, soluții de stocare a energiei electrice, dimensionarea UPS pentru asigurarea compatibilității cu un grup electrogen existent etc.

O analiză a situației actuale a alimentării cu energie electrică a SP ale stațiilor de transformare, relevă următoarele aspecte:

- Datorită pieței liberalizate de energie, gestionarii stațiilor electrice trebuie să cumpere energia în urma licitațiilor de la bursă, sau a unor contracte ferme încheiate cu furnizorii (dealeri) de energie. Pentru a putea păstra cât mai multe opțiuni posibile de achiziționare a energiei necesare SP este avantajoasă alimentarea serviciilor proprii de pe una din barele stației sau din terțiarul propriului AT și nu de la o linie de MT de distribuție. Folosirea unei linii de distribuție de MT obligă la achiziționarea energiei la prețul distribuitorului, care desigur este mai ridicat fiindcă include cheltuielile și profitul distribuitorului;
- Sursele de alimentare de rezervă, în marea majoritate a situațiilor, atunci când sunt linii din zona învecinată stației, sau bare din stațiile vecine, depind de sistem, astfel că la un blackout nu mai pot alimenta stația;
- Sursa de siguranță este constituită dintr-un grup electrogen. Deși este complet independentă de sursa principală sau de rezervă, are ca principale dezavantaje poluarea puternică a mediului și o probabilitate de defectare destul de mare, datorită structurii complexe cu multe piese în mișcare. Nu sunt de neglijat nici costurile operațiunii de mentenanță a lui în stare de funcționare, deoarece motoarele cu ardere internă nefolosite pornesc greu și chiar nu pot fi pornite chiar atunci când este nevoie, dacă nu sunt întreținute corect;
- Folosirea unor surse alternative (neconvenționale) de energie, este benefică și justificată prin următoarele avantaje:
 - crește siguranța în alimentarea SP ale stației, sursele alternative fiind complet independente de restul sistemului;
 - impactul asupra mediului este foarte redus, acest tip de resurse fiind considerate practic nepoluante (respectarea Protocolului de la Kyoto);
 - UE încurajează prin sprijin financiar nerambursabil, proiectele care vizează înlocuirea surselor clasice de energie cu surse alternative, în mod deosebit cele care utilizează SRE.

6.2. Soluții posibile privind folosirea pilelor de combustie pentru alimentarea serviciilor proprii

Folosirea pilelor de combustie pentru alimentarea cu energie electrică a SP ale stațiilor se consideră benefică, oportună și justificabilă datorită următoarelor argumente:

- a) nu produc emisii poluante;
- b) funcționează fără zgomot;
- c) prezintă randament ridicat în producerea energiei electrice, datorită conversiei directe, fără procese intermediare în care să participe energii termice și mecanice;

- d) nu au piese în mișcare și ca urmare prezintă fiabilitate și mentenanță foarte ridicate;
 - e) față de pilele galvanice clasice, care "se descarcă" în timp prin consumarea reacțiilor chimice energetice, pila de combustie poate funcționa atât timp cât este alimentată cu combustibil și oxidant;
 - f) produc și energie termică (apă caldă) care poate fi utilizată pentru încălzirea spațiilor din blocul de comandă al stației electrice;
 - g) funcție de puterea pilei de combustie, aceasta poate lua locul sursei de alimentare normală, conducând la creșterea siguranței în alimentarea serviciilor proprii ale stației.
- În cele ce urmează se prezintă mai multe variante posibile de alimentare a SP dintr-o stație electrică, utilizând pile de combustie.

6.2.1. Pila de combustie ca sursă de siguranță

În Fig. 6.1 se prezintă o schemă în care pila de combustie se utilizează doar ca sursă de siguranță.

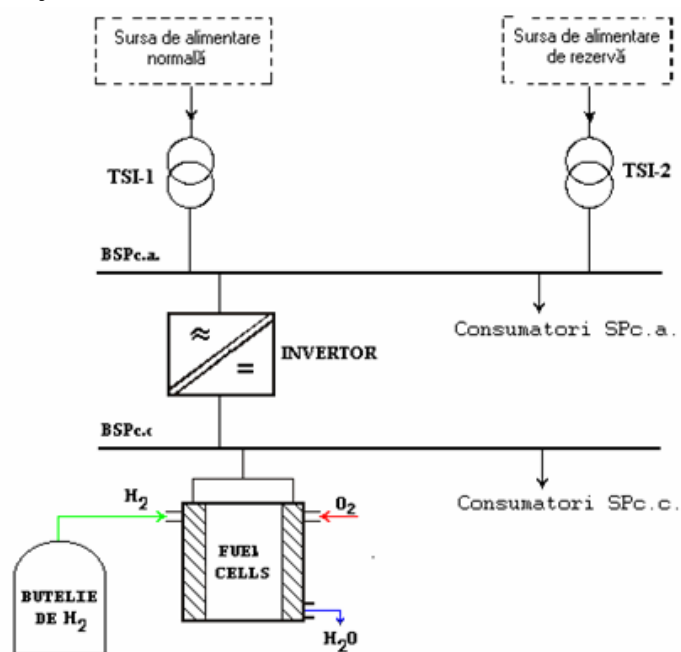


Fig. 6.1. Schema de principiu - pila de combustie ca sursă de siguranță

Sursele de alimentare normală și de rezervă pot fi constituite din:

- a) înfășurarea terțiară de medie tensiune (10-20 kV) a unui T sau AT din stația respectivă;
- b) o secție sau un sistem de bare colectoare de MT (6 -20 kV) din stația electrică respectivă sau de la o stație sau centrală apropiată;
- c) o linie de MT din zona stației, cu condiția, să fie independente între ele.

În situațiile în care cel puțin una dintre sursele de alimentare (normală sau de rezervă) este în parametri, alimentarea barelor serviciilor proprii de curent continuu (BSP c.c.) este asigurată de la barele de servicii proprii de curent alternativ (BSP c.a.) prin intermediul inverterului, iar când nici una din aceste surse nu este în parametri, intră în funcțiune pila de combustie și alimentează BSP c.c. și prin intermediul inverterului se alimentează și BSP c.a.

Energia necesară funcționării SP pe perioada când sursele de alimentare normală și de rezervă nu sunt în parametri, este stocată în buteliile de hidrogen. Hidrogenul este furnizat din surse clasice (generatoare chimice de hidrogen), sau neconvenționale (biogaz, biomasă etc.), care nu sunt amplasate în incinta stației. De asemenea este de menționat faptul că energia termică (apa caldă) produsă de pila de combustie nu se poate utiliza, deoarece pila, având doar rol de sursă de siguranță, va funcționa foarte rar și perioade scurte de timp.

6.2.2. Pila de combustie ca sursă de rezervă și de siguranță

În Fig. 6.2 se prezintă o schemă în care pila de combustie se utilizează ca sursă de alimentare de rezervă și de siguranță.

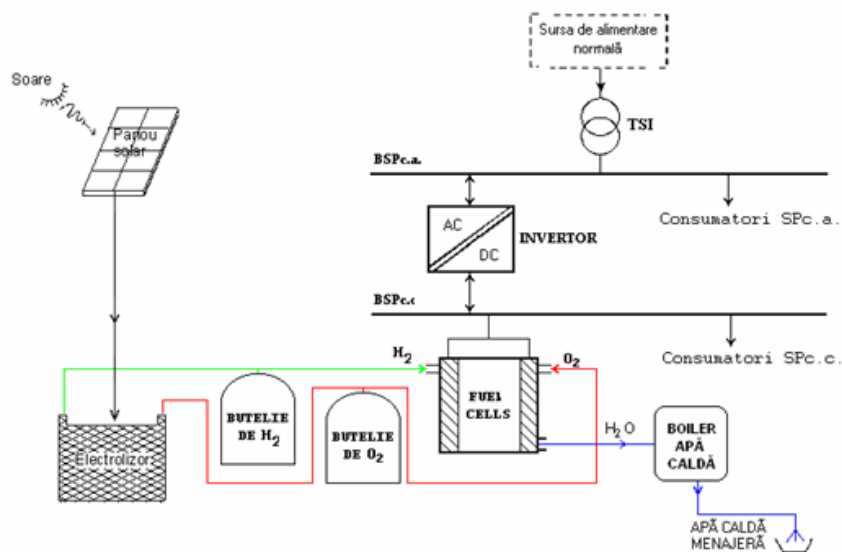


Fig. 6.2. Schema de principiu - pila de combustie ca sursă de rezervă și de siguranță

Pila de combustie este o sursă de energie electrică alimentată cu hidrogen produs prin electroliză în incinta stației. Sursa de alimentare cu energie electrică a electrolizorului este constituită din panouri de celule fotovoltaice (sau altă sursă neconvențională).

Sursa de alimentare normală poate fi constituită din una din următoarele instalații:

- înfășurarea terțiară de MT (10-20 kV) a unui T sau AT din stația respectivă;
- o secție sau un sistem de bare colectoare de medie tensiune (6-20 kV) din stația electrică respectivă sau de la o stație sau centrală apropiată;
- o linie de MT din zona stației.

În situațiile în care serviciile proprii sunt alimentate de la sursa normală, alimentarea BSP c.c. este asigurată de la BSP c.a. prin intermediul invertorului, iar când serviciile proprii sunt alimentate de la pila de combustie, BSP c.a. sunt alimentate de la BSP c.c. prin intermediul invertorului.

Având în vedere că pila de combustie funcționează cu hidrogenul și oxigenul produse de electrolizor pe perioada insolației, aceasta poate fi utilizată pe perioade limitate de timp și ca sursă normală, ceea ce ar contribui la reducerea costului energiei consumate de SP ale stației. De asemenea este de menționat faptul că și energia

termică (apa caldă) produsă de pila de combustie ar putea fi stocată într-un boiler de apă caldă și utilizată ulterior ca apă caldă menajeră.

6.2.3. Pila de combustie ca sursă normală și de siguranță

În Fig. 6.3 se prezintă o schemă în care pila de combustie se utilizează ca sursă de alimentare normală și de siguranță, când aceasta este alimentată cu hidrogen, obținut din gaz metan, de la un reformator amplasat în incinta stației.

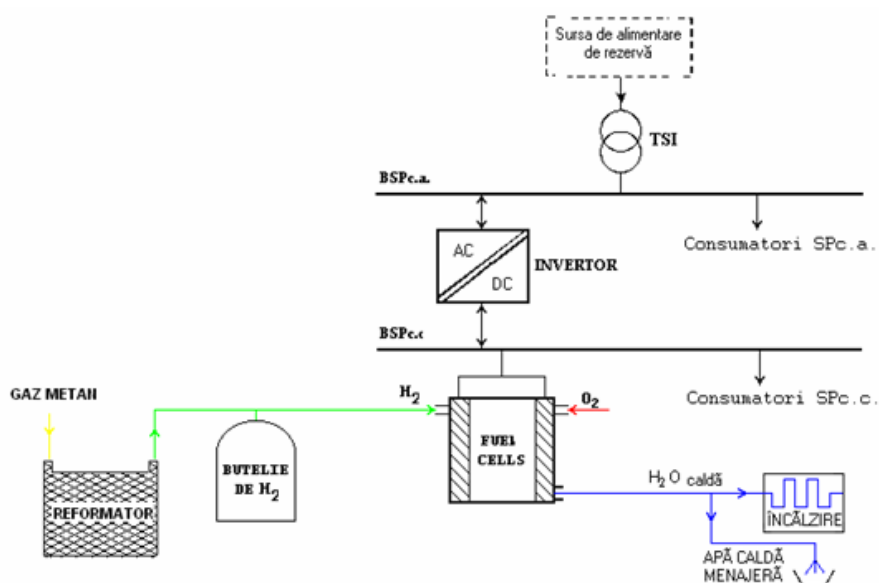


Fig. 6.3. Schema de principiu - pila de combustie ca sursă normală și de siguranță

Când pila de combustie funcționează în regim de sursă normală, hidrogenul este preluat direct de la reformator, iar când funcționează în regim de sursă de siguranță (când reformatorul nu funcționează, iar sursa de rezervă nu este în parametrii), hidrogenul este preluat din butelia de hidrogen, care este alimentată cu hidrogen de la reformator în perioada când acesta funcționează.

Sursa de alimentare de rezervă poate fi constituită din una din următoarele instalații:

- înfășurarea terțiară de MT (10-20 kV) a unui T sau AT din stația respectivă;
- o secție sau un sistem de bare colectoare de MT (6-20 kV) din stația electrică respectivă sau de la o stație sau centrală apropiată;
- o linie de MT din zona stației.

Când pila de combustie funcționează în regim de sursă normală sau de siguranță, alimentarea BSPc.a. este asigurată de la BSPc.c. prin intermediul invertorului, iar când alimentarea SP este asigurată de sursa de rezervă, BSPc.c. sunt alimentate prin intermediul invertorului, de la BSPc.a.

Este de subliniat faptul că în această schemă pila de combustie funcționează aproape în permanență, spre deosebire de variantele de soluție prezentate în Fig. 6.1 și Fig. 6.2. În acest caz se poate utiliza și energia termică (apa caldă), atât pentru încălzirea spațiilor, cât și ca apă caldă menajeră, ceea ce cu certitudine conduce la creșterea randamentului întregului sistem.

6.3. Metodologia de calcul a eficienței pilelor de combustie

6.3.1. Analiza comparativă a soluțiilor propuse și alegerea variantei optime

Într-o lume în care aspectele economice primează, orice analiză a unor noi soluții de rezolvare a problemelor tehnice trebuie să țină cont și de partea economico-financiară. O consecință a acestei constrângeri este că aspectul economic limitează sever aplicarea industrială a oricărei noi soluții la care încă nu se aplică „efectul de scară”. Acest lucru este perfect valabil și la pilele de combustie. Acestea se găsesc în faza unei tranziții de la o tehnologie aplicată în domenii de vârf cum ar fi tehnica spațială și cea militară, spre o tehnologie de răspuns la problemele energetice ale societății moderne: criza de resurse primare clasice și efectele asupra mediului. Din aceste puncte de vedere, pilele de combustie pot deveni o soluție extrem de utilă în asigurarea alimentării cu energie electrică și termică (cogenerare), pentru consumatorii importanți sau cu probleme de alimentare din sistem. În cele ce urmează sunt prezentate exemple relevante de utilizare a pilelor de combustie ca surse de alimentare alternativă la alimentarea din sistem, pentru diverși consumatori.

O soluție extrem de interesantă pentru alimentarea SP ale unei stații o reprezintă sistemele reversibile de pile de combustie. Un sistem reversibil de pile de combustie solid-oxid (SOFC)/electroliză este capabil să stocheze energia electrică generată de surse de energie regenerabilă, la un randament total de peste 80% și să furnizeze putere generată din propan, la randamente de peste 60% (LHV). În general sistemele de producere a energiei electrice independente de rețea, care folosesc sursele de energie regenerabilă, au potențialul să reducă foarte mult emisiile de CO₂. Dată fiind faza lor de implementare și de acces pe piețele energiei, costul inițial este o barieră majoră contra utilizării practice a sistemelor de acest tip. Deoarece sursa primară necesară are un caracter intermitent și este uneori și variabilă (funcție de natura energiei regenerabile), o caracteristică tipică a acestor sisteme o reprezintă faptul că necesită atât o capacitate importantă de stocare, cât și un generator de rezervă (nu și în cazul pilelor de combustie). Varianta practică ce îndeplinește aceste cereri este un sistem format din baterii plumb-acid pentru stocare, plus un generator. În timp ce bateriile pot oferi randamente înalte de stocare a energiei (în jur de 80%), combinația baterie – generator este destul de scumpă. În plus, generatoarele actuale ce folosesc tehnologia combustiei interne, sunt extrem de poluante, zgomotoase, au un randament scăzut și produc emisii de CO₂.

Sistemul reversibil TMI [DOE2001] folosește un proces electrochimic bazat pe un oxid solid, la temperatură înaltă pentru a produce energie electrică, atât din combustibili obișnuiți bazați pe carbon (gaze naturale, propan și combustibili bio-derivați), cât și din hidrogen. Când este utilizat în modul de funcționare electrolizor, sistemul reversibil TMI folosește electricitatea și energia termică pentru a converti apa pură în combustibil (hidrogen și oxigen). Căldura este un produs rezidual al tuturor pilelor de combustie de înaltă temperatură. Totuși, când este comparat cu alte pile de combustie care funcționează la temperatură scăzută (PEM), sistemul reversibil TMI poate folosi energia termică reziduală produsă în timpul modului de funcționare de generare a energiei electrice, pentru a obține randament înalt de sistem în timpul modului de funcționare electrolizor, ceea ce duce în ultimă instanță, la scăderea costurilor pe ciclu de viață pentru întregul sistem.

Printre avantajele potențiale specifice ale sistemelor SOFC de înaltă temperatură, în comparație cu sistemele de temperatură scăzută, se numără:

- randament global mai înalt pentru stocarea de energie (80% vs. 65%);
- randament înalt la conversia din combustibil în electricitate, folosind combustibili obișnuiți în loc de hidrogen;
- costuri mai scăzute datorită părților reduse și randamentului mărit;
- fiabilitate mai înaltă datorită structurilor modulare.

SOFC utilizează temperaturile înalte de funcționare, cca. 800°C, pentru a îmbunătăți cinetica electrozilor, făcând posibile tensiuni scăzute de polarizare a electrozilor. Folosirea pentru electroliză a aburului în locul apei lichide, necesită un schimb Gibbs Free Energy mai scăzut, ceea ce are ca rezultat un randament global mai mare pentru acest sistem. În plus căldura evacuată este de înaltă calitate și poate fi folosită pentru a preprocesa combustibilii pe bază de carbon, ceea ce va contribui la randamentul global al utilizării acestor combustibili.

Sistemul reversibil propus pentru cazul de mai sus furnizează atât stocare de energie (folosind H₂), cât și generarea de energie de rezervă din propan. Sistemul folosește patru module identice pilă de combustie – electrolizor, având specificațiile preliminare prezentate în Tabelul 6.1.

Tabelul 6.1. Specificațiile modulului pilă de combustie – electrolizor

Parametru	Valoare	Unitate de măsură
Energia nominală de ieșire	1000	W
Energie maximă la supratensiune	4800	VA
Energia de stocare nominală	6500	Wh
Tensiunea de ieșire c.a. (60 Hz)	120	V rms
Randamentul tipic net al propanului	62 %	LHV
Randamentul tipic al stocării de energie	81 %	Wh
Zgomot la 1 metru	< 50	DbA
Preț en-detail (est. 2009)	\$ 3400	
Prețul de mentenanță mediu anual	\$ 170	

Fiecare modul conține următoarele componente:

- sistemul de depozitare a oxidului solid;
- sistemul de stocare a hidrogenului sub formă de gaz;
- sistemul de stocare a apei lichide;
- circuitul de condiționare a energiei cu multiple moduri de funcționare;
- baterie mică plumb-acid, pentru urmărirea instantanee a sarcinii;
- balanță a componentelor de sistem, inclusiv schimbătoare de căldură compacte, pompe, ventilatoare, valve, izolare, radiator de demaraj, sistem de control, senzori, incintă etc.

O analiză comparativă a cinci cazuri (folosind prețurile de vânzare estimate pentru anul 2009 pentru sistemele de tehnologie nouă) este prezentată în Fig. 6.4. Costurile de instalare din tabel au fost calculate folosind o putere de vârf a sistemului de 3 kW, o putere medie anuală de 640 W/zi și rotunjire la 100\$. Deși aplicația utilizată ca exemplu, se referă la o reședință de mărime medie, majoritatea criteriilor menționate pot fi aplicate și la sisteme mai mari sau mai mici, cu o cerere medie de energie corespunzătoare unor consumuri cuprinse între 500 W și 5 kW. Noile tehnologii recomandate pot fi aplicate atât la instalații noi, cât și la modernizarea sistemelor existente.

Fiecare caz are avantaje și dezavantaje, în funcție de obiective. Pentru o reducere maxim posibilă a poluării, sistemele bazate pe vânt și sistemele hibride bazate pe vânt (cu sau fără pile de combustie reversibile) oferă cele mai reduse emisii de CO₂. Sistemul cu grup diesel disponibil azi, se dovedește a fi nepotrivit pentru o utilizare continuă în aplicații independente de rețea.

Avantajul principal al SOFC este potențialul său de atingere a randamentelor înalte. Totuși, pentru aceasta ar fi necesară o înaltă capacitate de stocare și reciclare a energiei termice. Astfel, funcționarea pilelor reversibile ca un singur dispozitiv, necesită punerea la punct a unui model cheie ce ar permite proceselor electrochimice să aibă loc la temperaturi similare și astfel să modereze din punct de vedere termodinamic unii pași nedoriți.

Ca parte a acestui program, TMI a realizat experimente ce au demonstrat funcționarea reversibilă a unor pile de combustie unice în condiții ce simulează mediul de utilizare estimat și compoziția de gaz într-un sistem reversibil. În Fig. 6.4 sunt prezentate costuri și emisii de CO₂ pentru diferite configurații.

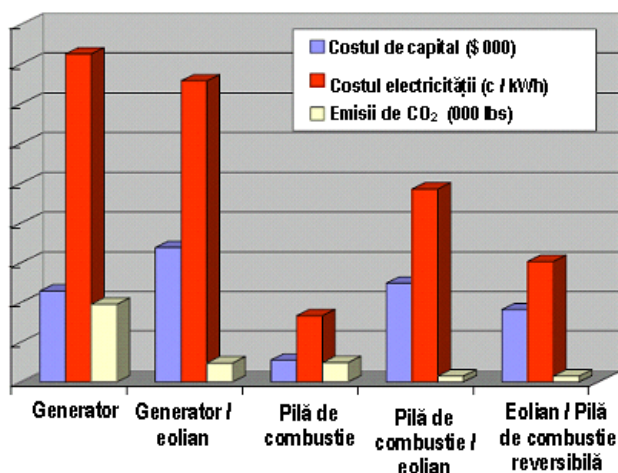


Fig. 6.4. Costuri și emisii de CO₂ pentru diferite configurații

Pilele de combustie cu carbonat reprezintă o alternativă, care se dezvoltă rapid, pentru producerea de energie la fața locului, în gama de puteri de la 250 kW până la 3 MW și chiar mai mult. Inc. FuelCell Energy a instalat peste 40 de unități în întreaga lume, pentru diferite utilizări incluzând hoteluri, universități, industrie, centre de telecomunicație și transmitere de date, guvern, spitale și instalații de tratare a apelor uzate. Cele mai multe dintre aceste unități, cu excepția ultimei categorii, sunt în principal alimentate cu gaz natural transportat prin conducte. Treisprezece din cele 40 de unități instalate sunt folosite pentru instalații de tratare a apelor uzate industriale sau municipale. O unitate suplimentară a fost pusă în funcțiune la o mină de cărbune care nu se mai află în exploatare, transformând metanul din zăcământ în electricitate. Cele mai multe dintre unități sunt echipate cu un recuperator al căldurii evacuate, în acest fel putându-se livra electricitate și căldură pentru localitatea în cauză, rezultând o eficiență termică de până la 80%. Multe unități sunt capabile să funcționeze cu doi combustibili. Aceste unități au furnizat o experiență importantă, pentru confirmarea compatibilității și beneficiilor pilelor de combustie, la utilizarea gazelor din deșeuri.

În Tabelul 6.2 sunt prezentate unități cu pile de combustie cu carbonat montate în ținuturi cu instalații de tratare a apelor reziduale și utilizând drept combustibil gaze din deșeuri. Majoritatea sunt echipate cu echipament de cogenerare.

În Tabelul 6.3 sunt prezentate date ale unor sisteme aflate în exploatare în prezent, pentru diverse aplicații. Se remarcă diversitatea costurilor inițiale, chiar pentru aceeași tehnologie și același domeniu de putere instalată.

În Tabelul 6.4 sunt prezentate costuri inițiale pentru alte tehnologii de producere a energiei electrice.

6.3 – Metodologia de calcul a eficienței pilelor de combustie 151

În Tabelul 6.5. sunt prezentate costuri de capital pentru tehnologii ale pilelor de combustie precum și ale unor tehnologii alternative, utilizate pentru producere descentralizată.

Tabelul 6.2. Pile de combustie cu carbonat instalate

Locația	Putere nominală [kW]	Combustibil*	Cogenerare
King County (WA)	1000	DG/DG epurat/NG	Nu este operațională recuperarea căldurii
LA Terminal Island (CA)	250	NG (fără opțiunea DG)	NU
Cat Palmdale (CA)	250	DG/NG	DA
Santa Barbara (CA)	250 x 2	DG/NG	DA
Sierra Nevada (CA)	250 x 4	NG	DA
Kirin Brewery (Japonia)	250	DG/propan	DA
Fukuoka (Japonia)	25	DG	DA
Tokio, Oraș super ecologic (Japonia)	250	DG	DA
Corporația Minieră Harrison (OH)	200	Metan din zăcămint de cărbune	Nu

* DG – gaz de autoclavă (fermentație), NG – gaz natural

Tabelul 6.3. Costuri pentru pile instalate

Producător	Model	Putere [kW]	Cost [€/kW]	Preț [€]	Tehnologie
Fortum Se	5 kW	5	17000-20000	100.000	SOFC
ONSI	PC25	200	5000	1.000.000	PAFC
IdaTech	4,6 kW	4,6	16448	82.240	PEMFC
Acumentrics	10 kW	10	19900	199.000	SOFC
AXANE	AXANE 2 kW	2	12500	25.000	PAFC
Plug Power	GenCoreSystem	5	2466	12.332	PEMFC
Proton Motor	2 module tip PM600	2 x 11	19773	435.000	PEMFC
Balard	NEXA	1,2	7042	8.450	PEMFC

Tabelul 6.4. Costuri inițiale pentru alte tehnologii

Tehnologie	€/kW
Nucleară	1.700 – 3.000
Turbine cu gaz	280 – 1.200
Ciclu combinat turbină cu gaz (CCGT)	600 – 700
Cărbune	490 – 950
Hidro	1.600 – 3.000

Tabelul 6.5. Costuri de capital pentru pile de combustie

Tehnologie producere descentralizată	Costuri de capital	
	Prognost 2008 - 2010	Actual
PEMFC	1.100 – 1.800	2.400 – 19.000
PAFC	1.350 – 1.800	8.500 – 10.000
SOFC	1.200 – 2.000	13.500 – 16.000
MCFC	1.200 – 2.100	-
Microturbine	800 – 1.500	
Turbine de combustie	200 – 800	
Turbine de combustie cu CHP	700 – 1.000	
Motoare Stirling	16.000 – 40.000	
Turbine eoliene	800 – 1.200	
Fotovoltaice	4800 – 8.000	

Deoarece o mare parte dintre utilizatorii surselor de producere distribuită a energiei electrice, au printre caracteristicile importante continuitatea în alimentare și costurile de nealimentare, sunt prezentate pe scurt, valori de pierderi în astfel de situații pentru SUA, din evaluări ale unor colective de cercetare din domeniu.

- Business Week (1991) - 26.000 milioane \$ per an în SUA;
- EPRI (1994) - 400.000 milioane \$ per an în SUA;
- US Department of Energy (1995) - 150.000 milioane \$ per an în SUA;
- Fortune Magazine (1998) - aproximativ 10.000 milioane \$ per an în SUA;
- E Source (2001) - 60.000 la 80.000 \$ per instalație, per an pentru industrii cu proces continuu, servicii financiare și procesare alimentelor în SUA;
- European Copper Institute (2001) - 10.000 milioane €, în industria și comerțul UE.

În Tabelul 6.6. sunt prezentate costuri de capital, estimate pentru sisteme cu pile de combustie tipice în aplicații de tip CHP conectate cu sistemul, evaluate în \$/kW*.

Tabelul 6.6. Costuri de capital pentru pile de combustie în aplicații CHP

Costul componentelor instalate	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4	Sistem 5	Sistem 6
Putere nominală (kW)	200	10	200	250	2.000	100
Tip pilă de combustie	PAFC	PEM	PEM	MCFC	MCFC	SOFC
Costuri echipamente (2002 \$/kW)						
Total costuri echipamente	4.222	5.050	3.370	4.780	2.645	2.270
Alte costuri (2002 \$/kW)	278	450	230	220	155	1230
Total costuri (2002 \$/kW)	4.500	5.500	3.600	5.000	2.800	3.500

* Costuri de capital estimate pentru sisteme de pile de combustie curente

Sursa: Energy Nexus Group.

În Tabelul 6.7. sunt prezentate costuri de operare și de mentenanță pentru sisteme cu pile de combustie tipice în aplicații de tip CHP conectate cu sistemul (\$/kW)*.

Tabelul 6.7. Costuri de operare și mentenanță

Analiza de costuri O&M (2002 \$)	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4	Sistem 5	Sistem 6
Putere nominală (kW)	200	10	200	250	2,000	100
Tip pilă de combustie	PAFC	PEM	PEM	MCFC	MCFC	SOFC
Costuri întreținere (\$/kWh)	0.0087	0.0121	0.0087	0.0072	0.0054	0.0102
Costuri consumabile (\$/kWh)	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Costuri fixe anuale (\$/kW an)	6.5	18.0	6.5	5.0	2.1	10.0
Costuri fixe (\$/kWh @ 8,000 ore/an)	0.0008	0.0023	0.0008	0.0006	0.0003	0.0013
Stack Fund (\$/kWh)23	0.0193	0.0188	0.0132	0.0350	0.0275	0.0125
Durata de viață (ani)	5	4	4	4	4	8
Cost net O&M (\$/kWh)	0.029	0.033	0.023	0.043	0.033	0.023

* Costuri estimate pentru sisteme de pile de combustie curente

Sursa: Energy Nexus Group.

Pentru că tehnologiile utilizate în prezent la producerea pilelor de combustie sunt încă tehnologii în evoluție spre un nivel de masă, este util să se evidențieze și tendințele de evoluție ale prețurilor (Fig. 6.5).

Autorii raportului prevăd o reducere suplimentară a costurilor de producere de cca. 25-30% la un nivel de 50 MW/an. Tendința de reducere a costurilor de capital este evidentă, rezultatul fiind că, pe măsură ce costurile de capital devin accesibile, pilele de combustie vor deveni tot mai atractive, oferind soluții pentru alimentare de bază.

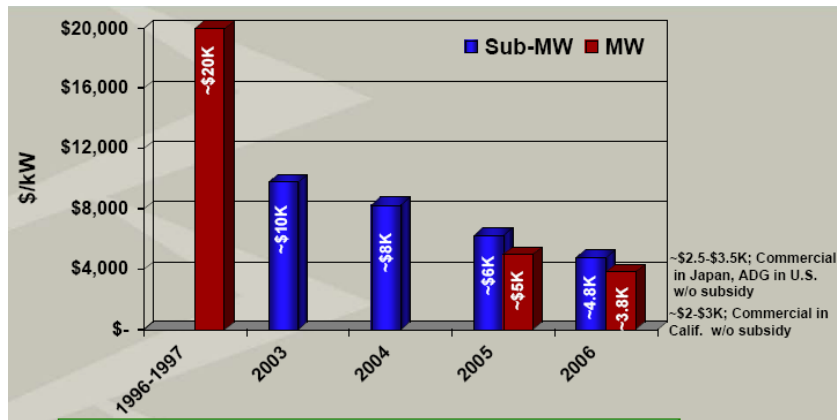


Fig. 6.5. Creșterea producției anuale de pile de combustie la 50 MW poate aduce o reducere de costuri de 25-30%.

6.3.2. Metodele utilizate pentru stabilirea fezabilității și ierarhizarea soluțiilor analizate

Având în vedere datele existente, precum și tendințele sesizabile în evoluția performanțelor tehnice și economice din domeniul producerii pilelor de combustie, acestea tind spre performanțe financiare apropiate de cele ale tehnologiilor clasice. Corelat cu avantajele legate de mentenanță și de impact asupra mediului, ele pot deveni un concurent real al tehnologiilor clasice.

Demonstrarea fezabilității soluției de alimentare a SP cu pile de combustie, implică și analiza financiară a acesteia. Metodele utilizate pentru stabilirea fezabilității și ierarhizarea soluțiilor analizate, sunt cele folosite pentru orice mediu competițional: metoda valorii nete actualizate (*VNA*), rata internă de recuperare (*RIR*) și indicele de profitabilitate (*IP*), care vor fi definite în continuare. Abordarea economică încearcă să măsoare performanța unei investiții, prin evaluarea contribuției sale la "bunăstarea investitorului", analiza realizându-se pentru un orizont de timp egal cu durata de viață a investiției.

6.3.2.1. Metoda valorii nete actualizate (*VNA*)

Metoda compară fluxurile viitoare de bani (venituri și cheltuieli), actualizate în prezent, cu valoarea investiției inițiale. Sub formă generală, se exprimă prin relația (6.1):

$$VNA = \sum_t \frac{A_t}{(1+a)^t} \quad (6.1)$$

unde: A_t – fluxul anual de bani din anul t , care poate fi pozitiv sau negativ, în unități monetare/an; a – rata de actualizare [%/an]; t – perioada de studiu, de la 0 la n ani.

VNA este un concept general și cuprinzător, care ia în considerare, în cadrul fluxului de bani, atât veniturile, cât și cheltuielile, inclusiv investițiile inițiale. Prin convenție, se consideră că veniturile sunt pozitive, iar costurile sunt negative.

Regula de decizie a metodei *VNA* este:

- dacă $VNA > 0$, atunci compania poate să investească în acel proiect;
- dacă $VNA < 0$, atunci compania nu trebuie să investească în acel proiect.

Dacă sunt posibile mai multe proiecte alternative, atunci se alege proiectul a cărui valoare pozitivă a *VNA* este cea mai mare. În eventualitatea că proiectul/proiectele analizate reprezintă soluții de modernizare, fluxurile financiare anuale luate în considerare pot fi și cele care ar reprezenta reduceri de costuri sau creșteri ale profitului, față de soluția care se dorește a fi modernizată.

În concluzie sunt posibile diferite interpretări asupra criteriului *VNA*, iar cea mai importantă este aceea că, *VNA* stabilit pentru un proiect reprezintă creșterea de bunăstare (de valoare) la investitor, creștere ce se așteaptă să se producă prin acceptarea și realizarea proiectului. Datele generale de intrare, necesare pentru utilizarea criteriului *VNA* sunt următoarele:

- costul inițial al investiției;
- costurile și veniturile viitoare, asociate procesului de investiție;
- durata de viață așteptată pentru investiție;
- rata de actualizare.

O metodă de analiză și ierarhizare a variantelor de proiecte, strâns legată și derivată practic din metoda *VNA*, este și cea a ratei interne de rentabilitate *RIR*.

6.3.2.2. Rata internă de rentabilitate (*RIR*)

Rata internă de rentabilitate a unui proiect, se definește ca fiind rata de actualizare care, aplicată fluxului anual de bani al unui proiect, conduce la $VNA = 0$. Adică (6.2):

$$\sum_t \frac{A_t}{(1 + RIR)^t} = 0 \quad (6.2)$$

Pentru a determina *RIR* pentru proiecte care se desfășoară pe mai mulți ani, este necesar să se rezolve ecuații polinomiale dificile. Ca metodă practică, se poate obține o bună aproximare prin interpolare liniară. Pentru promovarea proiectelor (estimarea eficienței economice a acestora), nu este necesară o precizie foarte mare în estimarea *RIR*, așa că interpolarea liniară oferă valori acceptabile.

Regula generală de decizie pe baza criteriului *RIR* este următoarea: se promovează acele proiecte care au $RIR > a_{limită}$, care de obicei, este rata dobânzii pe piață. Dacă în competiție se află mai multe proiecte, trebuie selectat proiectul cu *RIR* cea mai mare și obligatoriu mai mare decât valoare minimă acceptată. Comentariul legat de fluxurile financiare anuale luate în calcul rămâne valabil și aici, la fel ca și la metoda *VNA*.

6.3.2.3. Indicele de profitabilitate (*IP*)

Un alt criteriu relativ simplu de aplicat și derivat și el din tehnica de actualizare a fluxurilor financiare anuale este cel al indicelui de profitabilitate (*IP*). Acesta se calculează cu relația (6.3):

$$IP = \frac{VA}{CI} \quad (6.3)$$

unde *VA* reprezintă suma veniturilor actualizate, iar *CI* reprezintă costul investiției. Condiția de acceptare a unui proiect este de a realiza un *IP* mai mare de 1, respectiv dintr-un set de mai multe proiecte, se promovează proiectul cu *IP* maxim pozitiv.

6.4. Studiu de caz: stația 220/110 kV Săcălaz

6.4.1. Prezentarea situației actuale

Stația de transformare 220/110 kV Săcălaz este amplasată în partea de vest a municipiului Timișoara și este încadrată în Sistemul Energetic Național (SEN) prin LEA 220 kV Timișoara-Săcălaz și LEA 220 kV Săcălaz-Calea Aradului-Arad. La barele de 110 kV ale stației Săcălaz sunt racordate următoarele linii: Satchinez, Orțișoara, I.M.T., Bucovina, Cărpiniș, Freidorf, Solventul I, Solventul II și Cetate.

Serviciile proprii (serviciile interne) ale stației sunt alimentate din două surse de MT și anume:

- din stația 110 kV Fratelia, prin LEA 20 kV Biled;
- din stația 110 kV Cetate, prin LES C25 de 10 kV Cetate.

LES C25 10 kV Cetate alimentează Transformatorul de Servicii Interne (TSI) 1, 10/0,4 kV – 400 kVA, iar LEA 20 kV Biled alimentează TSI 2, 20/0,4 kV – 400 kVA. Celulele de măsură 10 kV și 20 kV, sunt de construcție exterioară și sunt prevăzute cu transformatoare de măsură – transformatoare de curent (TC) și transformatoare de tensiune (TT) de fabricație AEG, separator de sarcină cu izolație în SF₆ și siguranțe fuzibile. Separatorul de sarcină are două Separatoare de legare la pământ (CLP), unul spre linie și celălalt spre TSI.

SP de c.a. ale stației 220/110 kV Săcălaz, sunt racordate la două secții de bare de 0,4 kV conectate la bornele de j.t. ale TSI 1 și TSI 2 și legate între ele prin cuplă longitudinală. La secția I de bare s-au racordat numai consumatorii din categoria 1, care admit întreruperi pentru o durată scurtă de timp, iar la secția II sunt racordați ceilalți consumatori SP c.a.

Sursa de alimentare a SP de c.c. ale stației 220/110 kV Săcălaz este asigurată de o baterie de acumulatori tip 16 GroE400, 220 Vc.c., având un număr de 108 elemente. Bateria funcționează în regim tampon cu un redresor. Pentru situații în care redresorul se defectează, există un al doilea redresor de rezervă. Redresoarele sunt de tipul RUET-1, 3 x 380 Vc.a./220 Vc.c., I_n = 100 A.

Sursa de siguranță este asigurată printr-un grup electrogen de 125 kVA, cu pornire manuală și care alimentează doar secția I de bare 0,4 kV, cele două secții de bare 0,4 kV funcționând cu cupla longitudinală deschisă. Alimentarea cu combustibil a grupului electrogen, precum și probele de funcționare periodică ale acestuia, se efectuează de către personalul operativ al stației, în conformitate cu reglementările în vigoare și se consemnează în „Registrul de funcționare al grupului electrogen”.

În Fig. 6.6 este prezentată schema normală a stației 220/110 kV Săcălaz, valabilă pe trimestrele III-IV 2009, iar în Fig. 6.7 este prezentată schema normală de distribuție SP c.a. a Stației 220/110 kV Săcălaz.

6.4.2. Consumuri și curbe de sarcini

6.4.2.1. Energie electrică

În Tabelul 6.8. sunt prezentate energiile active și reactive aferente SP din stația 220/110 kV Săcălaz în anul 2008, defalcate pe luni și pe cele două TSI-uri.

În continuare se prezintă câteva considerații teoretice privind încărcarea optimă a transformatoarelor de SP din stații, în conformitate cu prescripțiile în vigoare.

- *Sarcina maximă anuală a transformatorului (S_M)* este puterea maximă de durată din anul considerat cu care transformatorul se încarcă în condițiile unei funcționări în regim normal.

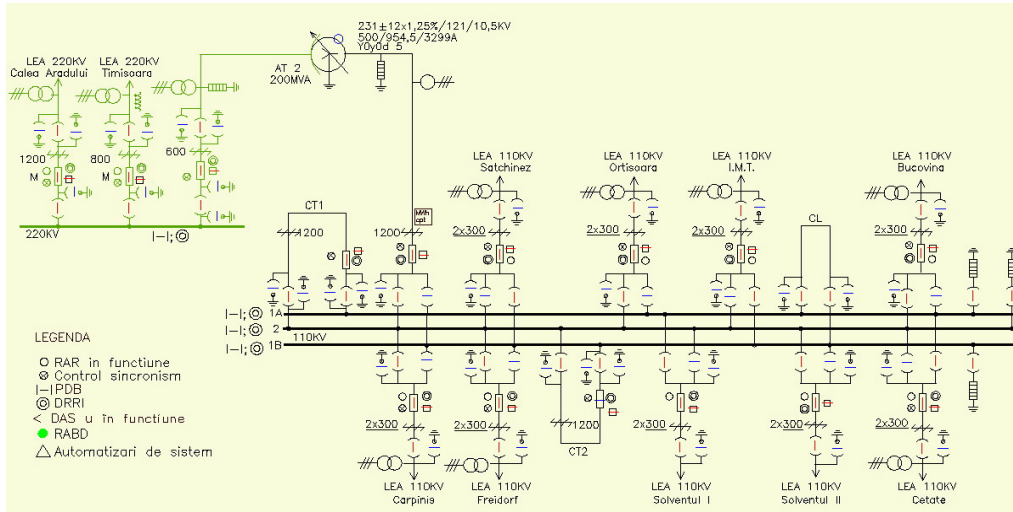


Fig. 6.6. Schema normală a stației 220/110 kV Săcălaz

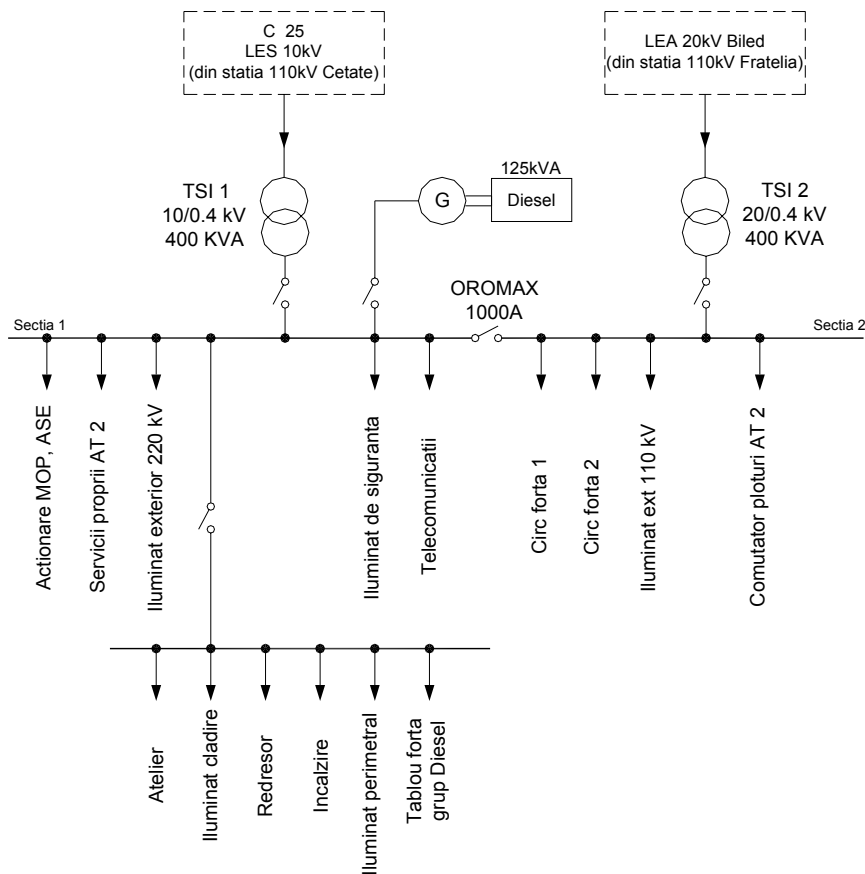


Fig. 6.7. Schema normală de distribuție a SP c.a.din stația 220/110 kV Sacalaz

Tabelul 6.8. Energii active și reactive ale SP din stația Săcălaz în 2008

Luna	TSI	Wa [MWh]	Wr [MVAh]	S _{max} [MVA]	P _{max} [MW]	P _{min} [MW]	Ore funcționare
Ian.	TSI 1	42.962	11.873	0.07495	0.073		742
	TSI 2	0.164	0.047	0.06378	0.062		4
	Total	43.126	11.92	0.07495	0.073	0.037	
Feb.	TSI 1	35.928	11.018	0.075927	0.074		644
	TSI 2	1.449	0.695	0.07879	0.072		48
	Total	37.377	11.713	0.07879	0.074	0.026	
Mar.	TSI 1	35.694	10.972	0.077201	0.073		744
	TSI 2						
	Total	35.694	10.972	0.077201	0.073	0.037	
Apr.	TSI 1	25.402	12.255	0.065969	0.064		707
	TSI 2	0.523	0.233	0.059481	0.057		15
	Total	25.925	12.488	0.065969	0.064		
Mai	TSI 1	18.302	12.444	0.066483	0.062		739
	TSI 2	0.148	0.132	0.037536	0.028		7
	Total	18.45	12.576	0.066483	0.062	0.012	
Iun.	TSI 1	18.236	19.232	0.06435	0.045	0.012	720
	TSI 2						
	Total	18.236	19.232	0.06435	0.045	0.012	
Iul.	TSI 1	19.346	20.402	0.062968	0.043	0.013	744
	TSI 2						
	Total	19.346	20.402	0.062968	0.043	0.013	
Aug.	TSI 1	19.744	20.464	0.062225	0.045	0.017	744
	TSI 2						
	Total	19.744	20.464	0.062225	0.045	0.017	
Sep.	TSI 1	18.179	15.922	0.058051	0.044	0.014	720
	TSI 2						
	Total	18.179	15.922	0.058051	0.044	0.014	
Oct.	TSI 1	16.86	11.222	0.056586	0.046		656
	TSI 2	2.441	1.576	0.051249	0.04		90
	Total	19.301	12.798	0.056586	0.046	0.014	
Nov.	TSI 1	22.461	11.14	0.067801	0.056		651
	TSI 2	2.808	1.057	0.057008	0.055		71
Dec.	TSI 1	31.683	12.312	0.071063	0.069	0.018	744
	TSI 2						
	Total	31.683	12.312	0.071063	0.069	0.018	

- Coeficientul de încărcare la sarcina maximă (k) este raportul dintre sarcina anuală maximă a transformatorului și puterea sa nominală;
- Durata de utilizare a sarcinii maxime anuale (T_{SM}) se calculează cu relația (6.4):

$$T_{SM} = 1,03 \cdot \frac{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}{S_M} \quad (6.4)$$

unde: W_P și W_Q reprezintă estimările cu privire la totalul energiei active și respectiv totalul energiei reactive care se așteaptă a fi tranzitate prin transformator.

În decursul exploatării, un transformator poate fi menținut în funcțiune în condiții normale și economice, atâta timp cât încărcările sale maxime anuale se mențin în domeniu delimitat de coeficienții de încărcare k_{inf} și k_{sup} . În Tabelul 6.9 sunt prezentați coeficienții de încărcare ai transformatoarelor, la sarcinile lor maxime anuale.

Tabelul 6.9. Coeficienții de încărcare ai T la S_{max} anual

Durata de utilizare a sarcinii maxime [ore/an]	Transformatoare cu bobinaje din aluminiu și cupru	
	k_{inf}	k_{sup}
$T_{SM} < 4000$	0,45	0,95
$4000 < T_{SM} < 6000$	0,40	0,90
$T_{SM} > 6000$	0,35	0,85

- *Stabilirea puterii nominale economice pentru transformatorul cu care se face înlocuirea.* În funcție de durata de utilizare a sarcinii maxime anuale și de coeficienții de încărcare (Tabelul 6.9), se stabilește sarcina nominală minimă (6.5):

$$S_{n\min} = \frac{S_M}{k_{sup}} \quad (6.5)$$

Se alege treapta de putere imediat superioară = S_{nec} .

Sarcina limită din punct de vedere al pierderilor totale minime la care se impune schimbarea transformatorului, este dată de relația (6.6):

$$S_{lim} = \sqrt{\frac{P_{Fe1} - P_{Fe2}}{\frac{P_{scc2}}{S_{n2}^2} - \frac{P_{scc1}}{S_{n1}^2}}} \quad (6.6)$$

unde: p_{Fe1} , p_{Fe2} sunt pierderile în fier ale celor 2 transformatoare [kW]; p_{scc1} , p_{scc2} - pierderile în scurtcircuit [kW]; S_{n1} , S_{n2} - puterile nominale ale transformatoarelor [kW].

Relația de calcul pentru pierderile de energie activă în transformator, este următoarea (6.7):

$$\Delta W_a = p_{Fen} \cdot T_0 + k_f^2 \cdot p_{Cun} \cdot \left(\frac{S_{med}}{S_n} \right)^2 \cdot T \quad (6.7)$$

unde: T_0 - este durata cât transformatorul este sub tensiune; T - durata considerată; p_{Fen} - pierderile în miez nominale (date de catalog); p_{Cun} - pierderile în înfășurări nominale (date de catalog); k_f - coeficient de formă al graficului de sarcină, relația (6.8).

$$k_f = \sqrt{n} \cdot \frac{\sqrt{\sum_{aj}^n W_{aj}^2}}{\sum_{aj}^n W_{aj}} \quad (6.8)$$

n - numărul de ore de funcționare/lună; W_{aj} - energiile active orare.

- *Calculul energiei reactive necesară a fi produsă local*
Energia reactivă inductivă W_{r0} ce corespunde factorului de putere neutral ($\cos \varphi = 0,92$), este dată de relația (6.9):

$$W_{r0} = 0,426 \cdot W_a \quad (6.9)$$

unde W_a este energia activă consumată.

Energia reactivă necesară a fi produsă local W_{rif} este dată de relația (6.10):

$$W_{rif} = W_r - W_{r0} \quad (6.10)$$

unde W_r este energia reactivă consumată.

- *Determinarea caracteristicilor instalațiilor de compensare*

Calculul valorilor orare ale puterii reactive medii orare, corespunzătoare factorului de putere neutral, pentru curba de sarcină a unei zile de lucru, se face cu relația (6.11):

$$Q_1 = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (6.11)$$

unde P_c este puterea orară consumată; $\operatorname{tg} \varphi$ – valoare tangentei corespunzătoare factorului de putere ($\cos \varphi = 0,92$).

Valoarea puterii reactive ce trebuie compensate Q_2 este dată de relația (6.12):

$$Q_2 = Q_c - Q_1 \quad (6.11)$$

□ **Breviar de calcul pentru TSI 1**

Din analiza Tabelului 6.8 se constată următoarele (mărimi anuale):

- Total energie activă TSI 1 304.797 MWh
- Total energie activă TSI 2 7.533 MWh
- Total energie activă stație 312.330 MWh
- Total energie reactivă TSI 1 261.835 MVarh
- Total energie reactivă TSI 2 7.369 MVarh
- Total energie reactivă stație 269.204 MVarh
- Sarcina maximă pe stație 0.07879 MVA

Datele de catalog ale transformatorului TSI 1 existent, sunt următoarele:

- $S_n = 400$ KVA
- $U_{ni}/U_{nj} = 10/0.4$ KV
- $U_{scc} = 6\%$
- $p_{fe} = 0.94$ kW
- $p_{cu} = 6$ kW
- $I_o = 2.8\%$
- D/Yn-5
- Coeficientul de încărcare la sarcina maximă $K = 19,7\%$
- Durata de utilizare a sarcinii maxime $T_{sm} = 5390$ ore

Având în vedere că încărcarea maximă anuală ajunge să coboare sub valoarea K_{inf} se recomandă înlocuirea transformatorului TSI 1 existent de 400 kVA, cu unul de putere nominală mai mică.

Stabilirea puterii nominale economice în proiectare

Sarcina nominală minimă este $S_{nec.min} = 87,5$ KVA

Din scara puterilor nominale normalizate, se alege treapta imediat următoare.

Din Tabelul 2 al prescripției 3.RE-IP-51/2-93-Instrucțiuni privind stabilirea puterilor nominale economice pentru transformatoarele din posturi, se alege un transformator cu puterea nominală de 100 kVA.

În Tabelul 6.10. în ultimele două coloane, sunt prezentate pierderile din anul 2008, în actualul TSI 1 de 400 kVA și în cel propus de 100 kVA.

Rezultă o diferență de pierderi de energie de cca. 2 MWh pe an.

Caracteristicile de catalog ale TSI propus sunt următoarele:

- $S_n = 100$ kVA
- $U_{ni}/U_{nj} = 10/0.4$ kV
- $U_{scc} = 4\%$
- $p_{fe} = 0.35$ kW
- $p_{cu} = 2.3$ kW
- $I_o = 3\%$
- Yzn 5

Tabelul 6.10. Compararea pierderilor între T400 kVA și T100 kVA

Luna	S _{max} [MVA]	S _{med} [MVA]	P _{max} [MW]	P _{med} [MW]	cos Ø med	W _a [MWh]	W _r [MWh]	400 kVA	100 kVA
								ΔW [MWh]	ΔW [MWh]
IAN	0.07495	0.0601385	0.073	0.0579651	0.96386	43.126	11.92	0.752282	0.888634
FEB	0.07879	0.0582877	0.074	0.0556205	0.954242	37.377	11.71	0.719727	0.775225
MAR	0.077201	0.0501912	0.073	0.0479758	0.95586	35.694	10.97	0.771973	0.705758
APR	0.065969	0.0399666	0.064	0.0360069	0.900926	25.925	12.49	0.723731	0.539843
MAI	0.066483	0.0300113	0.062	0.0247984	0.826301	18.45	12.58	0.72765	0.433913
IUN	0.06435	0.0368101	0.045	0.0253278	0.688067	18.236	19.23	0.716039	0.492664
IUL	0.062968	0.0377903	0.043	0.0260027	0.688078	19.346	20.4	0.741854	0.521031
AUG	0.062225	0.0382203	0.045	0.0265376	0.694333	19.744	20.46	0.742178	0.523016
SEP	0.058051	0.0335636	0.044	0.0252486	0.752261	18.179	15.92	0.708964	0.449275
OCT	0.056586	0.0311271	0.046	0.0259422	0.833429	19.301	12.8	0.728276	0.437749
NOV	0.067801	0.0389704	0.056	0.0350958	0.900577	25.269	12.2	0.720817	0.521971
DEC	0.071063	0.045687	0.069	0.0425847	0.932096	31.683	12.31	0.760982	0.638349
TOTAL						312.33	173	8.814473	6.927428

Rezultă o diferență de pierderi de energie de cca. 2 MWh pe an.

Caracteristicile de catalog ale TSI propus sunt următoarele:

- S_n = 100 kVA
- U_{ni}/U_{nj} = 10/0.4 kV
- U_{scc} = 4%
- p_{fe} = 0.35 kW
- p_{cu} = 2.30 kW
- I_o = 3%
- Yzn 5

În Tabelele 6.11-6.22 și Fig. 6.8-6.19 sunt reprezentate curbele de sarcină puterile active și reactive din zilele caracteristice aferente fiecărei luni din anul 2008.

Tabelul 6.11. Curbele de sarcină P,Q,S din 04.01.2008

04.01.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.067	0.017	0.06912
2:00 AM	0.066	0.017	0.06815
3:00 AM	0.068	0.018	0.07034
4:00 AM	0.067	0.017	0.06912
5:00 AM	0.068	0.018	0.07034
6:00 AM	0.067	0.017	0.06912
7:00 AM	0.073	0.017	0.07495
8:00 AM	0.071	0.017	0.07301
9:00 AM	0.067	0.015	0.06866
10:00 AM	0.059	0.015	0.06088
11:00 AM	0.063	0.015	0.06476
12:00 PM	0.053	0.014	0.05482
1:00 PM	0.043	0.015	0.04554
2:00 PM	0.057	0.014	0.05869
3:00 PM	0.062	0.015	0.06379
4:00 PM	0.061	0.015	0.06282
5:00 PM	0.064	0.016	0.06597
6:00 PM	0.064	0.015	0.06573
7:00 PM	0.067	0.015	0.06866
8:00 PM	0.068	0.016	0.06986
9:00 PM	0.068	0.015	0.06963
10:00 PM	0.07	0.017	0.07203
11:00 PM	0.069	0.016	0.07083
12:00 PM	0.067	0.017	0.06912

Tabelul 6.12. Curbele de sarcină P,Q,S din 04.02.2008

04.02.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.057	0.016	0.0592
2:00 AM	0.063	0.017	0.06525
3:00 AM	0.061	0.017	0.06332
4:00 AM	0.059	0.017	0.0614
5:00 AM	0.058	0.017	0.06044
6:00 AM	0.059	0.016	0.06113
7:00 AM	0.05	0.016	0.0525
8:00 AM	0.043	0.014	0.04522
9:00 AM	0.062	0.015	0.06379
10:00 AM	0.047	0.014	0.04904
11:00 AM	0.041	0.014	0.04332
12:00 PM	0.058	0.014	0.05967
1:00 PM	0.048	0.015	0.05029
2:00 PM	0.047	0.014	0.04904
3:00 PM	0.046	0.015	0.04838
4:00 PM	0.049	0.015	0.05124
5:00 PM	0.051	0.016	0.05345
6:00 PM	0.049	0.016	0.05155
7:00 PM	0.054	0.016	0.05632
8:00 PM	0.059	0.015	0.06088
9:00 PM	0.06	0.016	0.0621
10:00 PM	0.057	0.017	0.05948
11:00 PM	0.054	0.015	0.05604
12:00 PM	0.053	0.016	0.05536

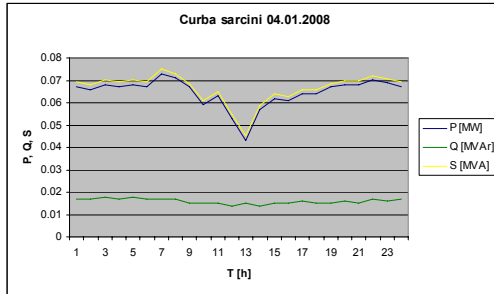


Fig. 6.8. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.01.2008

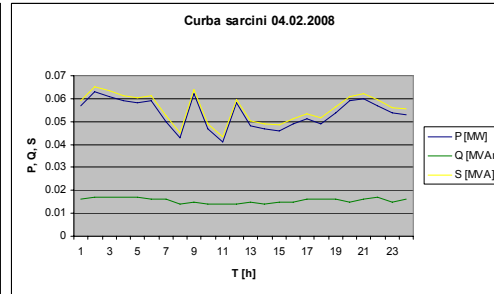


Fig. 6.9. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.02.2008

Tabelul 6.13. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.03.2008

04.01. 08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.052	0.016	0.05441
2:00 AM	0.049	0.016	0.05155
3:00 AM	0.05	0.017	0.05281
4:00 AM	0.049	0.016	0.05155
5:00 AM	0.053	0.017	0.05566
6:00 AM	0.047	0.017	0.04998
7:00 AM	0.043	0.016	0.04588
8:00 AM	0.052	0.015	0.05412
9:00 AM	0.041	0.013	0.04301
10:00 AM	0.05	0.015	0.0522
11:00 AM	0.043	0.015	0.04554
12:00 PM	0.047	0.015	0.04934
1:00 PM	0.042	0.015	0.0446
2:00 PM	0.045	0.014	0.04713
3:00 PM	0.045	0.015	0.04743
4:00 PM	0.043	0.016	0.04588
5:00 PM	0.046	0.016	0.0487
6:00 PM	0.041	0.016	0.04401
7:00 PM	0.053	0.016	0.05536
8:00 PM	0.052	0.016	0.05441
9:00 PM	0.045	0.017	0.0481
10:00 PM	0.058	0.017	0.06044
11:00 PM	0.053	0.016	0.05536
12:00 PM	0.047	0.015	0.04934

Tabelul 6.14. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.04.2008

04.02.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.047	0.015	0.04934
2:00 AM	0.046	0.016	0.0487
3:00 AM	0.047	0.016	0.04965
4:00 AM	0.047	0.016	0.04965
5:00 AM	0.048	0.016	0.0506
6:00 AM	0.049	0.016	0.05155
7:00 AM	0.062	0.015	0.06379
8:00 AM	0.053	0.015	0.05508
9:00 AM	0.039	0.015	0.04179
10:00 AM	0.057	0.016	0.0592
11:00 AM	0.043	0.015	0.04554
12:00 PM	0.033	0.015	0.03625
1:00 PM	0.031	0.015	0.03444
2:00 PM	0.046	0.016	0.0487
3:00 PM	0.034	0.016	0.03758
4:00 PM	0.033	0.015	0.03625
5:00 PM	0.034	0.016	0.03758
6:00 PM	0.029	0.016	0.03312
7:00 PM	0.032	0.016	0.03578
8:00 PM	0.045	0.016	0.04776
9:00 PM	0.042	0.016	0.04494
10:00 PM	0.064	0.016	0.06597
11:00 PM	0.057	0.017	0.05948
12:00 PM	0.056	0.017	0.05852

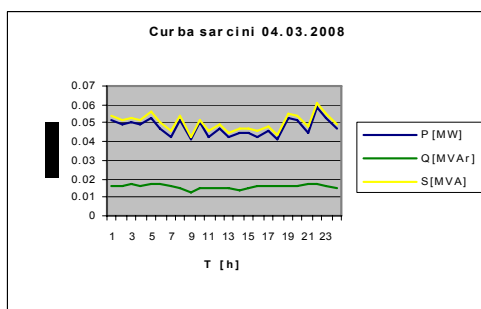


Fig. 6.10. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.03.2008

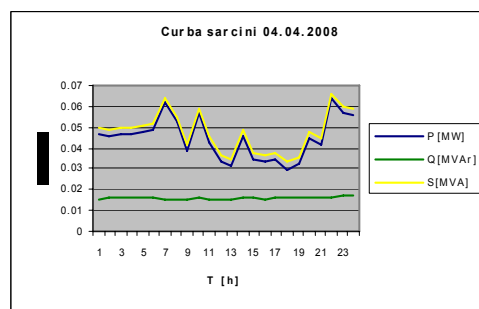


Fig. 6.11. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.04.2008

Tabelul 6.15. Curbele de sarcină P, Q, S din 06.05.2008

04.01.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.033	0.016	0.03667
2:00 AM	0.041	0.017	0.04438
3:00 AM	0.035	0.017	0.03891
4:00 AM	0.041	0.018	0.04478
5:00 AM	0.033	0.017	0.03712
6:00 AM	0.04	0.017	0.04346
7:00 AM	0.031	0.019	0.03636
8:00 AM	0.031	0.023	0.0386
9:00 AM	0.036	0.022	0.04219
10:00 AM	0.029	0.023	0.03701
11:00 AM	0.026	0.022	0.03406
12:00 PM	0.025	0.022	0.0333
1:00 PM	0.025	0.023	0.03397
2:00 PM	0.031	0.028	0.04177
3:00 PM	0.03	0.029	0.04173
4:00 PM	0.03	0.031	0.04314
5:00 PM	0.03	0.03	0.04243
6:00 PM	0.03	0.03	0.04243
7:00 PM	0.043	0.031	0.05301
8:00 PM	0.031	0.026	0.04046
9:00 PM	0.031	0.022	0.03801
10:00 PM	0.038	0.023	0.04442
11:00 PM	0.055	0.022	0.05924
12:00 PM	0.043	0.022	0.0483

Tabelul 6.16. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.06.2008

04.02.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.037	0.042	0.05597
2:00 AM	0.038	0.042	0.05664
3:00 AM	0.037	0.043	0.05673
4:00 AM	0.039	0.044	0.0588
5:00 AM	0.039	0.043	0.05805
6:00 AM	0.036	0.043	0.05608
7:00 AM	0.036	0.042	0.05532
8:00 AM	0.035	0.041	0.05391
9:00 AM	0.035	0.04	0.05315
10:00 AM	0.036	0.043	0.05608
11:00 AM	0.035	0.044	0.05622
12:00 PM	0.036	0.044	0.05685
1:00 PM	0.035	0.043	0.05544
2:00 PM	0.035	0.043	0.05544
3:00 PM	0.036	0.043	0.05608
4:00 PM	0.035	0.044	0.05622
5:00 PM	0.034	0.043	0.05482
6:00 PM	0.033	0.043	0.0542
7:00 PM	0.034	0.043	0.05482
8:00 PM	0.035	0.043	0.05544
9:00 PM	0.034	0.044	0.05561
10:00 PM	0.034	0.041	0.05326
11:00 PM	0.031	0.034	0.04601
12:00 PM	0.022	0.024	0.03256

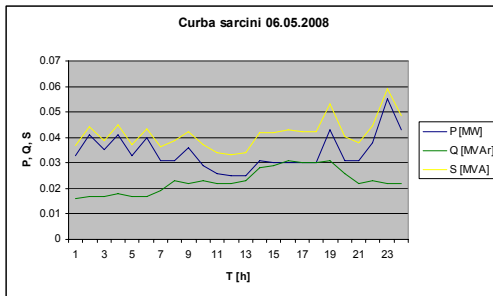


Fig. 6.12. Curbele de sarcină P, Q, S din 06.05.2008

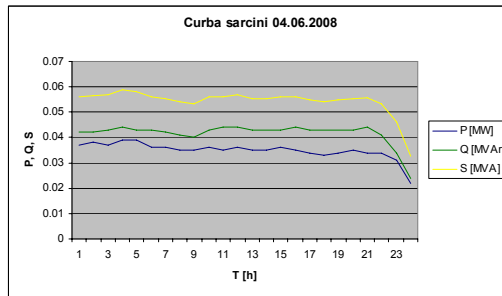


Fig. 6.13. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.06.2008

Tabelul 6.17. Curbele de sarcină P, Q, S din 03.07.2008

04.01.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.03	0.028	0.04031
2:00 AM	0.03	0.03	0.04173
3:00 AM	0.03	0.03	0.04173
4:00 AM	0.03	0.029	0.04173
5:00 AM	0.03	0.023	0.03397
6:00 AM	0.02	0.017	0.02476
7:00 AM	0.02	0.017	0.02404
8:00 AM	0.02	0.016	0.02408
9:00 AM	0.02	0.015	0.02267
10:00 AM	0.02	0.015	0.02193
11:00 AM	0.02	0.016	0.02263

Tabelul 6.18. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.08.2008

04.02.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.029	0.03	0.041725
2:00 AM	0.029	0.03	0.041725
3:00 AM	0.029	0.029	0.041012
4:00 AM	0.029	0.031	0.04245
5:00 AM	0.029	0.031	0.04245
6:00 AM	0.029	0.031	0.04245
7:00 AM	0.026	0.03	0.039699
8:00 AM	0.026	0.029	0.038949
9:00 AM	0.026	0.029	0.038949
10:00 AM	0.027	0.028	0.038897
11:00 AM	0.028	0.028	0.039598

04.01.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
12:00 PM	0.02	0.015	0.02267
1:00 PM	0.02	0.016	0.02408
2:00 PM	0.02	0.015	0.025
3:00 PM	0.02	0.016	0.02484
4:00 PM	0.02	0.016	0.02484
5:00 PM	0.02	0.015	0.02343
6:00 PM	0.02	0.017	0.02476
7:00 PM	0.02	0.016	0.02335
8:00 PM	0.02	0.016	0.02335
9:00 PM	0.02	0.017	0.02476
10:00 PM	0.02	0.021	0.0297
11:00 PM	0.03	0.031	0.04314
12:00 PM	0.03	0.031	0.04314

04.02.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
12:00 PM	0.029	0.03	0.041725
1:00 PM	0.032	0.028	0.042521
2:00 PM	0.033	0.029	0.043932
3:00 PM	0.034	0.029	0.044688
4:00 PM	0.034	0.031	0.046011
5:00 PM	0.033	0.031	0.045277
6:00 PM	0.034	0.031	0.046011
7:00 PM	0.032	0.03	0.043863
8:00 PM	0.028	0.031	0.041773
9:00 PM	0.029	0.031	0.04245
10:00 PM	0.024	0.024	0.033941
11:00 PM	0.026	0.024	0.035384
12:00 PM	0.025	0.025	0.035355

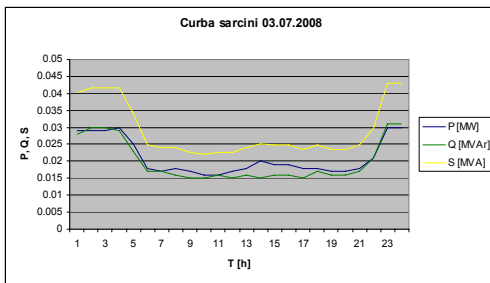


Fig. 6.14. Curbele de sarcină P, Q, S din 03.07.2008

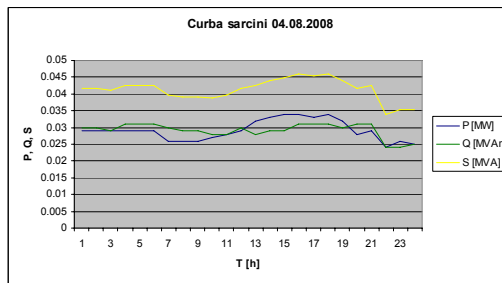


Fig. 6.15. Curbele de sarcină P, Q, S din 04.08.2008

Tabelul 6.19. Curbele de sarcină P, Q, S din 03.09.2008

04.01.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.029	0.03	0.04173
2:00 AM	0.028	0.029	0.04031
3:00 AM	0.029	0.031	0.04245
4:00 AM	0.028	0.03	0.04104
5:00 AM	0.029	0.03	0.04173
6:00 AM	0.03	0.03	0.04243
7:00 AM	0.025	0.025	0.03536
8:00 AM	0.016	0.015	0.02193
9:00 AM	0.017	0.015	0.02267
10:00 AM	0.017	0.019	0.0255
11:00 AM	0.026	0.029	0.03895
12:00 PM	0.026	0.028	0.03821
1:00 PM	0.026	0.027	0.03748
2:00 PM	0.026	0.027	0.03748
3:00 PM	0.025	0.029	0.03829
4:00 PM	0.026	0.028	0.03821
5:00 PM	0.026	0.028	0.03821
6:00 PM	0.027	0.03	0.04036
7:00 PM	0.026	0.029	0.03895
8:00 PM	0.027	0.03	0.04036
9:00 PM	0.028	0.029	0.04031
10:00 PM	0.03	0.032	0.04386
11:00 PM	0.03	0.03	0.04243
12:00 PM	0.029	0.029	0.04101

Tabelul 6.20. Curbele de sarcină P, Q, S din 02.10.2008

04.02.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.028	0.017	0.03276
2:00 AM	0.027	0.016	0.03138
3:00 AM	0.022	0.017	0.0278
4:00 AM	0.021	0.018	0.02766
5:00 AM	0.022	0.017	0.0278
6:00 AM	0.027	0.017	0.03191
7:00 AM	0.029	0.017	0.03362
8:00 AM	0.023	0.015	0.02746
9:00 AM	0.024	0.016	0.02884
10:00 AM	0.019	0.016	0.02484
11:00 AM	0.016	0.016	0.02263
12:00 PM	0.015	0.016	0.02193
1:00 PM	0.015	0.015	0.02121
2:00 PM	0.017	0.017	0.02404
3:00 PM	0.015	0.016	0.02193
4:00 PM	0.016	0.016	0.02263
5:00 PM	0.015	0.016	0.02193
6:00 PM	0.015	0.016	0.02193
7:00 PM	0.015	0.016	0.02193
8:00 PM	0.022	0.016	0.0272
9:00 PM	0.034	0.015	0.03716
10:00 PM	0.02	0.016	0.02561
11:00 PM	0.029	0.016	0.03312
12:00 PM	0.022	0.016	0.0272

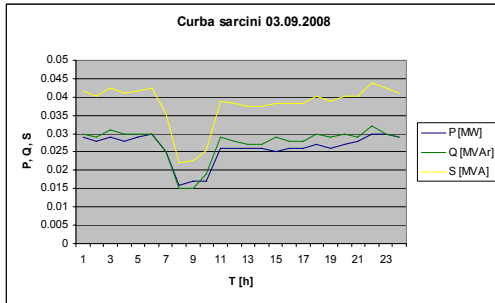


Fig. 6.16. Curbele de sarcină P, Q, S din 03.09.2008

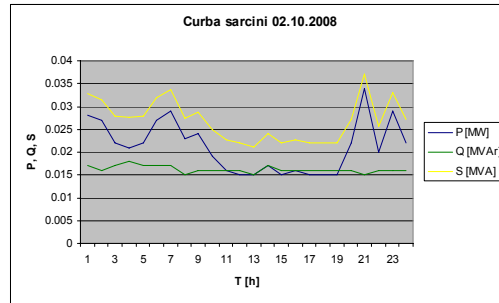


Fig. 6.17. Curbele de sarcină P, Q, S din 02.10.2008

Tabelul 6.21. Curbele de sarcină P, Q, S din 05.11.2008

04.01.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.03	0.016	0.034
2:00 AM	0.03	0.017	0.03023
3:00 AM	0.03	0.017	0.03362
4:00 AM	0.03	0.018	0.03245
5:00 AM	0.03	0.017	0.03362
6:00 AM	0.03	0.016	0.03053
7:00 AM	0.02	0.016	0.02802
8:00 AM	0.03	0.016	0.03138
9:00 AM	0.03	0.015	0.03444
10:00 AM	0.03	0.023	0.04022
11:00 AM	0.04	0.029	0.0478
12:00 PM	0.04	0.029	0.04623
1:00 PM	0.03	0.029	0.04101
2:00 PM	0.03	0.029	0.03962
3:00 PM	0.03	0.03	0.04036
4:00 PM	0.03	0.03	0.04173
5:00 PM	0.05	0.031	0.06054
6:00 PM	0.03	0.023	0.03624
7:00 PM	0.02	0.017	0.0286
8:00 PM	0.04	0.017	0.04624
9:00 PM	0.03	0.017	0.03624
10:00 PM	0.04	0.017	0.04624
11:00 PM	0.04	0.017	0.04254
12:00 PM	0.04	0.017	0.04254

Tabelul 6.22. Curbele de sarcină P, Q, S din 03.12.2008

04.02.08 Ora	P [MW]	Q [MVAR]	S [MVA]
1:00 AM	0.027	0.017	0.03191
2:00 AM	0.029	0.017	0.03362
3:00 AM	0.027	0.017	0.03191
4:00 AM	0.028	0.017	0.03276
5:00 AM	0.028	0.017	0.03276
6:00 AM	0.029	0.017	0.03362
7:00 AM	0.03	0.017	0.03448
8:00 AM	0.04	0.016	0.04308
9:00 AM	0.036	0.015	0.039
10:00 AM	0.047	0.015	0.04934
11:00 AM	0.033	0.017	0.03712
12:00 PM	0.026	0.021	0.03342
1:00 PM	0.048	0.022	0.0528
2:00 PM	0.03	0.022	0.0372
3:00 PM	0.039	0.021	0.04429
4:00 PM	0.035	0.023	0.04188
5:00 PM	0.04	0.018	0.04386
6:00 PM	0.046	0.016	0.0487
7:00 PM	0.027	0.016	0.03138
8:00 PM	0.031	0.019	0.03636
9:00 PM	0.052	0.017	0.05471
10:00 PM	0.044	0.017	0.04717
11:00 PM	0.044	0.017	0.04717
12:00 PM	0.042	0.017	0.04531

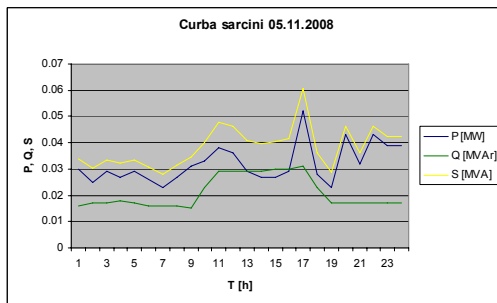


Fig. 6.18. Curbele de sarcină P, Q, S din 05.11.2008

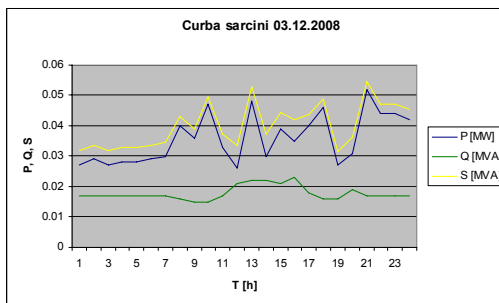


Fig. 6.19. Curbele de sarcină P, Q, S din 03.12.2008

6.4.2.2. Energie termică

În Tabelul 6.23. sunt prezentate consumurile medii orare de energie termică pentru anul 2008 [kWh], aferente stației 220/110 kV Săcălaz, pentru lunile când nu a funcționa încălzirea (primăvară-vară).

Tabelul 6.23. Consumurile medii orare de energie termică pentru anul 2008 [kWh], aferente stației 220/110 kV Săcălaz – lunile mai-septembrie

Ora	Luna				
	Mai	Iunie	Iulie	August	Septembrie
1	4	3	3	4	4
2	4	3	3	4	4
3	4	3	3	4	4
4	4	3	3	4	4
5	4	3	3	4	4
6	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1
9	4	3	3	4	4
10	4	3	3	4	4
11	4	3	3	4	4
12	4	3	3	4	4
13	4	3	3	4	4
14	4	3	3	4	4
15	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1
18	4	3	3	4	4
19	4	3	3	4	4
20	4	3	3	4	4
21	4	3	3	4	4
22	4	3	3	4	4
23	4	3	3	4	4
24	4	3	3	4	4
Total	71.4	59.7	68.9	88.9	75.0

În Fig. 6.20. s-a prezentat sub formă grafică, variația zilnică a consumului de energie termică prezentat în Tabelul 6.23.

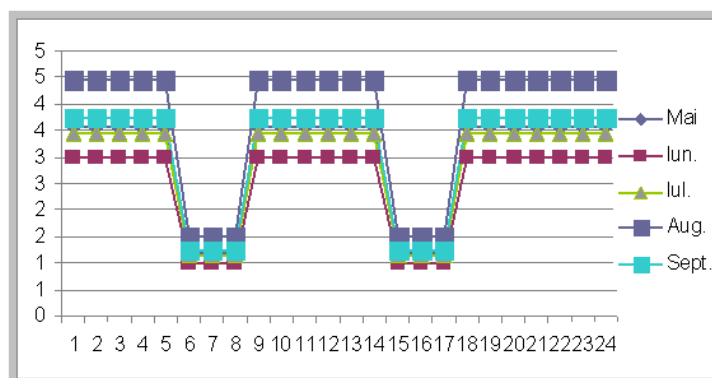


Fig. 6.20. Variația zilnică a consumului de energie termică pentru lunile în care nu funcționează încălzirea

În Tabelul 6.24. sunt prezentate consumurile medii orare de energie termică pentru anul 2008 [kWh], aferente stației 220/110 kV Săcălaz, pentru lunile când a funcționat încălzirea (toamnă-iarnă).

Tabelul 6.24. Consumurile medii orare de energie termică pentru anul 2008 [kWh], aferente stației 220/110 kV Săcălaz – lunile ianuarie-decembrie

Ora	Luna						
	Ianuarie	Februarie	Martie	Aprilie	Octombrie	Noiembrie	Decembrie
1	78	72	63	28	44	75	99
2	78	72	63	28	44	75	99
3	78	72	63	28	44	75	99
4	78	72	63	28	44	75	99
5	78	72	63	28	44	75	99
6	78	72	63	28	44	75	99
7	71	66	57	26	40	68	90
8	65	60	52	24	37	62	82
9	60	55	48	22	34	58	76
10	56	52	45	20	32	53	70
11	49	45	39	18	28	47	62
12	43	40	35	16	25	42	55
13	39	36	31	14	22	37	49
14	39	36	31	14	22	37	49
15	39	36	31	14	22	37	49
16	39	36	31	14	22	37	49
17	43	40	35	16	25	42	55
18	49	45	39	18	28	47	62
19	56	52	45	20	32	53	70
20	60	55	48	22	34	58	76
21	65	60	52	24	37	62	82
22	71	66	57	26	40	68	90
23	78	72	63	28	44	75	99
24	78	72	63	28	44	75	99
Total	1469.1	1356.7	1180.1	535.1	831.6	1406.7	1854.3

În Fig. 6.21. s-a prezentat sub formă grafică, variația zilnică a consumului de energie termică prezentat în Tabelul 6.24.

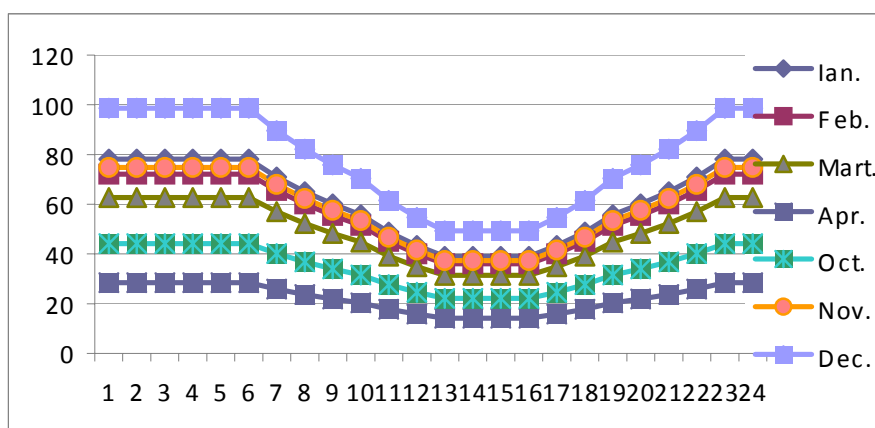


Fig. 6.21. Variația zilnică a consumului de energie termică pentru lunile în care funcționează încălzirea

6.4.3. Variante analizate cu programul Homer

Din analiza variantelor de soluții posibile privind folosirea pilelor de combustie pentru alimentarea SP (subcapitolul 6.2), a rezultat că cea mai avantajoasă din punct de vedere economic, respectiv a eficienței, este varianta prezentată în Fig. 6.3, pila de combustie având rol de sursă normală și de siguranță. Pentru a identifica o schemă optimă în cadrul acestei soluții, care să stabilească puterea pilei precum și necesarul de putere din sistem, au fost analizate 3 variante de soluții, numerotate 1, 2 și 3. În toate cele trei variante analizate, pila de combustie îndeplinește rolul de sursă normală și de siguranță, iar sursa de rezervă este considerată din sistem (o LEA de M.T.). Diferențele între variante constau în puterea pilei (kW), aportul din sistem (kW) și prețul de vânzare a energiei în exces produsă de pilă (fără subvenție, cu subvenție 1 CV și cu subvenție 2 CV). Varianta optimă s-a stabilit în urma analizei efectuate cu programul Homer realizat de National Renewable Energy Laboratory ('NREL') U.S. Department of Energy ('DOE') și adaptat de către autor. Programul este orientat pe analiza mini-sistemelor independente sau conectate la rețea pentru furnizarea energiei electrice pe baza surselor alternative.

Prețurile la gaz metan și energia electrică achiziționate pentru SP și care au fost luate în considerare ca date de intrare la analiza variantelor sunt reale, stabilite în baza contractelor cu furnizorii de gaz (Distrigaz) și electricitate (Enel Electrica Banat).

În variantele prezentate mai jos, „sarcina electrică” reprezintă consumatorii de SP c.a. și c.c., iar „sarcina termică” reprezintă necesarul de energie termică al stației Săcălaz, atât pe perioada de vară (apă caldă), cât și pe perioada de iarnă (încălzire și apă caldă). Aceste consumuri sunt stabilite pe baza curbelor de sarcină medii lunare, prezentate în subcapitolul 6.4.2.

Pentru fiecare dintre cele trei variante analizate (1, 2, 3), programul Homer analizează diverse combinații de surse de energie și timpi de funcționare (zeci de subvariante), care în final sunt ierarhizate în funcție de rezultatele globale (tehnice și financiare) ale fiecăreia. Din tabelele corespunzător variantelor 1, 2 și 3 a fost selectată prima subvariantă (care are cele mai mici costuri), pentru care s-a prezentat în detaliu Raportul de sistem. Perioada de analiză pentru fiecare dintre variantele puse în discuție a fost 20 de ani.

□ Varianta 1

Schema principală a celor trei variante analizate este prezentată în Fig. 6.22.

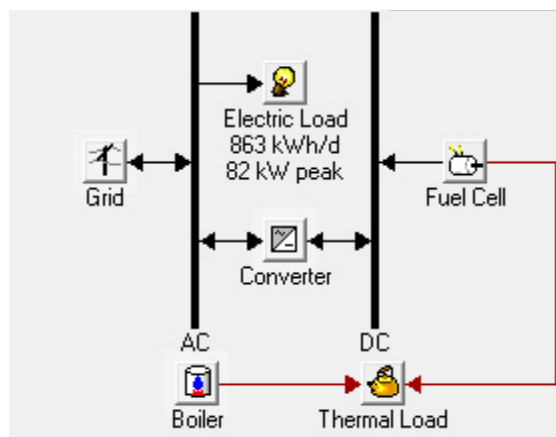


Fig. 6.22. Schema variantelor analizate

Datele de intrare aferente variantei 1 sunt următoarele:

- celulă de combustie $FC\ 25\ kW$;
- aport din sistem $100\ kW$;
- multiplicator $FC = 0,5$;
- preț de vânzare energie (fără CV) $0,204\ \$/kWh$;
- preț achiziție energie din sistem $0,15\ \$/kWh$;

În Tabelul 6.25 se prezintă ierarhizarea din punct de vedere al costurilor a subvariantelor analizate în cadrul Variantei 1. Din tabel a fost selectată subvarianta cea mai bine plasată, pentru care s-a listat Raportul de sistem al Variantei 1, prezentat în continuare.

Tabelul 6.25. Subvariantele variantei 1

Sensitivity Results		Optimization Results									
Sensitivity variables											
FC Capital Multiplier	0.5	Rate 1 Power Price (\$/kWh)	0.089								
		Rate 1 Demand Rate (\$/kW/mo.)	0								
Double click on a system below for simulation results.											
	FC (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Natural gas (m3)	FC (hrs)
	25	25	100	\$ 73,750	56,104	\$ 624,587	0.155	0.00	0.00	46,872	4,958
	25	25	75	\$ 73,750	56,104	\$ 624,587	0.155	0.00	0.00	46,872	4,958
	25	50	100	\$ 91,250	56,129	\$ 642,332	0.161	0.00	0.00	46,872	4,958
	25	50	75	\$ 91,250	56,129	\$ 642,332	0.161	0.00	0.00	46,872	4,958
	25	75	100	\$ 108,750	56,154	\$ 660,078	0.167	0.00	0.00	46,872	4,958
	25	75	75	\$ 108,750	56,154	\$ 660,078	0.167	0.00	0.00	46,872	4,958
	50	50	100	\$ 147,500	52,465	\$ 662,608	0.168	0.00	0.00	57,646	4,000
	50	50	75	\$ 147,500	52,465	\$ 662,608	0.168	0.00	0.00	57,646	4,000
	50	75	100	\$ 165,000	52,490	\$ 680,353	0.173	0.00	0.00	57,646	4,000
	50	75	75	\$ 165,000	52,490	\$ 680,353	0.173	0.00	0.00	57,646	4,000
	50	25	75	\$ 130,000	57,061	\$ 690,231	0.177	0.00	0.00	29,909	129
	50	25	100	\$ 130,000	57,113	\$ 690,742	0.177	0.00	0.00	29,405	0
	75	75	100	\$ 221,250	49,429	\$ 706,552	0.182	0.00	0.00	55,583	2,469
	75	75	75	\$ 221,250	49,429	\$ 706,552	0.182	0.00	0.00	55,583	2,469
	75	25	100	\$ 186,250	56,176	\$ 737,794	0.192	0.00	0.00	29,405	0
	75	25	75	\$ 186,250	56,204	\$ 738,070	0.192	0.00	0.00	29,920	129
	75	50	75	\$ 203,750	56,017	\$ 753,730	0.197	0.00	0.00	30,402	129
	75	50	100	\$ 203,750	56,201	\$ 755,539	0.198	0.00	0.00	29,405	0

Raport de sistem – Varianta 1

Date de intrare

Multiplicator cost pilă:	0.5
Multiplicator cost înlocuire pilă:	0.5
Preț energie:	0.15 \$/kWh
Taxa fixă de consum:	0 \$/kW/lună

Arhitectura sistemului propriu

Celule de combustibil	25 kW
Rețea	100 kW
Invertor	25 kW
Redresor	25 kW

Sumar de costuri

Total cost net prezent	720.176 \$
Cost de energie uniform	0.186 \$/kWh
Cost de funcționare	65.840 \$/an

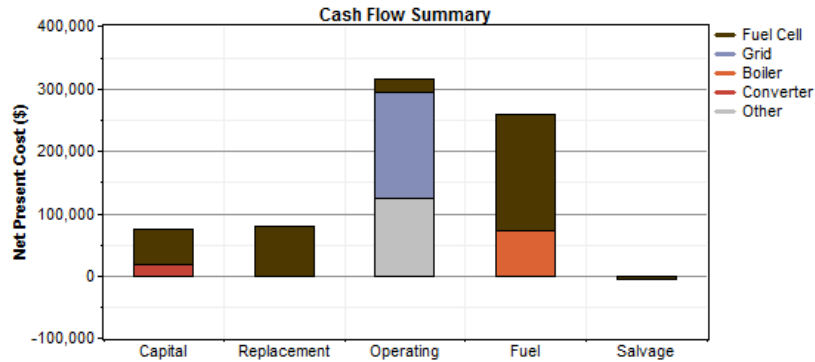


Fig. 6.23 Sumarul fluxurilor de capital (cash-flow)

Tabel 6.26. Costuri nete actualizate

Compo-nenta	Costuri de investiție (\$)	Cost de înlocuire (\$)	Exploatare Mentenanță (\$)	Cheltuieli de combustibil (\$)	Economie (\$)	Total (\$)
Pilă de combustie	56.250	78.416	21.499	187.279	-5.824	337.620
Rețea	0	0	170.356	0	0	170.356
Boiler	0	0	0	71.463	0	71.463
Convertor	17.500	0	245	0	0	17.745
Altele	0	0	122.992	0	0	122.992
Sistem	73.750	78.416	315.093	258.742	-5.824	720.176

Tabel 6.27. Costuri anuale

Compo-nenta	Costuri de investiție (\$/an)	Cost de înlocuire (\$/an)	Exploatare Mentenanță (\$/an)	Cheltuieli de combustibil (\$/an)	Economie (\$/an)	Total (\$/an)
Pilă de combustie	5.729	7.987	2.190	19.075	-593	34.387
Rețea	0	0	17.351	0	0	17.351
Boiler	0	0	0	7.279	0	7.279
Convertor	1.782	0	25	0	0	1.807
Altele	0	0	12.527	0	0	12.527
Sistem	7.512	7.987	32.093	26.353	-593	73.352

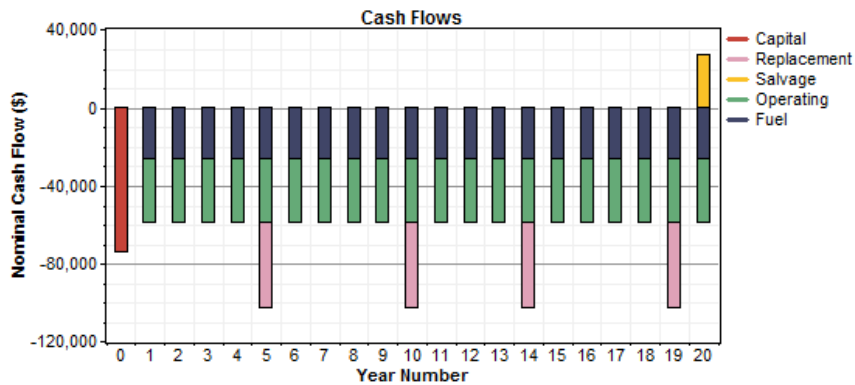


Fig. 6.24. Fluxurile anuale de capital

Tabel 6.28. Bilanțul electric

Componenta	Energie produsă [kWh/an]	Procente [%]
Pila de combustie	216.653	65%
Achiziții rețea	115.674	35%
Total	332.327	100%

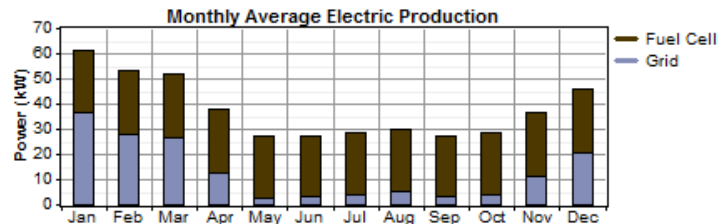


Fig. 6.25. Producția de energie electrică medie lunară

Tabel 6.29. Bilanțul termic

Componenta	Energie produsă [kWh/an]	Procente [%]
Pila de combustie	152.554	49%
Boiler	161.722	51%
Total	314.276	100%

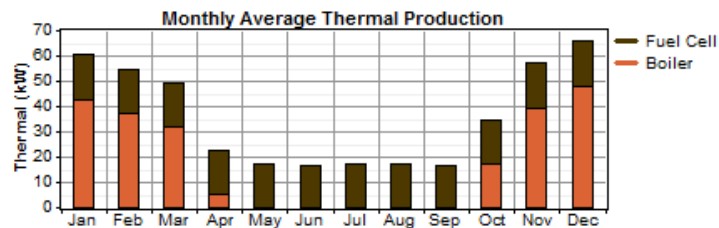


Fig. 6.26. Producția de energie termică medie lunară

Sarcina termică anuală este de 261.340 kWh/an.
Excesul de energie termică este de 52.936 kWh/an.

Tabelul 6.30. Caracteristicile de funcționare ale pilei de combustie

Mărimă	Valoare	Unitatea de măsură
Ore de funcționare	4.958	h/an
Număr de porniri	2	porniri/an
Durata de funcționare	4.57	ani
Factor de capacitate	98.9	%
Costuri fixe de generare	1.47	\$/h
Costuri marginale de generare	0.105	\$/kWhan
Producția de energie electrică	216.653	kWh/an
Puterea electrică medie	24.7	kW
Puterea electrică minimă	16.9	kW
Puterea electrică maximă	25.0	kW
Producția de energie termică	152.554	kWh/an
Puterea termică medie	17.4	kW
Puterea termică minimă	12.3	kW
Puterea termică maximă	17.6	kW
Consum de combustibil	47.687	m ³ /an

Mărimă	Valoare	Unitatea de măsură
Consum specific de combustibil	0.220	m ³ /kWh
Energia combustibilului	470.909	kWh/an
Eficiența electrică medie a sistemului	46.0	%
Eficiența totală medie	78.4	%

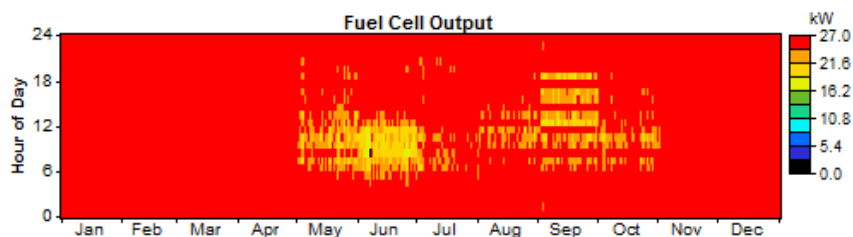


Fig. 6.27. Puterea electrică furnizată de pila de combustie

Tabel 6.31. Caracteristicile de funcționare ale convertorului (redresor/invertor)

Mărimă	Convertor	UM
Capacitate	25.0	kW
Putere medie	22.8	kW
Putere minimă	0.0	kW
Putere maximă	23.0	kW
Factor capacitate	91.0	%
Ore de funcționare	8.759	ore/an
Energie intrare	216.653	kWh/an
Energie ieșire	199.321	kWh/an
Pierderi	17.332	kWh/an

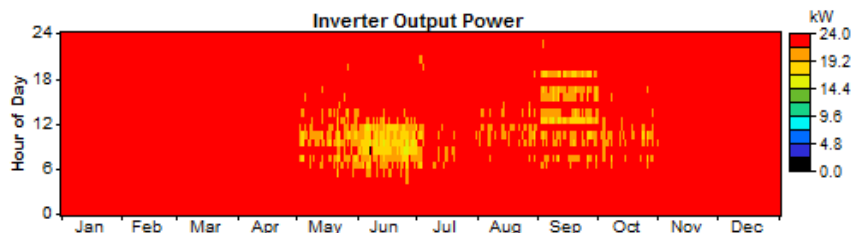


Fig. 6.28. Puterea transferată prin convertor

Tabel 6.32. Parametrii de funcționare ai rețelei

Luna	Energie total consumată [kWh]	Energie vândută în rețea [kWh]	Energie consumată din rețea [kWh]	Putere cerută la vârf [kW]	Cost energie consumată [\$]
Ianuarie	27.192	0	27.192	59	4.079
Februarie	18.877	0	18.877	47	2.832
Martie	20.012	0	20.012	42	3.002
Aprilie	9.347	0	9.347	26	1.402
Mai	2.083	0	2.083	10	313
Iunie	2.430	0	2.430	15	365
Iulie	2.864	0	2.864	12	430
August	3.747	0	3.747	18	562
Septembrie	2.270	0	2.270	11	341
Octombrie	2.942	0	2.942	12	441
Noiembrie	8.399	0	8.399	24	1.260
Decembrie	15.509	0	15.509	39	2.326
An	115.674	0	115.674	59	17.351

Tabel 6.33. Emisii poluante ale pilei de combustie

Poluantul	Emisii [kg/an]
Dioxid de carbon	242.367
Monoxid de carbon	9.54
Hidrocarburi nearse	0
Pulberi în suspensie	0
Dioxid de sulf	660
Oxizi de azot	155

Analiza rezultatelor în detaliu obținute pentru Varianta 1 evidențiază următoarele concluzii:

- numărul anual al orelor de funcționare a pilei de combustie este de 4958 ore, adică aproximativ jumătate din numărul de ore al unui an;
- puterea medie furnizată de pila de combustie, este de 24.7 KW;
- energia electrică produsă de pila de combustie, vândută în rețea, este 0 kWh (nu produce excedent de energie electrică);
- energia electrică produsă de pila de combustie reprezintă 65%, iar cea absorbită de la rețea 35%;
- energia termică produsă de pila de combustie reprezintă 49%, iar cea furnizată de boiler 51%;
- eficiența electrică medie a pilei de combustie (fără a ține cont de energia termică) este 46%;
- eficiența totală medie a pilei de combustie (ținând cont și de energia termică) este 78.4 %;
- prețul energiei electrice produse de sistemul cu pilă de combustie este de 0,186 \$/kWh.

□ Varianta 2

Schema principală a celor trei variante analizate este prezentată în Fig. 6.22.

Datele de intrare aferente variantei 2 sunt următoarele:

- celulă de combustie *FC 50 kW*;
- aport din sistem *75 kW*;
- multiplicator *FC = 0,5*;
- preț de vânzare energie (fără CV) *0,204 \$/kWh*;
- preț achiziție energie din sistem *0,15 \$/kWh*;

În Tabelul 6.34 se prezintă ierarhizarea din punct de vedere al costurilor a subvariantelor analizate în cadrul Variantei 2. Din tabel a fost selectată subvarianta cea mai bine plasată, pentru care s-a listat Raportul de sistem al Variantei 2, prezentat în continuare.

Raport de sistem – Varianta 2

Date de intrare

Multiplicator cost pilă:	0.5
Multiplicator cost înlocuire pilă:	0.5
Preț energie:	0.15 \$/kWh
Taxa fixă de consum:	0 \$/kW/lună

Arhitectura sistemului propriu

Celule de combustibil	50 kW
Rețea	75 kW
Invertor	50 kW
Redresor	50 kW

Sumar de costuri

Total cost net prezent	713.947 \$
Cost de energie uniform	0.184 \$/kWh
Cost de funcționare	57.694 \$/an

Tabelul 6.34. Subvariantele variantei 2

Sensitivity Results		Optimization Results										
Sensitivity variables												
FC Capital Multiplier		0.5		Rate 1 Power Price (\$/kWh)		0.089		Rate 1 Demand Rate (\$/kW/mo.)		0		
Double click on a system below for simulation results.												
System	FC (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Natural gas (m3)	FC (hrs)	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	25	25	100	\$ 73,750	56,104	\$ 624,587	0.155	0.00	0.00	46,872	4,958	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	25	25	75	\$ 73,750	56,104	\$ 624,587	0.155	0.00	0.00	46,872	4,958	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	25	50	100	\$ 91,250	56,129	\$ 642,332	0.161	0.00	0.00	46,872	4,958	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	25	50	75	\$ 91,250	56,129	\$ 642,332	0.161	0.00	0.00	46,872	4,958	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	25	75	100	\$ 108,750	56,154	\$ 660,078	0.167	0.00	0.00	46,872	4,958	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	25	75	75	\$ 108,750	56,154	\$ 660,078	0.167	0.00	0.00	46,872	4,958	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	50	50	100	\$ 147,500	52,465	\$ 662,608	0.168	0.00	0.00	57,646	4,000	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	50	50	75	\$ 147,500	52,465	\$ 662,608	0.168	0.00	0.00	57,646	4,000	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	50	75	100	\$ 165,000	52,490	\$ 680,353	0.173	0.00	0.00	57,646	4,000	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	50	75	75	\$ 165,000	52,490	\$ 680,353	0.173	0.00	0.00	57,646	4,000	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	50	25	75	\$ 130,000	57,061	\$ 690,231	0.177	0.00	0.00	29,909	129	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	50	25	100	\$ 130,000	57,113	\$ 690,742	0.177	0.00	0.00	29,405	0	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	75	75	100	\$ 221,250	49,429	\$ 706,552	0.182	0.00	0.00	55,583	2,469	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	75	75	75	\$ 221,250	49,429	\$ 706,552	0.182	0.00	0.00	55,583	2,469	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	75	25	100	\$ 186,250	56,176	\$ 737,794	0.192	0.00	0.00	29,405	0	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	75	25	75	\$ 186,250	56,204	\$ 738,070	0.192	0.00	0.00	29,920	129	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	75	50	75	\$ 203,750	56,017	\$ 753,730	0.197	0.00	0.00	30,402	129	
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	75	50	100	\$ 203,750	56,201	\$ 755,539	0.198	0.00	0.00	29,405	0	

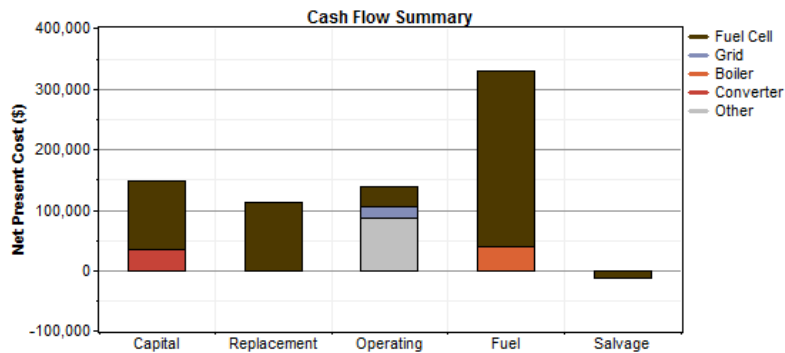


Fig. 6.29. Sumarul fluxurilor de capital (cash-flow)

Tabel 6.35. Costuri nete actualizate

Compo-nenta	Costuri de investiție (\$)	Cost de înlocuire (\$)	Exploatare Menținută (\$)	Cheltuieli de combustibil (\$)	Economie (\$)	Total (\$)
Pilă de combustie	112.500	112.235	32.896	289.482	-12.193	534.920
Rețea	0	0	18.228	0	0	18.228
Boiler	0	0	0	39.848	0	39.848
Convertor	35.000	0	491	0	0	35.491
Altele	0	0	85.459	0	0	85.459
Sistem	147.500	112.235	137.074	329.331	-12.193	713.947

Tabel 6.36. Costuri anuale

Compo- nenta	Costuri de investiție (\$/an)	Cost de înlocuire (\$/an)	Exploatare Mentenanță (\$/an)	Cheltuieli de combustibil (\$/an)	Economie (\$/an)	Total (\$/an)
Pilă de combustie	11.458	11.431	3.350	29.484	-1.242	54.483
Rețea	0	0	1.857	0	0	1.857
Boiler	0	0	0	4.059	0	4.059
Convertor	3.565	0	50	0	0	3.615
Altele	0	0	8.704	0	0	8.704
Sistem	15.023	11.431	13.961	33.543	-1.242	72.717

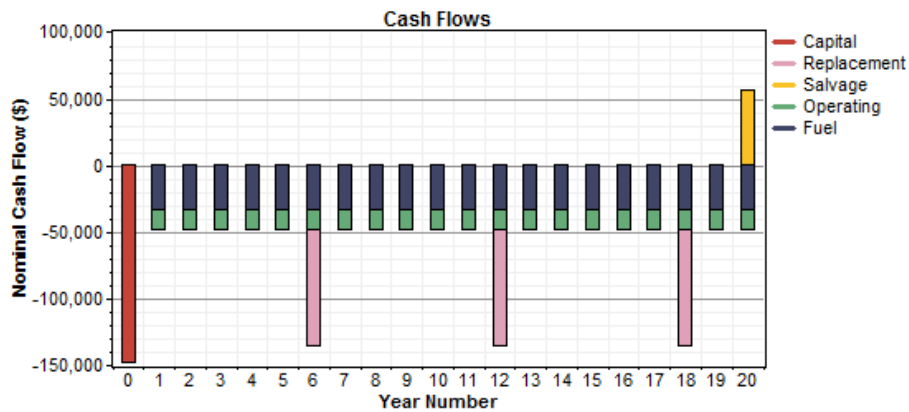


Fig. 6.30. Fluxurile anuale de capital

Tabel 6.37. Bilanțul electric

Componenta	Energie produsă [kWh/an]	Procente [%]
Pila de combustie	335.050	83%
Achiziții rețea	67.049	17%
Total	402.099	100%

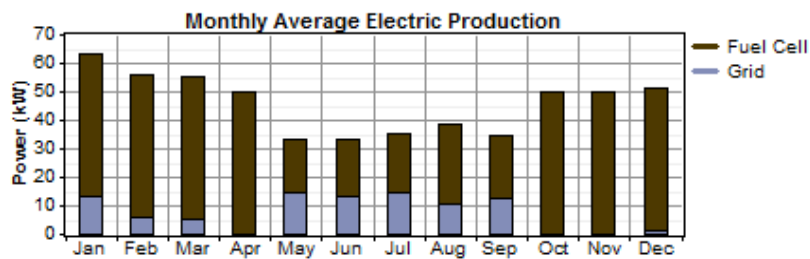


Fig. 6.31. Producția de energie electrică medie lunară

Tabel 6.38. Bilanțul termic

Componenta	Energie produsă [kWh/an]	Procente [%]
Pila de combustie	235.694	72%
Boiler	90.178	28%
Total	325.872	100%

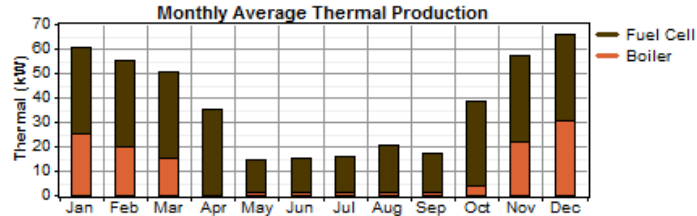


Fig. 6.32. Producția de energie termică medie lunară

Sarcina termică anuală este de 261.340 kWh/an.
Excesul de energie termică este de 64.531 kWh/an.

Tabelul 6.39. Caracteristicile de funcționare ale pilei de combustie

Mărime	Valoare	Unitatea de măsură
Ore de funcționare	6.701	h/an
Număr de porniri	452	porniri/an
Durata de funcționare	5.97	ani
Factor de capacitate	76.5	%
Costuri fixe de generare	2.94	\$/h
Costuri marginale de generare	0.105	\$/kWhan
Producția de energie electrică	335.050	kWh/an
Puterea electrică medie	50.0	kW
Puterea electrică minimă	50.0	kW
Puterea electrică maximă	50.0	kW
Producția de energie termică	235.694	kWh/an
Puterea termică medie	35.2	kW
Puterea termică minimă	35.2	kW
Puterea termică maximă	35.2	kW
Consum de combustibil	73.711	m ³ /an
Consum specific de combustibil	0.220	m ³ /kWh
Energia combustibilului	727.896	kWh/an
Eficiența electrică medie a sistemului	46.0	%
Eficiența totală medie	78.4	%

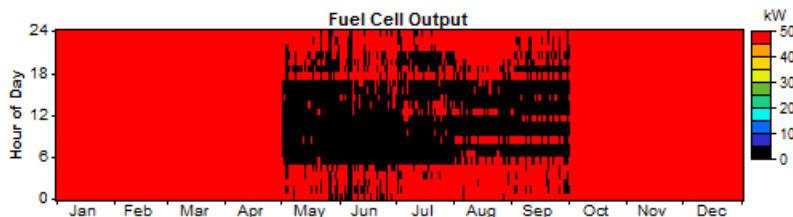


Fig. 6.33. Puterea electrică furnizată de pila de combustie

Tabelul 6.40. Caracteristicile de funcționare ale convertorului (redresor/invertor)

Mărime	Convertor	UM
Capacitate	50.0	kW
Putere medie	35.2	kW
Putere minimă	0.0	kW
Putere maximă	46.0	kW
Factor capacitate	70.4	%
Ore de funcționare	6.701	ore/an
Energie intrare	335.050	kWh/an
Energie ieșire	308.246	kWh/an
Pierderi	26.804	kWh/an

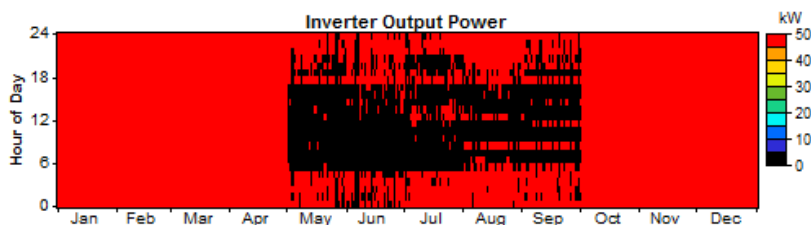


Fig. 6.34. Puterea transferată prin convertor

Tabel 6.41. Parametrii de funcționare ai rețelei

Luna	Energie total consumată [kWh]	Energie vândută în rețea [kWh]	Energie consumată din rețea [kWh]	Putere cerută la vârf [kW]	Cost energie consumată [\$]
Ianuarie	10.146	66	10.080	36	1.513
Februarie	4.013	592	3.421	24	522
Martie	3.764	864	2.900	19	447
Aprilie	9	7.222	-7.213	3	-981
Mai	10.781	4.803	5.978	28	964
Iunie	9.683	4.805	4.878	28	799
Iulie	10.680	5.021	5.658	28	919
August	7.922	6.270	1.652	28	336
Septembrie	8.941	5.454	3.487	29	599
Octombrie	0	14.329	-14.329	0	-1.949
Noiembrie	1	8.161	-8.161	1	-1.110
Decembrie	1.110	2.713	-1.603	16	-203
An	67.049	60.300	6.749	36	1.857

Tabel 6.42. Emisii poluante ale pilei de combustie

Poluantul	Emisii [kg/an]
Dioxid de carbon	169.407
Monoxid de carbon	14.7
Hidrocarburi nearse	0
Pulberi în suspensie	0
Dioxid de sulf	456
Oxizi de azot	9.04

Analiza rezultatelor în detaliu obținute pentru Varianta 2 evidențiază următoarele concluzii:

- numărul anual al orelor de funcționare a pilei de combustie, este de 6701 ore;
- puterea medie furnizată de pila de combustie, este de 50 KW;
- energia electrică produsă de pila de combustie, vândută în rețea, este 60.300 kWh;
- energia electrică produsă de pila de combustie reprezintă 83%, iar cea absorbită de la rețea 17 %;
- energia termică produsă de pila de combustie reprezintă 72 %, iar cea furnizată de boiler 28 %;
- eficiența electrică medie a pilei de combustie (fără a ține cont de energia termică), este 46 %;
- eficiența totală medie a pilei de combustie (ținând cont și de energia termică), este 78.4 %;
- prețul energiei electrice produse de sistemul cu pilă de combustie, este de 0,184 \$/kWh.

□ Varianta 3

Schema principală a celor trei variante analizate este prezentată în Fig. 6.22.

Datele de intrare aferente variantei 3 sunt următoarele:

- celulă de combustie FC 75 kW;
- aport din sistem 75 kW;
- multiplicator FC = 0,5;
- preț de vânzare energie (fără CV) 0,204 \$/kWh;
- preț achiziție energie din sistem 0,15 \$/kWh;

În Tabelul 6.53 se prezintă ierarhizarea din punct de vedere al costurilor a subvariantelor analizate în cadrul Variantei 3. Din tabel a fost selectată subvarianta cea mai bine plasată, pentru care s-a listat Raportul de sistem al Variantei 3, prezentat în continuare.

Tabelul 6.43. Subvariantele variantei 3

Sensitivity Results		Optimization Results										
Sensitivity variables												
FC Capital Multiplier		0.5		Rate 1 Power Price (\$/kWh)		0.089		Rate 1 Demand Rate (\$/kW/mo.)		0		
Double click on a system below for simulation results.												
	FC (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Natural gas (m3)	FC (hrs)	
	75	75	100	\$ 221,250	29,503	\$ 510,914	0.119	0.00	0.00	143,349	8,443	
	75	75	75	\$ 221,250	29,503	\$ 510,914	0.119	0.00	0.00	143,349	8,443	
	25	25	100	\$ 73,750	56,093	\$ 624,480	0.155	0.00	0.00	46,876	4,959	
	25	25	75	\$ 73,750	56,093	\$ 624,480	0.155	0.00	0.00	46,876	4,959	
	50	50	100	\$ 147,500	49,376	\$ 632,282	0.158	0.00	0.00	70,301	5,386	
	50	50	75	\$ 147,500	49,376	\$ 632,282	0.158	0.00	0.00	70,301	5,386	
	25	50	100	\$ 91,250	56,118	\$ 642,225	0.161	0.00	0.00	46,876	4,959	
	25	50	75	\$ 91,250	56,118	\$ 642,225	0.161	0.00	0.00	46,876	4,959	
	50	75	100	\$ 165,000	49,401	\$ 650,028	0.164	0.00	0.00	70,301	5,386	
	50	75	75	\$ 165,000	49,401	\$ 650,028	0.164	0.00	0.00	70,301	5,386	
	25	75	100	\$ 108,750	56,143	\$ 659,971	0.167	0.00	0.00	46,876	4,959	
	25	75	75	\$ 108,750	56,143	\$ 659,971	0.167	0.00	0.00	46,876	4,959	
	50	25	75	\$ 130,000	57,061	\$ 690,231	0.177	0.00	0.00	29,909	129	
	50	25	100	\$ 130,000	57,113	\$ 690,742	0.177	0.00	0.00	29,405	0	
	75	50	75	\$ 203,750	52,707	\$ 721,237	0.187	0.00	0.00	38,554	1,154	
	75	50	100	\$ 203,750	52,834	\$ 722,484	0.187	0.00	0.00	37,558	1,025	
	75	25	100	\$ 186,250	56,176	\$ 737,794	0.192	0.00	0.00	29,405	0	
	75	25	75	\$ 186,250	56,204	\$ 738,070	0.192	0.00	0.00	29,920	129	

Raport de sistem – Varianta 3

Date de intrare

Multiplicator cost pilă:	0.5
Multiplicator cost înlocuire pilă:	0.5
Preț energie:	0.15 \$/kWh
Taxa fixă de consum:	0 \$/kW/lună

Arhitectura sistemului propriu

Celule de combustibil	75 kW
Rețea	75 kW
Invertor	75 kW
Redresor	75 kW

Sumar de costuri

Total cost net prezent	506.199 \$
Cost de energie uniform	0.117 \$/kWh
Cost de funcționare	29.023 \$/an

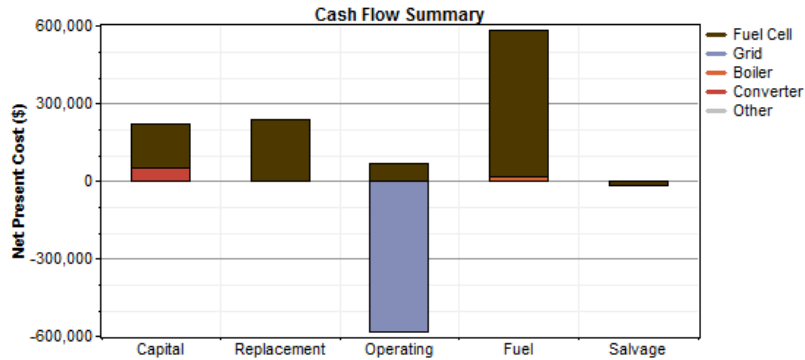


Fig. 6.35. Sumarul fluxurilor de capital (cash-flow)

Tabel 6.44. Costuri nete actualizate

Compo-nenta	Costuri de investiție (\$)	Cost de înlocuire (\$)	Exploatare Mentenanță (\$)	Cheltuieli de combustibil (\$)	Economie (\$)	Total (\$)
Pilă de combustie	168.750	235.267	64.505	567.646	-17.459	1.018.710
Rețea	0	0	-579.902	0	0	-579.902
Boiler	0	0	0	15.377	0	15.377
Convertor	52.500	0	736	0	0	53.236
Altele	0	0	-1.222	0	0	-1.222
Sistem	221.250	235.267	-515.883	583.023	-17.459	506.198

Tabel 6.45. Costuri anuale

Compo-nenta	Costuri de investiție (\$/an)	Cost de înlocuire (\$/an)	Exploatare Mentenanță (\$/an)	Cheltuieli de combustibil (\$/an)	Economie (\$/an)	Total (\$/an)
Pilă de combustie	17.188	23.963	6.570	57.816	-1.778	103.758
Rețea	0	0	-59.064	0	0	-59.064
Boiler	0	0	0	1.566	0	1.566
Convertor	5.347	0	75	0	0	5.422
Altele	0	0	-124	0	0	-124
Sistem	22.535	23.963	-52.544	59.382	-1.778	51.557

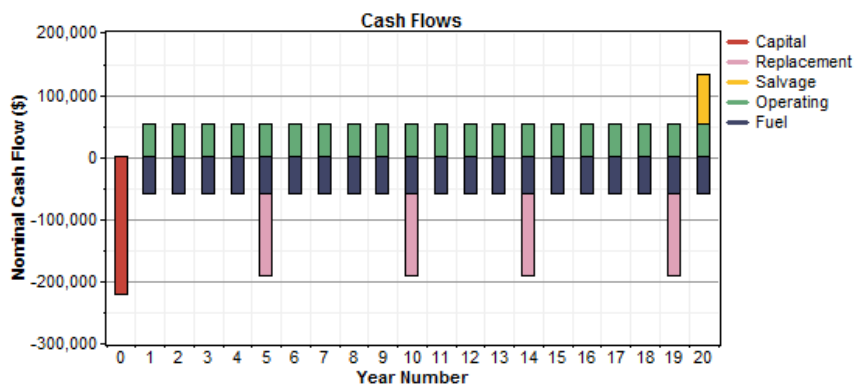


Fig. 6.36. Fluxurile anuale de capital

Tabel 6.46. Bilanțul electric

Componenta	Energie produsă [kWh/an]	Procente [%]
Pila de combustie	657.000	100%
Achiziții rețea	326	0%
Total	657.326	100%

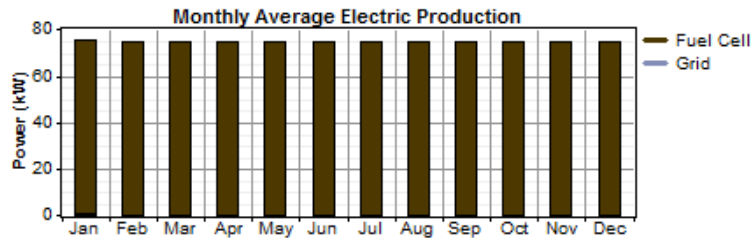


Fig. 6.37. Producția de energie electrică medie lunară

Tabel 6.47. Bilanțul termic

Componenta	Energie produsă [kWh/an]	Procente [%]
Pila de combustie	462.163	93%
Boiler	34.799	7%
Total	496.962	100%

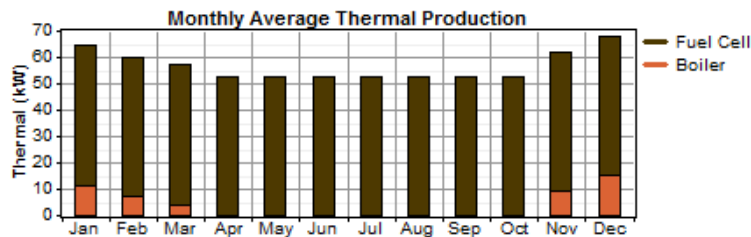


Fig. 6.38. Producția de energie termică medie lunară

Sarcina termică anuală este de 261.340 kWh/an.
Excesul de energie termică este de 235.621 kWh/an.

Tabelul 6.48. Caracteristicile de funcționare ale pilei de combustie

Mărimă	Valoare	Unitatea de măsură
Ore de funcționare	8.760	h/an
Număr de porniri	1	porniri/an
Durata de funcționare	4.57	an
Factor de capacitate	100	%
Costuri fixe de generare	4.41	\$/h
Costuri marginale de generare	0.105	\$/kWhan
Producția de energie electrică	657.000	kWh/an
Puterea electrică medie	75.0	kW
Puterea electrică minimă	75.0	kW
Puterea electrică maximă	75.0	kW
Producția de energie termică	462.163	kWh/an
Puterea termică medie	52.8	kW
Puterea termică minimă	52.8	kW
Puterea termică maximă	52.8	kW
Consum de combustibil	144.540	m ³ /an

Mărire	Valoare	Unitatea de măsură
Consum specific de combustibil	0.220	m ³ /kWh
Energia combustibilului	1.427.333	kWh/an
Eficiența electrică medie a sistemului	46.0	%
Eficiența totală medie	78.4	%

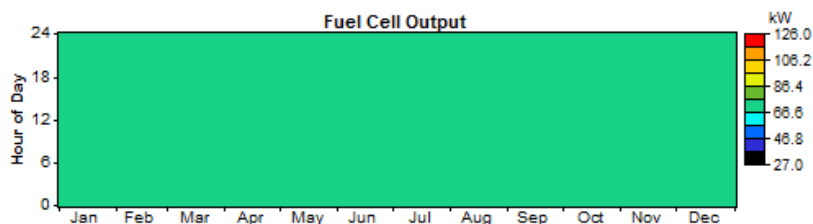


Fig. 6.39. Puterea electrică furnizată de pila de combustie

Tabel 6.49. Caracteristicile de funcționare ale convertorului (redresor/invertor)

Mărire	Convertor	UM
Capacitate	75.0	kW
Putere medie	69.0	kW
Putere minimă	69.0	kW
Putere maximă	69.0	kW
Factor capacitate	92.0	%
Ore de funcționare	8.760	ore/an
Energie intrare	657.000	kWh/an
Energie ieșire	604.440	kWh/an
Pierderi	52.560	kWh/an

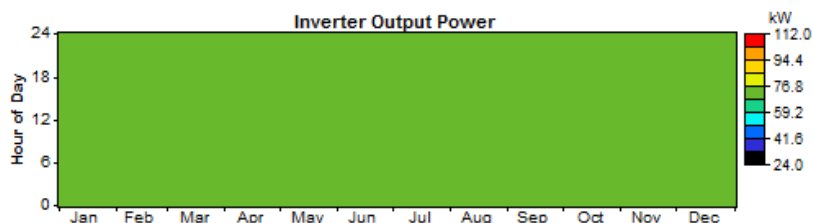


Fig. 6.40. Puterea transferată prin convertor

Tabel 6.50. Parametrii de funcționare ai rețelei

Luna	Energie total consumată [kWh]	Energie vândută în rețea [kWh]	Energie consumată din rețea [kWh]	Putere cerută la vârf [kW]	Cost energie consumată [\$]
Ianuarie	325	7.357	-7.032	13	-1.452
Februarie	1	12.036	-12.035	1	-2.455
Martie	0	14.212	-14.212	0	-2.899
Aprilie	0	23.773	-23.773	0	-4.850
Mai	0	32.524	-32.524	0	-6.635
Iunie	0	31.416	-31.416	0	-6.409
Iulie	0	31.464	-31.464	0	-6.419
August	0	30.640	-30.640	0	-6.251
Septembrie	0	31.473	-31.473	0	-6.421
Octombrie	0	31.441	-31.441	0	-6.414
Noiembrie	0	24.721	-24.721	0	-5.043
Decembrie	0	18.715	-18.715	0	-3.818
An	326	289.771	-289.445	13	-59.064

Tabel 6.51. Emisii poluante ale pilei de combustie

Poluantul	Emisii [kg/an]
Dioxid de carbon	1.522
Monoxid de carbon	28.9
Hidrocarburi nearch	0
Pulberi în suspensie	0
Dioxid de sulf	-19
Oxizi de azot	-388

Analiza rezultatelor în detaliu obținute pentru Varianta 3 evidențiază următoarele concluzii:

- numărul anual al orelor de funcționare a pilei de combustie, este de 8760 ore, adică în continuu;
- puterea medie furnizată de pila de combustie este de 75 KW;
- energia electrică produsă de pila de combustie, vândută în rețea, este 289.771 kWh;
- energia electrică produsă de pila de combustie reprezintă 100%, iar cea absorbită de la rețea 0%;
- energia termică produsă de pila de combustie reprezintă 93%, iar cea furnizată de boiler 7%;
- eficiența electrică medie a pilei de combustie (fără a ține cont de energia termică), este 46%;
- eficiența totală medie a pilei de combustie (ținând cont și de energia termică), este 78.4%;
- prețul energiei electrice produse de sistemul cu pilă de combustie, este de 0,117 \$/kWh.

6.5. Concluzii

1. Deși din punct de vedere teoretic sunt posibile cele trei variante de scheme de alimentare a SP utilizând pile de combustie (Fig. 6.1 - 6.3), din considerente financiare, în calculele efectuate cu programul Homer, s-a utilizat doar varianta din Fig. 6.3: pila de combustie are rol și de sursă normală și de siguranță (funcționând continuu, se poate utiliza și energia termică produsă de pilă, ceea ce conduce la creșterea randamentului).
2. Varianta optimă dintre cele trei situații analizate este Varianta 3: pila de combustie de 75 kW funcționează 8760 ore/an (adică continuu), producând 657.000 kWh/an energie electrică și 462.163 kWh/an energie termică.
3. Practic pentru toate cele 12 luni ale anului, necesarul de energie electrică este asigurat integral de către pila de combustie.
4. Energia termică necesară este asigurată integral de către pila de combustie, în lunile aprilie-octombrie, interval în care furnizează și în exces 235.621 kWh energie termică, iar în lunile de iarnă aportul boilerului este foarte scăzut.
5. Costul total net pentru sistemul propus în Varianta 3 este de 506.189 \$, din care 168.750 \$ reprezintă costul pentru achiziția pilei de combustie.
6. Costul anual de funcționare a sistemului este de 51.557 \$.
7. Energia electrică produsă cu acest sistem costă 0.117 \$/kWh.
8. În toate cele trei variante s-a considerat un multiplicator al costului pentru pilă de 0.5, considerându-se că până la implementarea unei aplicații pilot, costurile de achiziție ale pilelor vor scădea la jumătate (conform trendului actual).

9. În prezent tendința prețului unitar al energiei electrice este crescător, iar trendul prețului de achiziție a pilelor de combustie este scăzător, ambele tendințe fiind favorabile adoptării, în viitorul apropiat, a soluției propuse pentru alimentarea SP.
10. La promovarea unei aplicații pilot într-o stație din gestiunea S.T. Timișoara din cadrul C.N.T.E.E. Transelectrica S.A. trebuie avută în vedere posibilitatea de accesare a unor fonduri structurale europene pentru finanțarea investiției.
11. Pentru această analiză comparativă s-a luat în considerare doar tipul de pilă de combustie PEM (cu membrană cu schimb de protoni), disponibilă în fază comercială la nivel mondial. Acest tip de pilă de combustie este folosită în prezent în diverse aplicații de alimentare cu energie electrică.

Principalele contribuții personale ale autorului în elaborarea acestui capitol sunt următoarele:

1. Capitolul 6 este aproape în întregime original, cu excepția părții referitoare la prezentarea metodelor de stabilire a fezabilității și de ierarhizare a soluțiilor.
2. Monitorizarea timp de doi ani a consumurilor SP din toate stațiile S.T. Timișoara din cadrul C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.
3. Obținerea curbelor de sarcină caracteristice pentru 12 luni și calcularea mărimilor de interes.
4. Optimizarea transformatoarelor de servicii proprii din stația Săcălaz, propunând transformatoare de 100 kVA în locul celor existente de 400 kVA.
5. Conceperea schemelor pentru soluții alternative de alimentare a SP din stație utilizând celule de combustie ca sursă de siguranță, sursă de rezervă și de siguranță, respectiv sursă normală și de siguranță.
6. Efectuarea unei analize reprezentative cu programul Homer adaptat și stabilirea variantei optime de schemă: pila de combustie de 75 kW este folosită ca sursă normală, sursă de siguranță și sursă de agent termic pentru stația Săcălaz.
7. Metoda de analiză și instrumentul software adaptat facilitează utilizarea experienței acumulate și pentru cazul altor stații electrice din sistemul electroenergetic al României, aflate în gestiunea operatorului național de transport și de sistem, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.

Cap 7. Concluzii generale și contribuții personale

Acest capitol sintetizează concluziile generale ale tezei, modul de valorificare a rezultatelor și contribuțiile originale personale aduse de autor în cadrul tezei.

Pentru început se prezintă principalele concluzii rezultate în urma analizelor teoretice și aplicative realizate în cadrul tezei:

1. În privința "analizei-diagnostic" prezentate în Capitolul 2, privind perspectiva oferită de către combustibilii fosili, sursa nucleară și SRE, concluziile cele mai semnificative sunt următoarele:
 - "semnalul de alarmă" privind epuizarea combustibililor fosili, a fost tras de către Clubul de la Roma la începutul deceniului 8 al secolului XX;
 - pe termen mediu, însemnând următoarele decenii, combustibilii fosili vor constitui surse prioritare de energie cu condiția utilizării unor noi tehnologii, cu randamente sporite și cu reducerea impactului asupra mediului;
 - pe termen lung, vor trebui găsite soluții alternative la combustibilii fosili, pentru a satisface nevoia de energie crescândă a omenirii;
 - în domeniul nuclear, revitalizarea va depinde de măsura în care guvernele, întreprinderile de afaceri și industria, vor găsi modalități practice de soluționare a problemelor legate de depozitarea reziduurilor, de schimbările climatice, de acordarea licențelor și de noi tehnologii;
 - SRE constituie pe termen lung o alternativă viabilă pentru "foamea" de energie, atât pentru România, cât și pentru UE și la nivel mondial;
 - se constată o distorsionare a prețurilor practicate la sursele fosile de energie, care beneficiază de un volum unitar de subvenții de circa 4 ori mai mare decât SRE.
2. În ceea ce privește consumatorii de SP, în urma celor prezentate în Capitolul 3, principalele concluzii care se desprind sunt următoarele:
 - SP constituie un consumator deosebit de important pentru sistemele electro-energetice, de ele depinzând buna funcționare a stațiilor și centralelor sistemului;
 - consumatorii de SP se alimentează în parte în c.a., la tensiunea de 400/230V și în parte în c.c., la tensiunile de 24V, 48V, 110V și 220V;
 - receptoarele instalațiilor de SP, în funcție de implicațiile întreruperii alimentării cu energie electrică asupra realizării tranzitului de energie electrică prin circuitele primare ale stației, se împart în:
 - categoria 1 - SP principale;
 - categoria 2 - SP secundare;
 - categoria 3 - SP auxiliare;
 - în privința schemelor de alimentare a SP există mai multe variante, ideea de la care se pornește fiind aceea că alimentarea să se efectueze de la două surse independente, care pot furniza fiecare întreaga putere cerută de consumatorii de SP;
 - în stațiile importante ale SEN (400 kV sau 220 kV, noduri de rețea), se prevede o a treia sursă de alimentare a SP - grup electrogen;
 - sursele de alimentare cu energie electrică ale SP din stații, pot fi constituite din:

- o secție sau un sistem de bare colectoare de M.T. din stația respectivă, sau de la o stație apropiată;
 - o secție sau un sistem de bare colectoare de J.T. din stația electrică respectivă, sau de la o centrală sau o stație apropiată;
 - o linie de M.T. din zona stației respective;
 - înfășurarea terțiară de M.T. (10kV sau 22kV) a unui T sau AT din stația respectivă;
 - un grup electrogen.
3. În privința rolului ce revine pilelor de combustie în strategia de extindere a utilizării energiilor regenerabile și respectării protocolului de la Kyoto, prezentat în Capitolul 4, concluziile care se desprind sunt următoarele:
- utilizarea pilelor de combustie ca sursă independentă de electricitate este oportună, din considerente de protecția mediului ambiant și a respectării protocolului de la Kyoto;
 - tehnologia pilelor de combustie se găsește în faza de penetrare a pieței, de trecere de la aplicațiile speciale (astronautică, domeniul militar, etc.) spre cele „civile”, dar și pentru alimentarea unor consumatori pretențioși în privința calității și continuității, cum sunt SP;
 - în prezent se constată puternice tendințe de îmbunătățire a tehnologiilor de fabricație a pilelor de combustie, de creștere a „efectului de scară”, respectiv de scădere continuă prețului de cost al acestora;
 - utilizarea pilelor de combustie ca sursă de energie electrică pentru alimentarea SP din stațiile electrice, reprezintă o soluție de viitor apropiat atractivă, oportună și fezabilă;
 - principalele beneficii ale pilelor de combustie, care fac atractivă folosirea lor ca sursă independentă de electricitate (generare distribuită), sunt următoarele:
 - randament foarte bun;
 - pot fi amplasate în locații îndepărtate de sursele clasice de alimentare cu energie electrică (linii, centrele electrice locale, etc.);
 - flexibilitate ridicată față de combustibilul folosit (hidrogen pur, gaz metan, propan-GPL, etc.) ;
 - reduce masiv dependența de hidrocarburi și implicit dependența de importuri (independență energetică);
 - reduce aproape la zero emisiile de gaze poluante (respectarea Protocolului de la Kyoto) ;
 - prețul de cost actual este rezonabil (și cu tendințe de scădere);
 - Uniunea Europeană acordă sprijin financiar nerambursabil pentru finanțarea proiectelor care vizează înlocuirea tehnologiilor clasice cu surse alternative neconvenționale de energie, argument foarte important pentru a promova o aplicație pilot, de alimentare a SP utilizând pila de combustie, într-o stație electrică din gestiunea S.T. Timișoara.
4. În ceea ce privește modelarea pilelor de combustie și simularea regimurilor staționare și dinamice de funcționare ale acestora, prezentate în Capitolul 5, principalele concluzii sunt următoarele:
- pila de combustie se comportă ca un generator de tensiune, cu rezistența internă puternic dependentă de curentul debitat, cauza principală fiind fenomenul de polarizare electrochimică a pilei:

- pentru sarcini mici, apropiate de regimul de mers în gol, este vorba despre polarizarea de activare;
 - pentru sarcini mari, apropiate de sarcina limită, este vorba despre polarizarea de concentrație;
 - la o pilă de combustie, din cauza neliniarității rezistenței interne, pierderea de tensiune cu sarcina este foarte importantă, putând ajunge până la 30% din valoarea tensiunii de mers în gol a pilei;
 - la variația sarcinii, atingerea noului punct de echilibru în funcționarea pilei de combustie, se realizează în două etape:
 - într-o primă etapă foarte scurtă de zecimi de secundă, ca urmare a polarizării pilei, tensiunea la borne atinge exponențial, o valoare cvasi constantă (proporțională cu saltul de curent);
 - în etapa a doua, componenta dinamică se amortizează complet după câteva minute (atingerea valorilor de echilibru ai parametrilor termodinamici: temperatură, presiune și debit gaze).
 - ținând cont de cele precizate, apreciez că alimentarea consumatorilor de SP dintr-o stație electrică de interconexiune utilizând pila de combustie, nu ridică probleme tehnice deosebite, cu excepția pornirii unor motoare de puteri mari (comparabile cu puterea nominală a pilei);
 - dacă pila de combustie funcționează în regim tampon cu sistemul, atunci pornirea motoarelor asincrone de puteri mari, este asigurată de caracteristicile acestei surse de alimentare.
5. În privința studiului de caz aplicat stației 220/110 kV Săcălaz (Capitolul 6), cele mai importante concluzii care se desprind sunt următoarele:
- deși teoretic sunt posibile cele trei variante de scheme de alimentare a SP utilizând celule de combustie (Fig. 6.1-6.3), din considerente economice în calculele efectuate cu programul Homer, s-a utilizat doar varianta din Fig. 6.3, în care pila de combustie are rol de sursă normală și de siguranță, deoarece numai în această variantă se poate utiliza și energia termică furnizată de pilă, ceea ce conduce la creșterea randamentului;
 - pentru analiza comparativă a variantelor s-a luat în considerare doar tipul de pilă de combustie PEM, disponibilă în prezent în fază comercială, la nivel mondial;
 - varianta optimă dintre cele trei analizate cu programul Homer este varianta 3, cu pilă de combustie de 75 kW, care funcționează 8760 ore/an, producând 657.000 kWh/an energie electrică și 462.163 kWh/an energie termică;
 - în varianta optimă, pentru toate cele 12 luni ale anului, necesarul de energie electrică este asigurat integral de către pila de combustie;
 - energia termică necesară stației Săcălaz este asigurată integral de către pila de combustie în lunile aprilie-octombrie, interval în care furnizează și în exces 235.621 kWh energie termică;
 - costul total net al sistemului propus în varianta optimă, este de 506.189 \$, din care 168.750 \$ reprezintă costul pentru achiziția pilei de combustie;
 - pila de combustie furnizează energia electrică la un cost de 0,117 \$/kWh;
 - în prezent trendul prețului unitar al energiei electrice este crescător, iar trendul prețului de achiziție al pilelor de combustie este descrescător, cele două tendințe fiind favorabile adoptării, în viitorul apropiat, a soluției propuse;
 - la promovarea unei aplicații pilot într-o stație din gestiunea S.T. Timișoara trebuie avută în vedere și posibilitatea de accesare a unor fonduri structurale europene pentru finanțarea investiției.

În continuare, se prezintă în ordinea capitolelor, principalele contribuții personale, teoretice și aplicative, cuprinse în cadrul tezei de doctorat.

- În cadrul Capitolului 2, având ca obiect prezentarea rolului actual și locului energiilor produse din SRE în contextul dezvoltării durabile, pot fi menționate următoarele contribuții personale:
 1. Capitolul constituie o sinteză documentată, în viziunea proprie a autorului, asupra rolului și locului energiilor regenerabile în dezvoltarea durabilă, atât pe plan mondial, cât și în ceea ce privește țările Uniunii Europene în general și România în special.
 2. Prezentarea unei "analize-diagnostic" asupra cauzelor care au condus la necesitatea identificării unor soluții alternative la combustibilii fosili, pornind de la semnalul de alarmă tras de Clubul de la Roma la începutul anilor '70 și până la criza mondială din prezent.
 3. Formularea unui *crez*, care prezintă într-o formă sintetică încrederea autorului în posibilitățile pe care le oferă pe termen lung SRE, coroborat cu o sporire a eficienței energetice pe întregul lanț: producerea, transportul, distribuția, furnizarea și utilizarea energiei electrice.
 4. Elaborarea unei ample sinteze, documentată și argumentată, constituindu-se într-o pledoarie pentru producerea de energie electrică în România din SRE.
 5. Prezentarea unor argumentare solide în sprijinul afirmației că SRE constituie pe termen lung o alternativă viabilă pentru foamea de energie, atât pentru România, cât și pentru UE și la nivel mondial.
 6. Realizarea unei sinteze bibliografice într-o manieră proprie, graduală, a aspectelor legate de perspectiva pe termen mediu și lung, a energiei provenite din combustibili fosili, sursă nucleară și SRE.
- În cadrul Capitolului 3, destinat prezentării consumatorilor de SP din stațiile de transformare, se pot evidenția următoarele contribuții personale:
 1. Prezentarea sistematizată a tuturor consumatorilor de servicii proprii aparținând stațiilor electrice, inclusiv a caracteristicilor tehnice ale acestora.
 2. Monitorizarea pe parcursul a doi ani (2007 și 2008) a consumului de energie electrică activă aferent SP din cele 11 stații aflate în gestiunea S.T. Timișoara din cadrul C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.
 3. Identificarea unor măsuri de optimizare a acestor consumuri, care au avut ca efect o reducere substanțială a acestora în anul 2008, comparativ cu 2007.
 4. Participarea la reconsiderarea alimentării SP ale stațiilor electrice, abordată ca o problemă de optimizare, definitivarea schemelor de alimentare a SP din terțiarele AT-urilor și identificarea soluțiilor de asigurare a calității energiei electrice livrate în aceste condiții.
- În cadrul Capitolului 4, care dezvoltă rolul pilelor de combustie în strategia de extindere a utilizării energiilor regenerabile și respectării Protocolului de la Kyoto, se subliniază următoarele contribuții personale:
 1. Realizarea unei sinteze bibliografice într-o viziune proprie, graduală, asupra tuturor aspectelor legate de tipurile de pile de combustie și de tehnologiile aferente lor, în vederea utilizării lor în cadrul unor aplicații concrete vizând stațiile electrice din cadrul rețelei de transport al energiei electrice.
 2. Clasificarea într-o manieră proprie, multicriterială, a tipurilor de pile de combustie existente la ora actuală pe plan mondial.
 3. Stabilirea locului care revine pilelor de combustie în contextul actual al surselor alternative de energie electrică.
 4. Identificarea beneficiilor pilelor de combustie, care le fac atractive în folosirea lor ca surse independente de energie electrică.

5. Reliefaarea contribuției pe care o pot aduce pilele de combustie la limitarea gazelor cu efect de seră și la diminuarea schimbărilor climatice (în ton cu prevederile Protocolului de la Kyoto).
6. Identificarea contribuției pe care o pot aduce pilele de combustie în dezvoltarea durabilă în domeniul energiei.
 - În cadrul Capitolului 5, în care sunt prezentate modele de pile de combustie și simulări ale regimurilor de funcționare ale acestora, principalele contribuții personale sunt următoarele:
 1. Realizarea unei sinteze bibliografice bine documentate, într-o viziune proprie, asupra tuturor aspectelor legate de modelarea și identificării sistemelor utilizând pile de combustie, atât pentru regimuri staționare, cât și pentru regimuri dinamice.
 2. Identificarea modelului matematic care reproduce cel mai fidel comportamentul unei PMFC, funcționând în tandem cu un convertor electronic. Această situație este una reală în cazul utilizării pilor de combustie pentru alimentarea SP.
 3. Identificarea unui model dinamic simplificat pentru pilele PEMFC, cu justificarea modelului ales și definirea clară a ipotezelor simplificatoare.
 - În privința Capitolului 6, cu un accentuat grad de originalitate, referitor la studiul de caz privind folosirea pilei de combustie pentru alimentarea cu energie electrică a SP din stația 220/110 kV Săcălaz, aflată în gestiunea S.T. Timișoara, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., se pot evidenția următoarele aspecte semnificative:
 1. Capitolul este aproape în întregime original, cu excepția părții referitoare la prezentarea metodelor de stabilire a fezabilității și de ierarhizare a soluțiilor.
 2. Monitorizarea timp de doi ani a consumurilor SP din toate stațiile S.T. Timișoara din cadrul C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.
 3. Obținerea curbelor de sarcină caracteristice pentru 12 luni și calcularea mărimilor de interes.
 4. Optimizarea transformatoarelor de servicii proprii din stația Săcălaz, propunând transformatoare de 100 kVA în locul celor existente de 400 kVA.
 5. Conceperea schemelor pentru soluții alternative de alimentare a SP din stație utilizând celule de combustie ca sursă de siguranță, sursă de rezervă și de siguranță, respectiv sursă normală și de siguranță.
 6. Efectuarea unei analize reprezentative cu programul Homer adaptat și stabilirea variantei optime de schemă: pila de combustie de 75 kW este folosită ca sursă normală, sursă de siguranță și sursă de agent termic pentru stația Săcălaz.
 7. Metoda de analiză și instrumentul software adaptat facilitează utilizarea experienței acumulate și pentru cazul altor stații electrice din sistemul electroenergetic al României, aflate în gestiunea operatorului național de transport și de sistem, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.

Rezultatele cercetării privind monitorizarea consumatorilor de SP au fost parțial valorificate, în sensul că măsurile propuse în 2007 pentru optimizarea consumului de energie electrică pentru cele 11 stații aflate în gestiunea S.T. Timișoara, au condus în 2008 la o scădere importantă a acestui consum (a se vedea graficele comparative pentru cei doi ani, din Anexa 1). De asemenea, ca urmare a analizei gradului de încărcare a celor două transformatoare care alimentează SP ale stației 220/110 kV Săcălaz (obiectul studiului de caz din subcapitolul 6.4), s-a propus înlocuirea lor cu altele, de puteri mai mici.

Cea mai mare parte a rezultatelor obținute pe parcursul anilor de cercetări asupra SP ale stațiilor, au fost publicate cu prilejul unor manifestări științifice interne sau internaționale de prestigiu (inclusiv cu cotație ISI Thomson): [Ardelean2006a], [Ardelean2006c], [Ardelean2006d], [Buta2003a], [Ardelean2006e], [Kilyeni2001], [Buta2002b], [Buta2003a], [Pop2008], [Florea2006], [Ardelean2007a], [Ardelean2008c], [Buta2002b], [Vuc2007], [Ardelean2009a], [Ardelean2009b].

De asemenea, o serie de aspecte abordate în cadrul tezei de doctorat au fost valorificate și în elaborarea protocoalelor unor contracte de cercetare științifică, derulate între Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., S.T. Timișoara. Autorul tezei de doctorat a fost implicat în dublă calitate în soluționarea acestor contracte: membru în echipa de cercetare (în cadrul Centrului de Cercetare al Catedrei de Electroenergetică, director prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni) și responsabil din partea beneficiarului în derularea contractului și valorificarea rezultatelor cercetărilor întreprinse [***2004], [***2006], [***2007], [***2008].

Analizele teoretice și practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele obținute, deschid o serie de perspective și direcții de continuare și aprofundare a cercetărilor în domeniu:

- analiza posibilităților de producere a hidrogenului la fața locului, adică în stația unde este amplasată pila, folosindu-se după caz, cea mai adecvată SRE locală (eoliană, fotovoltaică, etc.);
- perfecționarea schemelor de alimentare a SP, utilizând diverse combinații ale SRE;
- promovarea unei aplicații pilot de alimentare a SP dintr-o stație aflată în gestiunea C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., S.T. Timișoara, utilizând pila de combustie, prin atragerea de fonduri structurale.

BIBLIOGRAFIE

1. [Amphlett1995a] Amphlett J. C., Baumert R. M., Mann R. F., Peppley B. A. and Roberge P. R., Performance Modeling of the Ballard Mark IV Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell, I. Mechanistic Model Development, Journal of the Electrochemical Society, No. 1, Jan. 1995, Vol. 142, pp. 1-8.
2. [Amphlett1995b] Amphlett J. C., Baumert R. M., Mann R. F., Peppley B. A. and Roberge P. R., Performance Modeling of the Ballard Mark IV Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell, II. Empirical Model Development, Journal of the Electrochemical Society, No. 1, Jan. 1995, Vol. 142, pp. 9-15.
3. [Amphlett 1996] Amphlett et al., J. Power Sources, 61, 183 (1996).
4. [Amphlett2006c] Amphlett J. C., Mann R. F., Peppley B. A., Roberge P. R. and Rodrigues A., A Model Predicting Transient Responses of Proton Exchange Membrane Fuel Cells, Journal of Power Sources, No. 1-2, July-August, 1996, Vol. 61, pp. 183-188.
5. [ANRE33/2005] Procedură privind alimentarea cu energie electrică a locurilor de consum aparținând furnizorilor, producătorilor, auto-producătorilor și CN Transelectrica.
6. [Ardelean2002a] **Ardelean I.**, Vornic N., Diminuarea riscului în acționarea întrerupătoarelor IO printr-o corectă monitorizare a stării de uzură a acestora, Simpozionul Managementul riscurilor în SEN, Prima ediție, Timișoara, România, 06-07 iunie 2002, Lucrarea 11, 8 pag.
7. [Ardelean2006a] **Ardelean I.**, Referat științific nr.1, Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, Timișoara, martie, 2006.
8. [Ardelean2006c] **Ardelean I.**, Kilyeni St., Andea P., Limbean G., Asupra oportunității menținerii în funcțiune a CS de la Timișoara, WEC Regional Energy Forum - FOREN 2006, Neptun-Olimp, 11-15.06.2006, Lucrarea S1-14, 9 pag.
9. [Ardelean2006d] **Ardelean I.**, Dușa V., Luștea B., Borlea I., Vuc Ghe., Considerații privind utilizarea tehnologiilor neconvenționale de conversie a energiei pentru alimentarea serviciilor proprii ale stațiilor electrice de interconexiune, Proceedings of the 5-th Energy Efficiency International Symposium-EEIS 2006, Cluj Napoca, România, 03-05.10.2006, pp. 246-254.
10. [Ardelean2006e] **Ardelean I.**, A long term viable alternative of „energy hunger” – regenerable energy sources capitalization, Proceedings of the International Conference on Modern Power Systems-MPS 2006, Cluj Napoca, Romania, November, 08-11, 2006, pp. 81-84.
11. [Ardelean2006f] **Ardelean I.**, Referat științific nr.2, Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, Timișoara, decembrie, 2006.
12. [Ardelean2007a] **Ardelean I.**, Referat științific nr.3, Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, Timișoara, aprilie, 2007.
13. [Ardelean2007b] **Ardelean I.**, Bărbulescu C., Vuc Ghe., Borlea I., Kilyeni St., Technical and financial feasibility of using fuel cells as back up source in a power system substation, Conferința Națională și Expoziția de Energetică - CNEE 2007, Sinaia, România, 07-09.11.2007, pp. 969-975.

14. [Ardelean2008b] **Ardelean I.**, Chiosa N., Vuc Gh., Kilyeni St., Bărbulescu C., Analiza și simularea regimurilor de funcționare ale unei pile de combustie ca sursă de siguranță în alimentarea serviciilor proprii ale stațiilor din RET, WEC Regional Energy Forum-FOREN 2008, Neptun-Olimp, Romania, 15-1 9.06.2008, Reference nr. sp-57-en, 8 pag.
15. [Ardelean2008c] **Ardelean I.**, Vuc Gh., Luștrea B., Dușa V., Borlea I., Jigoria-Oprea D., Backup supply based on Fuel Cells for Power System Substation Auxiliary Services, Proceedings of the Fuel Cells Science and Technology - Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Copenhagen, Denmark, October, 07-09, 2008, paper ID197R, 7 pag.
16. [Ardelean2008d] **Ardelean I.**, Chiosa N., Dușa V., Luștrea B., Borlea I., Jigoria-Oprea D., Feeding Self Services from Substation belonging to the National Powre Grid using Fuel Cells Source as Normal and Backup Source, Proceedings of the 2nd International Conference on Modern Power Systems - MPS 2008, Cluj-Napoca, Romania, November, 12-14, 2008, pp. 73-78.
17. [Ardelean2009a] **Ardelean I.**, Dusa V., Lustrea B., Borlea I., Jigoria-Oprea D., Technical and economic arguments for using Fuel Cells in RET power station's self services feeding, Proceedings of the International Conference on Computer as a tool-EUROCON 2009, Saint Petersburg, Russia, May, 18-23, pp.497-502.
18. [Badrul2000] Badrul H., Chowdhury A., Distributed Generation-Choices for a Sustainable Energy Future, NSF Workshop on Sustainable Energy, Georgia Tech, Atlanta, GA, Nov. 29 - Dec. 1, 2000.
19. [Balkin2002] Andrew Richard Balkin, Modelling A 500w Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Degree of Bachelor of Engineering Thesis, University of Technology, Sydney, 2002.
20. [Bernardi1992] Bernardi and M. Verbrugge, J. Electrochem. Soc., 139, 2477 (1992).
21. [Bevers1997] Bevers D., Wöhr M., Simulation of a Polymer Electrolyte Fuel Cell Electrode, Journal of Applied Electrochemistry, No. 11, Nov. 1997, Vol.27, pp. 1254-1264.
22. [Boettner2002] Boettner et al., Transaction of the ASME, 124, 20 (2002)
23. [Bruce2001] Bruce H., Matching D.G., Technologies and Applications, Distributed Generation Conference, Denver, Colorado, August, 9, 2001.
24. [Buhuș1983] Buhuș P., Heinrich I., Preda L., Seleschi A., Partea electrică a centralelor electrice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
25. [Burnham2002] Burnham J., The Business of Fuel Cells, Issue 1, February, 2002.
26. [Busquet2004] S. Busquet, C.E. Hubert, J. Labbé, D. Mayer, R. Metkemeijer, A new approach to empirical electrical modelling of a fuel cell, an electrolyser or a regenerative fuel cell, CENERG/E.N.S.M.P., Rue Claude Daunesse, Les Lucioles - BP207, Sophia Antipolis Cedex 06904, France.
27. [Buta2002a] Buta A., Dușa V., Gheju P., Pană A., Studiu privind alimentarea serviciilor proprii din stațiile RET din terțiarul AT. Faza I. Oportunitatea temei, stabilirea principalelor probleme, prezentarea soluțiilor, evidențierea riscurilor și estimarea costurilor. Contract de cercetare al UP Timișoara C 972/2002 cu Transelectrica, 2002.
28. [Buta2002b] Buta A., Dușa V., Gheju P., Pană A., Studiu privind alimentarea serviciilor proprii din stațiile RET din terțiarul AT. Faza II. Studiu de caz - Stația Arad, Contract de cercetare al UP Timișoara C 972/2002 cu Transelectrica, 2003.

29. [Buta2003b] Buta A., Pană A., Dușa V., Gheju P., Titihazan V., Chiosa N., **Ardelean I.**, Nesin V., Asigurarea calității energiei electrice livrate serviciilor proprii ale stațiilor rețelelor de transport, din terțiarul autotransformatoarelor, Al XVIII-lea Simpozion Național de Siguranța în Funcționarea Sistemului Energetic – SIG 2003, Oradea, România, 24-26.09.2003, pp.163-167.
30. [Chamberlin1995] Chamberlin C.E., Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance with an Empirical Equation, Journal of the Electrochemical Society, No. 8, August 1995, Vol. 142, pp. 2670-2674.
31. [Chiosa2005b] Chiosa N, Contribuții asupra alimentării serviciilor proprii din terțiarul autotransformatoarelor, Teză de doctorat, 2005.
32. [CME2000] Consiliul Mondial al Energiei (CME)– Energie pentru lumea de mâine să acționăm acum. Declarația CME 2000, Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2002.
33. [CME2003b] Consiliul Mondial al Energiei (CME)–Trăim pe o singură planetă, Editura Academiei Române, București, 2003.
34. [Cownden2001] Cownden R., Nahon M., Rosen M. A., Modeling and Analysis of a Solid Polymer Fuel Cell System for Transportation Applications, International Journal of Hydrogen Energy, No. 6, June 2001, Vol. 26, pp. 615-623.
35. [CT-RET2004] Codul Tehnic al Rețelei Electrice de Transport, aprobat cu Ordinul ANRE 20/2004 și completat cu Ord.35/2004.
36. [Dresser2002] Camp Dresser C., Mc Kee, International Inc. in association with GHK (HK) Ltd., Study on the Potential Applications of Renewable Energy in Hong Kong Electrical & Mechanical Services Department, Government of the Hong Kong Special Administrative Region, December, 2002.
37. [Dușa2001] Dușa V., Vaida V., Comanda și controlul rețelelor electrice, Editura Tehnică, București, 2001.
38. [EC/77/2001] Directiva Europeană 2001/77/EC 27, Promovarea energiei electrice produse din surse regenerabile pe piața unică de energie, 27 septembrie 2001.
39. [EG&G2002] Fuel Cell Handbook (Sixth Edition), EG&G Services, Inc., Science Applications International Corporation, DOE, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Lab, Novembre, 2002.
40. [Energ.11/2005] *** Energetica, anul 53, nr.11/Noiembrie 2005 – Masă rotundă, Sursele regenerabile de energie un viitor pentru alimentarea cu energie în România.
41. [Energ.9/2008] *** Energetica, Nr. 9 / Septembrie, 2008 - Masă rotundă, Accelerarea valorificării resurselor de energie regenerabile, pp.347-372.
42. [Energ.12/2008] *** Energetica, Nr. 12/Decembrie, S.N Nuclearelectrica S.A.- Dezvoltarea companiei și piața de energie, pp. 511-514,
43. [Famouri2003] Famouri P., Gemmen R.S., Electrochemical Circuit Model of a PEM Fuel Cell, Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, July 2003, Toronto, Canada, 0-7803-7990-X/03.
44. [FC&H2005] Fuel Cells and Hydrogen: The Path Forward, A Comprehensive Strategy for Federal Investment in Fuel Cell Technology and Fuel Infrastructure, January, 2005.
45. [FCRev.2005] Fuel Cell Review, Imaging sheds new light on fuel cell performance, Volume 2, Issue 5, Oct./ Nov., 2005, ISSN 1743-3029.
46. [Ferguson] Alex Ferguson V Ismet Ugursal, A fuel cell model for building cogeneration applications, Canadian Residential Energy Enduse Data and Analysis Centre Halifax, Nova Scotia, Canada B3J 1B6.

47. [Florea2006] Florea Gh., Lipan L., Mateescu E., **Ardelean I.**, Gal Al., Surianu D, Safety of the personnel working on multicircuit power overhead lines implies the precise knowledge of the magnetic induced voltages. Algorithm, software and comparison with measurements at real scale, Proceedings of the International Conference on Transmission and Distribution. Construction, Operation and Live-Line Maintenance – ESMO 2006, Albuquerque, New Mexico, USA, October, 15-19, 2006, ID - ESMO 16, 7
48. [Florea2009] Florea M., Oltean M., **Ardelean I.**, Technical and Economical Arguments for Live Working, Proceedings of the 4-th International Congress Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Buenos Aires, Argentina, April, 22-24, 2009.
49. [Fuller 1993] Fuller and J. Newman, J. Electrochem. Soc., 140, 1218 (1993).
50. [Garcia2004] Brenda L. García, Vijay A. Sethuraman, John W. Weidner, Ralph E. White, Roger Dougal, Mathematical Model of a Direct Methanol Fuel Cell, Journal of Fuel Cell Science and Technology November 2004, Vol.1/43.
51. [Gurski2002] S. Gurski, Cold Start Effects on Performance and Efficiency for Vehicle Fuel Cell System, Master of Science Thesis, Virginia Polytechnic and State University, (2002).
52. [Hamelin2001] Hamelin J., Agbossou K., Laperrière A., Laurencelle F. and Bose T.K., Dynamic Behavior of a PEM Fuel Cell Stack for Stationary Applications, International Journal of Hydrogen Energy, No. 6, June 2001, Vol. 26, pp. 625-629.
53. [Haraldson] Haraldson K., Wipke K., Evaluating PEM Fuel Cell Systems Models, National Renewable Energy Laboratory(NREL), 1617, Cole Boulevard, MS, 1633, Golden Colorado.
54. [Hatsopoulos1965] George N. Hatsopoulos G.N., Keenan J.H., Principles of General Thermodynamics, John Wiley & Sons, Inc., 1965.
55. [HG443/2003] HG nr. 443/10.04.2003, Promovarea producerii de energie electrică din surse regenerabile de energie (MO nr. 288/24.04.2003).
56. [HG890/2003] HG nr. 890/29.07.2003, Aprobarea Foii de parcurs din domeniul energetic din România, (MO nr. 581/14.08.2003).
57. [HG1535/2003] HG nr. 1535/18.12.2003, Aprobarea Strategiei de valorificare a surselor regenerabile de energie, (MO nr. 8/07.01.2004).
58. [Hubertus1998] Hubertus P.L.H. van Bussel, Koene F.G.H. and Mallant K.A.M., Dynamic Model of Solid Polymer Fuel Cell Water Management, Journal of Power Sources, No. 1-2, Vol. 71, March 1998, pp. 218-222.
59. [Johansson2001] K. Johansson (Haraldsson), Modelling of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell System for Automotive Applications, Licentiate of Engineering Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden (2001).
60. [Jousse2001] Jousse F., Granier J., PEMFC Low Temperature Fuel Cells Scientific and Technological Barriers, CLEFS, Nr. 44, 2000 – 2001.
61. [Kilyeni2001] Kilyeni St., Andea P., Lupea F., Chiosa N., **Ardelean I.**, Mihai M., Jude Alx. On the opportunity of mantaining Arad's synchronous compensator in operation, Proceedings of the fourth International Power Systems Conference–PSC 2001, Timișoara, Romania, November, 8-9, 2001, Vol. I, pp. 231-236.
62. [Kilyeni2004] Kilyeni Șt., Metode numerice. Algoritme, programe de calcul, aplicații în energetică, Ed. a 4-a, Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004.
63. [Kim1995] Kim et al., J. Electrochem. Soc., 142, 2670 (1995).
64. [Kortum1965] G. Kortum G., Treatise on Electrochemistry (2nd Edition), Elsevier Publishing Company, 1965.

65. [Kris] Kristina Haraldsson, Keith Wipke, Evaluating Pem Fuel Cell System Models, National Renewable Energy Laboratory (NREL) 1617 Cole Boulevard, MS 1633 Golden, Colorado, 80401.
66. [Kulp2001] G. Kulp and D. Nelson, in SAE Proceedings, 2001-FTT-63 (2001).
67. [Larminie2001] Larminie J., Dicks A., Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & Sons, Ltd., 2001.
68. [Lasseter2001] Lasseter R., Dynamic Models for Micro-turbines and Fuel Cells, Proceedings, 2001 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2001, Vol. 2, pp. 761-766.
69. [Leitman2005] Leitman J.D., Hansraj C.M., Carbonate Fuel Cells Convert Waste Gases into Useful Energy, European Fuel Cell Forum, Switzerland, July, 5-8, 2005.
70. [Lukas2001] Lukas M.D., Kwang Y. L., Ghezal A.H., Performance Implications of Rapid Load Changes in Carbonate Fuel Cell Systems, Proceedings IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2001, Vol. 3, pp. 979-984.
71. [Maggio2001] Maggio G., Recupero V., Pino L., Modeling Polymer Electrolyte Fuel Cells An Innovative Approach, Journal of Power Sources, No. 2, Oct. 2001, Vol. 101, pp.275-286.
72. [MAMUT2005] MAMUT Eden, Rețeaua Universităților de la Marea Neagră, Universitatea "Ovidius" Constanța, Centrul pentru Științe Inginerești Avansate – CAES, Sistemele de tracțiune electrice cu celule de combustie, o șansă pentru industria românească, 4 Iulie, 2005, Conf. Lansare MANUFUTURE, București.
73. [Mann2000] Mann et al., J. Power Sources, 86, 173 (2000).
74. [Markel2002] Markel et al., J. Power Sources, 110, 255 (2002).
75. [Maru2005] Hansraj C. Maru H.C., Ghezal H.A., Direct Carbonate Fuel Cell – Gas Turbine Combined Cycle Power Plant, European Fuel Cell Forum, Switzerland, July, 5-8, 2005.
76. [MathSoft] www.mathsoft.com
77. [MathWorks] www.mathworks.com
78. [Meadows1972] Meadows Denis și Donella, Raders J., Bechrens W., Limitele creșterii, Editura Politică, București, 1972.
79. [Mesarovic1975] Mihajlo Mesarovic și Eduard Pestel, Omenirea la răspântie– Al doilea raport către Clubul de la Roma, Editura Politică, București, 1975.
80. [Moffitt2006] Moffitt B.A., Bradley T.H., Mavris D., Parekh D.E., Design Space Exploration of Small-Scale PEM Fuel Cell Long Endurance Aircraft, the 6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO), Wichita, Kansas, September 25-27, 2006.
81. [Moldoveanu1996] Moldoveanu C., Radu C., Grigoriu V., Roșca V., Soluție pentru evitarea defectării înfășurării terțiare la autotransformatoarele 220/220/60 MVA, 231/121/10,5 kV la scurtcircuite monofazate în rețelele de 110 kV, 220 kV, Energetica, nr.4 B, vol.44, pp.172-178.
82. [Ms.En.21/2003] *** Mesagerul Energetic – Buletin Informativ al CNR–CME, Anul III, nr. 21, Iulie 2003.
83. [Ms.En.47/2005] *** Mesagerul Energetic – Buletin Informativ al CNR–CME, Anul V, nr. 47, Septembrie 2005.
84. [Ms.En.50/2005] *** Mesagerul Energetic – Buletin Informativ al CNR–CME, Anul V, nr. 50, Decembrie 2005.
85. [Muscalu1989] Muscalu S., Platon V., Pile de combustie, Editura Tehnică, Seria Tehnica la zi, București, 1989.
86. [NewsIn2009] [www.tmctv.ro/articol_64413/Reactoarele 3 si 4 de la Cernavoda](http://www.tmctv.ro/articol_64413/Reactoarele_3_si_4_de_la_Cernavoda)

87. [Nexus2002] Energy Nexus Group, Technology Characterization: Fuel Cells, 1401 Wilson Blvd., Suite 1101, Arlington, Virginia, 22209, April, 2002.
88. [Nguyen1993] Nguyen and R. White, J. Electrochem. Soc., 140, 2178 (1993).
89. [Nicoară2003] Nicoară B., Opreșiu N., Minea I.V., Studiu de evaluarea schemelor de alimentare a serviciilor interne de c.a. și c.c. din stațiile electrice ale CN Transelectrica și definirea schemelor optime funcție de complexitatea stației. Faza I. Studiu de caz pentru 6 stații reprezentative cu grad de complexitate diferită: Domnești 400/110/20 kV, Pelicanu 400/110 kV, Dârste 400/110 kV, Fântânele 220/110/20 kV, Timișoara 220/110 kV, Arad 400/220/110 kV, Contract 7/2003 al Universității Politehnica București cu Transelectrica, 2003.
90. [Nicoară2004] Nicoară B., Opreșiu N., Minea I.V., Studiu de evaluarea schemelor de alimentare a serviciilor interne de c.a. și c.c. din stațiile electrice ale CN Transelectrica și definirea schemelor optime funcție de complexitatea stației. Faza II. Identificarea și asimilarea lucrărilor efectuate la Faza I, pentru celelalte stații aparținând Transelectrica. Stabilirea schemelor optime de alimentare a serviciilor proprii, Contract 7/2003 al Universității Politehnica București cu Transelectrica, 2004.
91. [Nicoară2006] Nicoară B., Opreșiu N., Minea I.V., Scheme cadru ale serviciilor interne de c.a. și c.c. din stațiile RET, inclusiv specificații tehnice pentru echipamentul prevăzut, Contract C195/2006 al Universității Politehnica București cu Transelectrica, 2006.
92. [Oniciu1971] Oniciu L., Pile de combustie, Editura Științifică, București, 1971.
93. [PE026/92] Normativ pentru proiectarea Sistemului Energetic Național.
94. [PE111-8/88] Instrucțiuni pentru proiectarea stațiilor de conexiuni și transformatoare. Servicii proprii de curent alternativ.
95. [PE112/93] Normativ pentru proiectarea instalațiilor de curent continuu din centrale și stații electrice.
96. [Power2006] Power Business and Technology for the Global Generation Industry, 1-MW Fuel Cell Cogenerational Project, Vol. 150, No. 6, July/August, 2006.
97. [Preda1988] Preda L., Heinrich I., Buhuș P., Ivas D., Gheju P., Stații și posturi electrice de transformare, Editura Tehnică, București, 1988.
98. [Pspice] www.orcad.com
99. [Pyke2000] Pyke S.H., Wood A., Williams G.J., Kearney P., Solid polymer Fuel Cell Stationary Power Generation Design Studies, 2000.
100. [Raymond2001] Raymond G., Hassmann K., Siemens Power Generation Group, Power Journal. Fuel Cell Applications and Types. Developments and Potentials, 2001.
101. [Rowe2001] Rowe A., Xianguo Li, Mathematical Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cells, Journal of Power Sources, No. 1-2, Dec. 2001, Vol. 102, pp.82-96.
102. [Schneuwly2002] Schneuwly A., M. Bärtschi M., Hermann V., Sartorelli G., Gallay R., Koetz R., Boostcap Double-Layer Capacitors for Peak Power Automotive Applications, Proceedings of the Second International Advanced Automotive Battery Conference (AABC), Las Vegas, Nevada, February 2002.
103. [Schreiber1982] Jean-Jacques Servan-Schreiber, Sfidarea mondială , Editura Politică, București, 1982.
104. [Simnon] www.sspa.se
105. [Sivertsena2005] B.R. Sivertsena,1, N. Djilalib, CFD-based modelling of proton exchange membrane fuel cells, Journal of Power Sources 141 (2005) 65–78.

106. [Smith2002] Smith J.A., Nehrir M.H., Gerez V., Shaw S.R., A Broad Look at the Workings, Types and Applications of Fuel Cells, Proceedings, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Chicago IL, July 2002, Vol. 1, pp. 70-75.
107. [Springer1991] T. Springer et al., J. Electrochem. Soc., 138, 2334 (1991).
108. [Srinivasan2002] Srinivasan P., Feliachi A., Sneckenberger J.E., Proton Exchange Membrane Fuel Cell Dynamic Model for Distributed Generation Control Purposes, Proceedings of the 34-th North American Power Symposium, Tempe, Arizona, Octobre, 2002, pp. 393-398.
109. [Tankut2007] Tankut Yalcinoz and Mohammad S. Alam The Dynamic Performance of PEM Fuel Cells under Various Operating Conditions of a Laptop Computer Eurocon 2007 The International Conference on "Computer as a Tool" Warsaw, September 9-12.
110. [Velea2008] Velea F., Digă S.M., Dădulescu P., Micola M., Considerații asupra modernizării surselor de alimentare de rezervă din stațiile electrice, Tehnologiile Energiei, ICEMENERG, august 2008, pp. 23-30.
111. [Vuc2007] Vuc Gh., **Ardelean I.**, Luștea B., Dușa V., Borlea I., Kilyeni St., Fuel Cells Solution for Ancillary Services Backup Supply in a Power Sistem Substation, Proceedings of the International Conference on Computer as a tool – Eurocon 2007, Warsaw, Poland, September, 09-12, 2007, pp. 1485-1492
112. [Wang2001] Wang M., Nehrir M.H., Fuel Cell Modeling and Fuzzy Logic-Based Voltage Control, International Journal of Renewable Energy Engineering, No. 2, August 2001, Vol. 3.
113. [Wang2003] Wang L., Husar A., Zhou T., Liu H., A Parametric Study of PEM Fuel Cell performances, Inr. J. Hydrogen Energy, 28, 2003, pp.1263-1272.
114. [Wang2006] Wang C., Modeling and Control of Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Distributed Generation Systems, Montana State University, Bozeman, Montana, July, 2006.
115. [Weiss2003] Weiss M.A., Heywood J.B., Schafer A., Natarajan V.K., Comparative Assessment of Fuel Cell Cars, February, 2003.
116. [Williams2005] Williams M.C., Marut H.C., Distributed Generation - Molten Carbonate Fuel Cells, CFC Symposium, Toulouse, France, August, 29-September, 1, 2005.
117. [Wipke1999] Wipke et al., in IEEE Transactions on Vehicular Technology: Special Issue on Hybrid and Electric Vehicles (1999).
118. [Wöhr1998] Wöhr M., Bolwin K., Schnurnberger W., Fischer M., Neubrand W. and Eigenberger G., Dynamic Modeling and Simulation of a Polymer Membrane Fuel Cell Including Mass Transport Limitation, International Journal of Hydrogen Energy, No. 3, Vol. 23, March 1998, pp. 213-218.
119. [www.anre2007a] [www.anre.ro/Rapoarte/Firme/Raport 2007 privind funcționarea pieței de Certificate Verzi](http://www.anre.ro/Rapoarte/Firme/Raport%202007%20privind%20funcționarea%20pieței%20de%20Certificate%20Verzi).
120. [www.anre2007b] [www.anre.ro/Rapoarte/Firme/Raport 2007 privind emiterea garanțiilor de origine](http://www.anre.ro/Rapoarte/Firme/Raport%202007%20privind%20emiterea%20garanțiilor%20de%20origine)
121. [www.tel2008] [www.transelectrica.ro/Rapoarte anuale/Rezultate tehnice ale SEN în România în 2008](http://www.transelectrica.ro/Rapoarte%20anuale/Rezultate%20tehnice%20ale%20SEN%20în%20România%20în%202008).
122. [www.enero2008] [www.enero.ro_- ENERO, Centrul pentru Promovarea Energiei Curate și Eficiente în România](http://www.enero.ro/-ENERO,Centrul%20pentru%20Promovarea%20Energiei%20Curate%20și%20Eficiente%20în%20România).
123. [www.bbc2009] news.bbc.co.uk/1/hi/scotland/edinburgh_and_east/7894571.stm
124. www.fuelcelltoday.com.
125. [Yi1998] Yi and T. Nguyen, J. Electrochem. Soc., 145, 1149 (1998).
126. [You2002] You and H. Liu, Int. J. Heat Mass Transfer, 45, 2277 (2002).

127. [***2004] Studiu privind asigurarea serviciului de mentenanță în stațiile care au fost sau urmează a fi retehnologizate. Studiu de caz Stația 400 kV Arad, Contract UPT 118/2004, încheiat între Universitatea "Politehnica din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara
128. [***2006] Studiu privind creșterea siguranței în funcționarea stațiilor RET prin cunoașterea și controlul caracteristicilor consumatorilor de servicii proprii și identificarea unor soluții noi pentru sursa de siguranță. Studiu de caz Stația 220 kV Timișoara, Contract UPT 499/2006, încheiat între Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara
129. [***2007] Studiul privind compatibilitatea pilelor de combustie cu condițiile impuse de regimurile de funcționare ale serviciilor proprii dintr-o stație electrică de transformare, Contract UPT 659/2007, încheiat între Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara
130. [***2008] Studiu privind impactul utilizării surselor neconvenționale pentru alimentarea serviciilor interne ale stațiilor, asupra siguranței sistemului. Justificarea oportunității realizării unei aplicații pilot într-o stație aparținând S.T. Timișoara, Contract UPT 74/2008, încheiat între Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara

SINTEZĂ PRIVIND LUCRĂRILE PROPRII

1. [Ardelean2002a] **Ardelean I.**, Vornic N., Diminuarea riscului în acționarea întrerupătoarelor IO printr-o corectă monitorizare a stării de uzură a acestora, Simpozionul Managementul riscurilor în SEN, Prima ediție, Timișoara, România, 06-07 iunie 2002, Lucrarea 11, 8 pag.
2. [Ardelean2006a] **Ardelean I.**, Referat științific nr.1, Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, Timișoara, martie, 2006.
3. [Ardelean2006c] **Ardelean I.**, Kilyeni St., Andea P., Limbean G., Asupra oportunității menținerii în funcțiune a CS de la Timișoara, WEC Regional Energy Forum-FOREN 2006, Neptun-Olimp, 11-15.06.2006, Lucrarea S1-14, 9 pag.
4. [Ardelean2006d] **Ardelean I.**, Dușa V., Luștea B., Borlea I., Vuc Ghe., Considerații privind utilizarea tehnologiilor neconvenționale de conversie a energiei pentru alimentarea serviciilor proprii ale stațiilor electrice de interconexiune, Proceedings of the 5th Energy Efficiency International Symposium-EEIS 2006, Cluj Napoca, România, 03-05.10.2006, pp. 246-254.
5. [Ardelean2006e] **Ardelean I.**, A long term viable alternative of „energy hunger” – regenerable energy sources capitalization, Proceedings of the International Conference on Modern Power Systems-MPS 2006, Cluj Napoca, Romania, November, 08-11, 2006, pp. 81-84.
6. [Ardelean2006f] **Ardelean I.**, Referat științific nr.2, Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, Timișoara, decembrie, 2006.
7. [Ardelean2007a] **Ardelean I.**, Referat științific nr.3, Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, Timișoara, aprilie, 2007.
8. [Ardelean2007b] **Ardelean I.**, Bărbulescu C., Vuc Ghe., Borlea I., Kilyeni St., Tehnical and financial feasibility of using fuel cells as back up source in a power system substation, Conferința Națională și Expoziția de Energetică-CNEE 2007, Sinaia, România, 07-09.11.2007, pp. 969-975.
9. [Ardelean2008b] **Ardelean I.**, Chiosa N., Vuc Gh., Kilyeni St., Bărbulescu C., Analiza și simularea regimurilor de funcționare ale unei pile de combustie ca sursă de siguranță în alimentarea serviciilor proprii ale stațiilor din RET, WEC Regional Energy Forum-FOREN 2008, Neptun-Olimp, Romania, 15-1 9.06.2008, Reference nr. sp-57-en, 8 pag.
10. [Ardelean2008c] **Ardelean I.**, Vuc Gh., Luștea B., Dușa V., Borlea I., Jigoria-Oprea D., Backup supply based on Fuel Cells for Power System Substation Auxiliary Services, Proceedings of the Fuel Cells Science and Technology - Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Copenhagen, Denmark, October, 07-09, 2008, paper ID197R, 7 pag.
11. [Ardelean2008d] **Ardelean I.**, Chiosa N., Dușa V., Luștea B., Borlea I., Jigoria-Oprea D., Feeding Self Services from Substation belonging to the National Powre Grid using Fuel Cells Source as Normal and Backup Source, Proceedings of the 2-nd International Conference on Modern Power Systems-MPS 2008, Cluj-Napoca, Romania, November, 12-14, 2008, pp. 73-78.
12. [Ardelean2009a] **Ardelean I.**, Dusa V., Lustrea B., Borlea I., Oprea D., Tehnical and aconomic arguments for using Fuel Cells in RET power station's self services feeding, Proceedings of the International Conference on Computer as a tool – Eurocon 2009, Saint Petersburg, Russia, May, 18-23, pp.497-502.

13. [Buta2003b] Buta A., Pană A., Dușa V., Gheju P., Titihazan V., Chiosa N., **Ardelean I.**, Nesin V., Asigurarea calității energiei electrice livrate serviciilor proprii ale stațiilor rețelelor de transport, din terțiarul autotransformatoarelor, Al XVIII-lea Simpozion Național de Siguranța în Funcționarea Sistemului Energetic-SIG 2003, Oradea, România, 24-26.09.2003, pp.163-167.
14. [Florea2006] Florea Gh., Lipan L., Mateescu E., **Ardelean I.**, Gal Al., Surianu D, Safety of the personnel working on multicircuit power overhead lines implies the precise knowledge of the magnetic induced voltages. Algorithm, software and comparison with measurements at real scale, Proceedings of the International Conference on Transmission and Distribution.Construction, Operation and Live-Line Maintenance-ESMO 2006, Albuquerque, New Mexico, USA, October, 15-19, 2006, ID - ESMO 16, 7
15. [Florea2009] Florea M., Oltean M., **Ardelean I.**, Technical and Economical Arguments for Live Working, Proceedings of the 4th International Congress Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Buenos Aires, Argentina, April, 22-24, 2009.
16. [Kilyeni2001] Kilyeni St., Andea P., Lupea F., Chiosa N., **Ardelean I.**, Mihai M., Jude Alx. On the opportunity of mantaining Arad's synchronous compensator in operation, Proceedings of the fourth International Power Systems Conference-PSC 2001, Timișoara, Romania, November, 8-9, 2001, Vol. I, pp. 231-236.
17. [Vuc2007] Vuc Gh., **Ardelean I.**, Luștea B., Dușa V., Borlea I., Kilyeni St., Fuel Cells Solution for Auxiliary Services Backup Supply in a Power Sistem Substation, Proceedings of the International Conference on Computer as a tool - Eurocon 2007, Warsaw, Poland, September, 09-12, 2007, pp. 1485-
18. [***2004] Studiu privind asigurarea serviciului de mentenanță în stațiile care au fost sau urmează a fi retehnologizate. Studiu de caz Stația 400 kV Arad, Contract UPT 118/2004, încheiat între Universitatea "Politehnica din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara
19. [***2006] Studiu privind creșterea siguranței în funcționarea stațiilor RET prin cunoașterea și controlul caracteristicilor consumatorilor de servicii proprii și identificarea unor soluții noi pentru sursa de siguranță. Studiu de caz Stația 220 kV Timișoara, Contract UPT 499/2006, încheiat între Universitatea "Politehnica din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara
20. [***2007] Studiul privind compatibilitatea pilelor de combustie cu condițiile impuse de regimurile de funcționare ale serviciilor proprii dintr-o stație electrică de transformare, Contract UPT 659/2007, încheiat între Universitatea "Politehnica din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara
21. [***2008] Studiu privind impactul utilizării surselor neconvenționale pentru alimentarea serviciilor interne ale stațiilor, asupra siguranței sistemului. Justificarea oportunității realizării unei aplicații pilot într-o stație aparținând S.T. Timișoara, Contract UPT 74/2008, încheiat între Universitatea "Politehnica din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Catedra de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., Sucursala de Transport Timișoara

Anexa 1. CONSUMUL DE ENERGIE ELECTRICĂ AL SERVICIILOR PROPRII ALE STAȚIILOR S.T. TIMIȘOARA, C.N.T.E.E. TRANSELECTRICA S.A.

Tabelul A1.1 prezintă energia activă consumată de serviciile proprii ale stațiilor din gestiunea S.T. Timișoara, în anul 2007, iar Tabelul A1.2 situația pentru anul 2008,

Tabelul A1.1 Energia activă consumată de SP ale stațiilor S.T. Timișoara în anul 2007 [MWh]

Luna	Timișoara	Săcălaz	Arad	Reșița	Iaz	Hășdat
Ianuarie	37,346	40,584	140,307	89,162	67,598	53,008
Februarie	1,08	35,674	123,949	80,603	59,371	45,795
Martie	0,654	33,6	121,561	74,826	55,74	46,687
Aprilie	0,639	23,245	83,448	37,641	41,863	32,248
Mai	0,64	19,372	67,604	21,817	32,356	29,835
Iunie	0,641	23,419	67,869	21,875	29,55	29,559
Iulie	0,868	25,435	74,54	26,731	29,488	30,637
August	0,646	20,886	73,338	42,179	11,525	36,719
Septembrie	3,509	14,62	65,724	26,876	30,191	31,448
Octombrie	0,656	25,691	89,821	54,343	44,405	36,508
Noiembrie	0,628	35,772	121,926	84,58	63,729	48,371
Decembrie	0,628	40,422	140,977	97,426	68,297	54,446

Luna	Peștiș	Baru Mare	Paroșeni	Mintia	Total
Ianuarie	45,163	48,708	0	154,724	676,600
Februarie	39,291	44,18	0	139,274	569,217
Martie	38,014	42,743	0	123,418	537,243
Aprilie	34,279	33,574	11,086	85,975	383,998
Mai	30,879	21,37	21,715	94,16	339,748
Iunie	30,268	21,804	20,032	121,241	366,258
Iulie	29,986	21,348	20,352	118,605	377,990
August	30,378	20,765	21,983	127,156	385,575
Septembrie	42,411	26,837	21,767	100,86	364,243
Octombrie	39,372	34,97	23,019	123,606	472,391
Noiembrie	42,89	44,329	26,498	150,195	618,918
Decembrie	49,486	49,895	29,685	167,159	698,421

Tabelul A1.2 Energia activă consumată de SP ale stațiilor S.T. Timișoara în anul 2008 [MWh]

Luna	Timișoara	Săcălaz	Arad	Reșița	Iaz	Hășdat
Ianuarie	23,033	43,126	148,447	94,744	65,033	54,914
Februarie	2,738	37,377	128,4	84,849	60,522	47,008
Martie	6,377	35,694	123,506	79,604	55,443	37,893
Aprilie	0,662	25,925	92,808	48,04	44,319	30,737
Mai	0,674	18,45	77,491	25,824	32,101	26,956
Iunie	0,668	18,236	67,993	22,031	25,086	20,251
Iulie	0,675	19,346	62,727	19,265	26,09	20,068
August	0,677	19,744	66,558	19,92	28,235	20,783
Septembrie	0,666	18,179	69,376	42,756	37,919	21,605
Octombrie	0,717	19,301	75,533	49,537	39,947	23,089
Noiembrie	23,155	25,269	84,833	65,954	50,761	31,414
Decembrie	58,211	31,683	118,632	84,068	55,647	38,616

Luna	Peștiș	Baru Mare	Paroșeni	Mintia	Nădab	Total
Ianuarie	50,993	51,91	30,586	176,402	0	739,188
Februarie	43,276	44,622	25,168	158,343	0	632,303
Martie	41,792	40,466	24,796	142,832	0	588,403
Aprilie	32,405	28,094	21,523	102,507	0	427,020
Mai	21,132	21,583	17,812	95,192	9,331	346,546
Iunie	20,711	15,479	18,144	120,848	10,526	339,973
Iulie	21,924	15,18	17,633	115,046	8,354	326,308
August	21,87	15,777	17,259	126,467	7,995	345,285
Septembrie	19,264	18,188	17,257	104,07	8,433	357,713
Octombrie	15,513	24,459	19,193	108,034	9,948	385,271
Noiembrie	16,928	34,025	23,635	133,56	14,678	504,212
Decembrie	13,052	42,715	25,255	145,769	17,51	631,158

În figurile următoare se prezintă evoluția lunară a consumului de energie activă a SP din cadrul stațiilor menționate mai sus, pentru anii 2007, 2008.

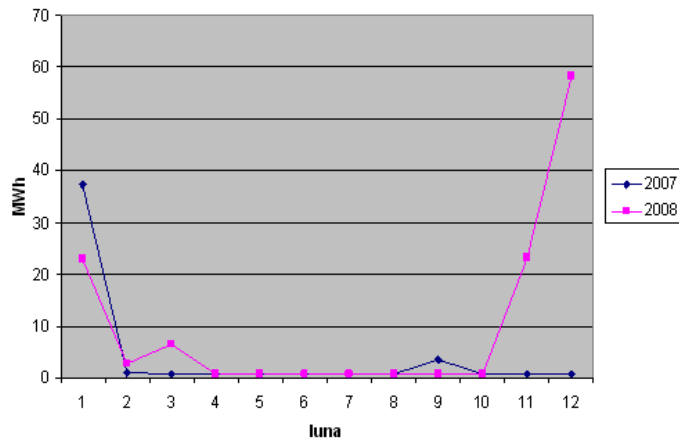


Fig. A1.1. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Timișoara

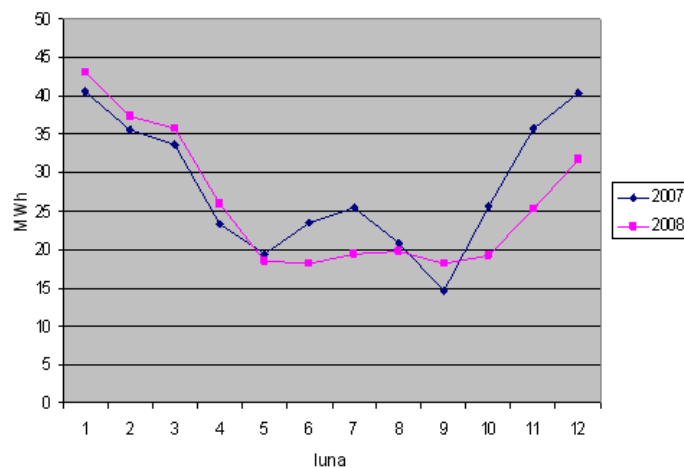


Fig. A1.2. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Sacălaz

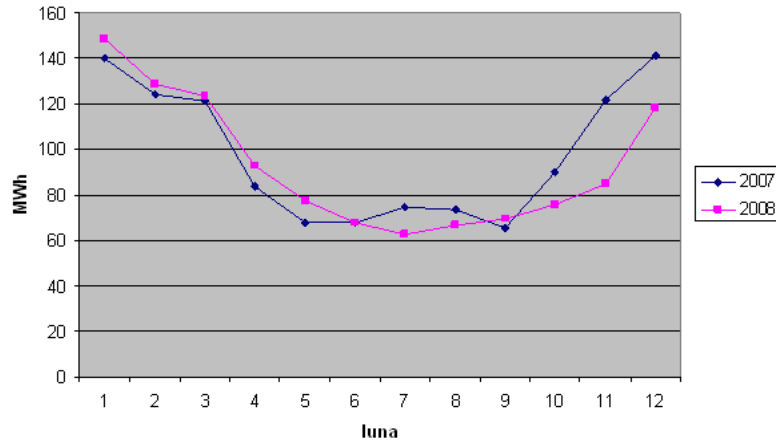


Fig. A1.3. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Arad

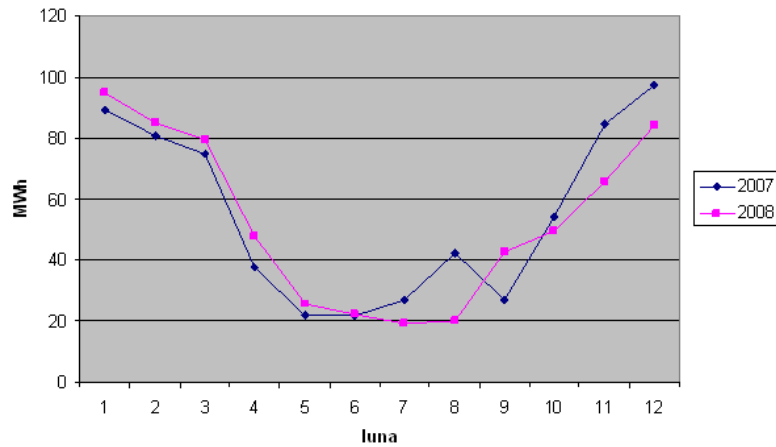


Fig. A1.4. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Reșița

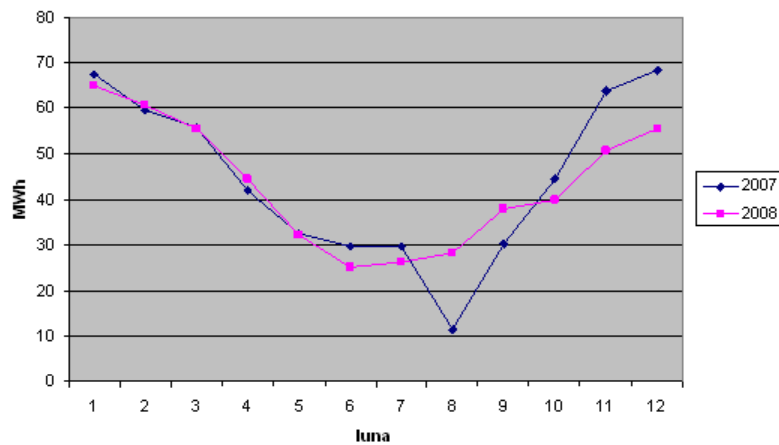


Fig. A1.5. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Iaz

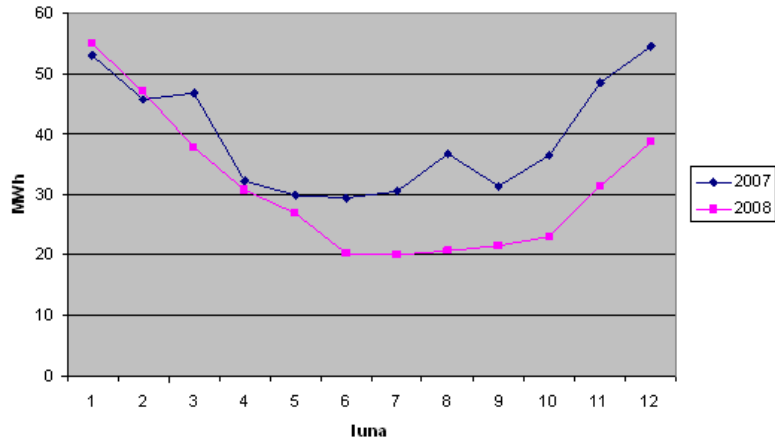


Fig. A1.6. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Hășdat

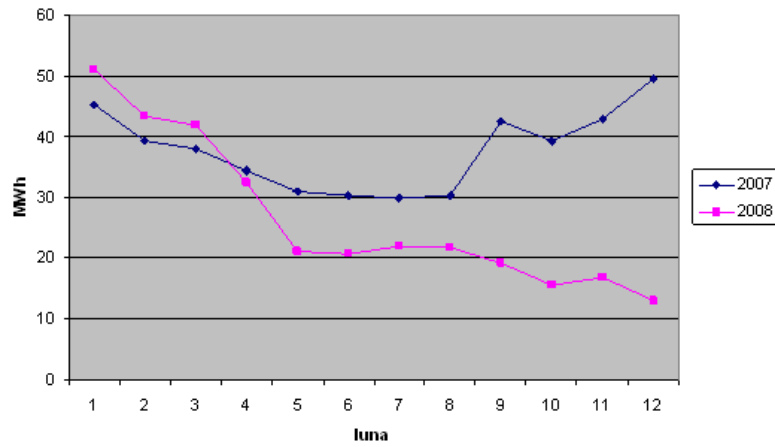


Fig. A1.7. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Peștiș

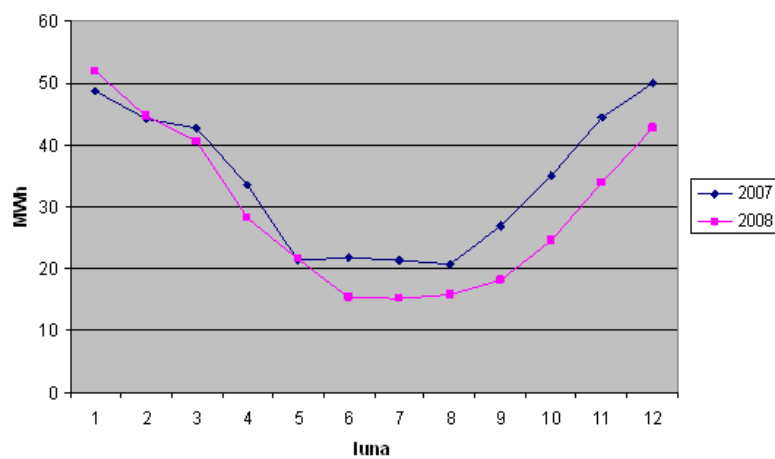


Fig. A1.8. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Baru Mare

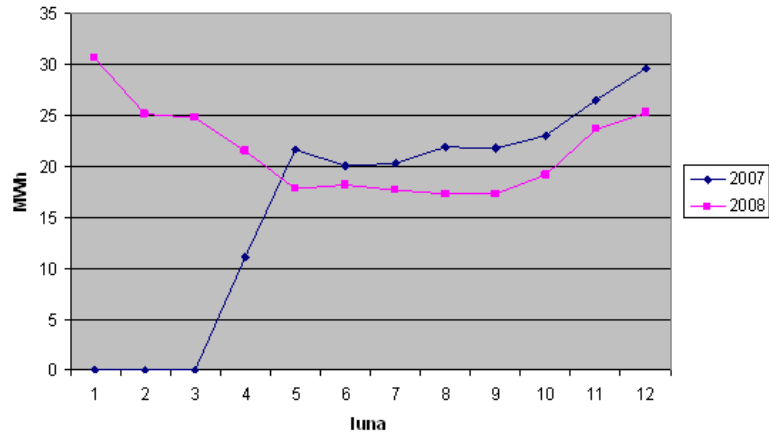


Fig. A1.9. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Paroșeni

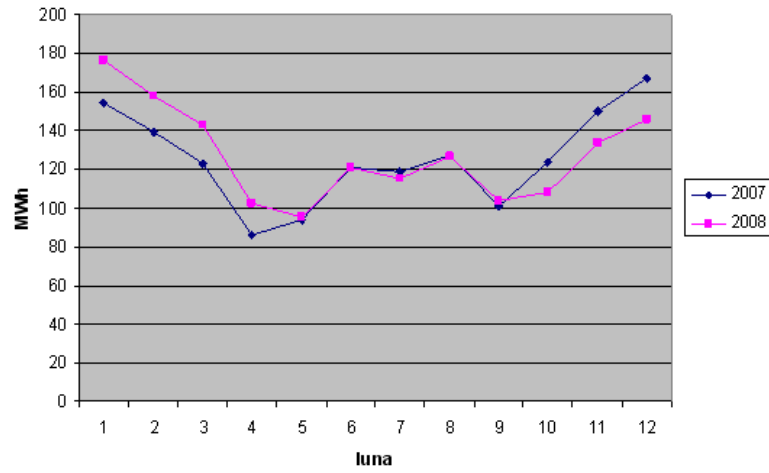


Fig. A1.10. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Mintia

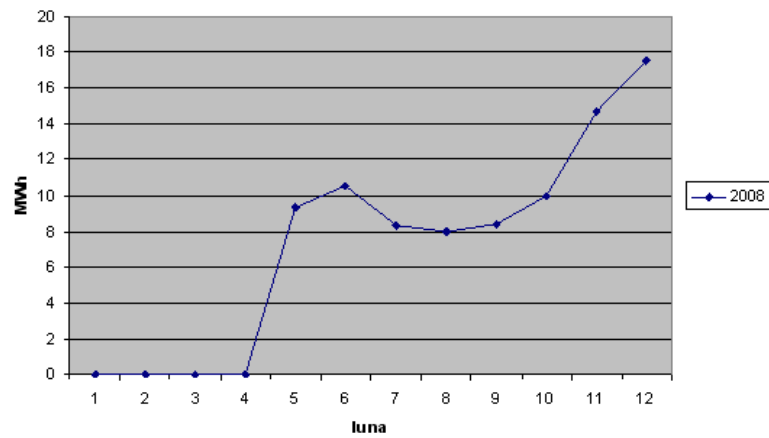


Fig. A1.11. Evoluția energiei active consumate lunar în stația Nădab

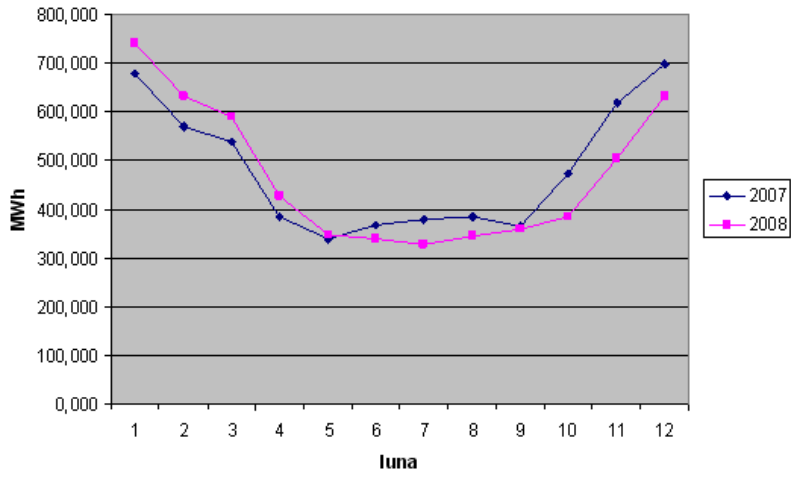


Fig. A1.12. Evoluția energiei active consumate lunar în stațiile S.T. Timișoara

Anexa 2. PILE DE COMBUSTIE

A2.1. PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell / Polymer Electrolyte Membrane Pilele de combustie cu membrană schimbătoare de protoni / cu membrană electrolit din polimer

Pilele de combustie cu membrană schimbătoare de protoni / cu membrană electrolit din polimer au fost inventate de Willard Thomas Grubb și Leonard Niedrach, în timp ce lucrau la General Electric. PEMFC lucrează la temperatură și presiune scăzute, datorită unei membrane electrolit dintr-un polimer special și sunt ideale pentru transport și pentru aplicațiile energetice portabile.

În anii 1960 PEMFC a fost dezvoltată de NASA pentru prima navă spațială cu om la bord. PEMFC utilizează un electrolit solid de polimer și funcționează la temperaturi de cca. 90°C. În ultimii 10 ani, PEMFC a beneficiat de o largă expunere media, datorită investițiilor industriei auto în această tehnologie.

Pila de combustie este compusă dintr-un anod, un catod, un catalizator și membrana schimbătoare de proton. Hidrogenul sub presiune este introdus pe partea anodului pilei de combustie. Presiunea determină avansarea sa în catalizator și îl împarte în doi ioni pozitivi de hidrogen și doi ioni negativi, după reacția cu platina. Electronii sunt conduși prin anod spre catod. Toate acestea au loc în timp ce oxigenul intră în catod și trece peste catalizatorul de platină. Se formează doi atomi de hidrogen cu o sarcină puternic negativă, care atrăgând doi ioni pozitivi de hidrogen prin membrană, se combină pentru a genera apa și energie electrică. Datorită modularității sale și modului de fabricare foarte simplu, acest tip de pilă de combustie a atras un capital considerabil. PEMFC au o densitate mare de putere și pot varia rapid puterea generată pentru a satisface cererea. Acest tip de pilă este foarte sensibil la „otrăvirea” cu CO. PEMFC sunt produse de mari companii: Ballard Power, UTC, Dupont, 3M, Plug Power și Hydrogenics. În Fig. A2.1 este prezentată pila de combustie cu membrană electrolit de polimer.

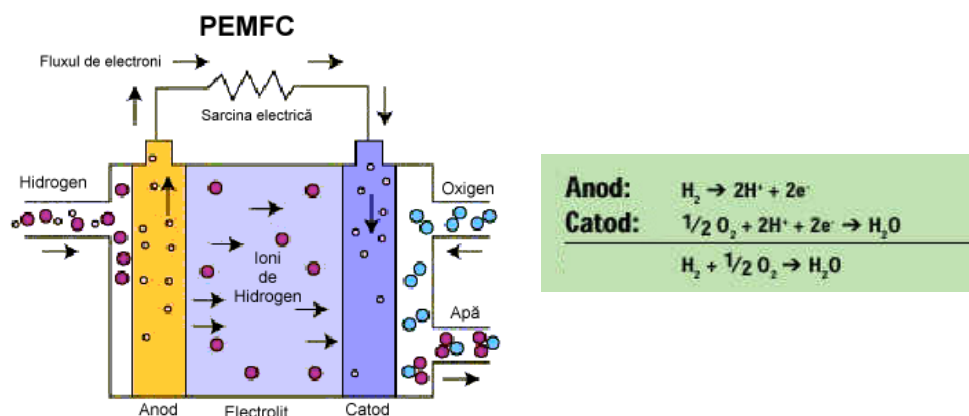


Fig. A2.1. Pila de combustie cu membrană electrolit de polimer

A2.2. MFC – Direct Methanol Fuel Cell Pile de combustie directe cu metanol

Pile de combustie directe cu metanol sunt similare cu PEMFC și alimentează cu metanol pila de combustie. DMFC reprezintă o invenție mai recentă, fiind dezvoltate la începutul anilor 1990. Avantajul acestora este legat de faptul că metanolul este un lichid stabil în comparație cu hidrogenul sub presiune și are o densitate de energie mult mai mare. Pe de altă parte, metanolul este toxic și DMFC este mai puțin eficientă datorită îmbibării membranei cu metanol. Cercetările continuă să crească eficiența DMFC, cu posibilitatea atingerii a 40% din nivelul de eficiență al unei PEMFC obișnuite. DMFC au fost de asemenea dezvoltate pentru a fi folosite în echipamente electronice portabile cum ar fi laptop-uri.

A2.3. AFC – Alkaline Fuel Cell Pile de combustie alcaline

Pe parcursul anilor 1940-1950, F.T. Bacon în Cambridge (Anglia), a fost primul care a demonstrat că pilele AFC sunt unități viabile de producere a energiei. NASA a dezvoltat și a utilizat acest tip de pilă pentru programul spațial Apollo, furnizând atât energie electrică cât și apa potabilă.

Tehnologia AFC utilizează ca și electrolit, hidroxid de potasiu. Pot produce o putere între 100 W și 5 kW la un nivel de eficiență de 70% și operează la temperaturi între 150 - 200°C. AFC produc energie în urma unei reacții de reducere-oxidare, între hidrogen și oxigen, cu precizarea că hidrogenul se oxidează la anod. Electronii trec printr-un circuit și se întorc la catod. O moleculă de oxigen și doi atomi de hidrogen, se folosesc pentru a produce două molecule de apă, în urma reacției rezultând căldură și energie electrică.

Primul avantaj al acestei tehnologii, este performanța ridicată (eficiență electrică peste 60 % HHV), iar ca avantaje secundare, utilizarea unor electrozi din metale neprețioase și a altor materiale obișnuite. Primul dezavantaj este tendința de a absorbi bioxidul de carbon, convertind electrolitul alcalin într-o soluție apoasă de carbonat, care este mai puțin conductor. Atractivitatea pilelor AFC a scăzut substanțial, odată cu creșterea interesului pentru tehnologia PEMFC. În Fig. A2.2 este prezentată pila de combustie alcalină.

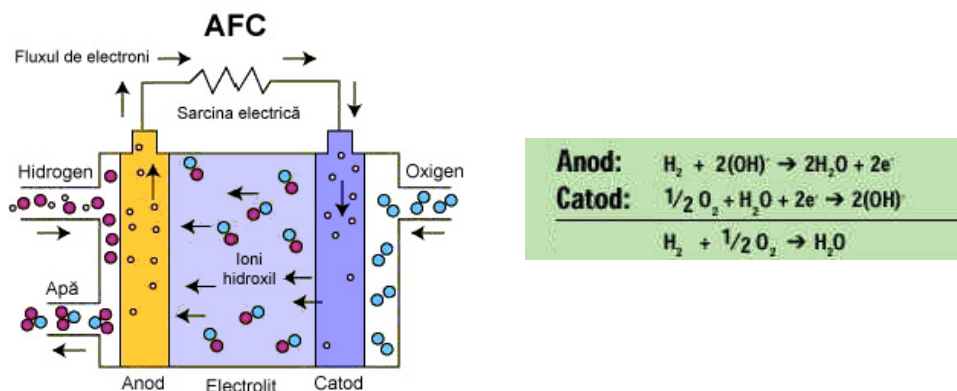


Fig. A2.2. Pila de combustie alcalină

A2.4. PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell Pile de combustie cu acid fosforic

PAFC utilizează acid fosforic ca și electrolit și este în general considerată cea mai bine pusă la punct tehnologie de pile de combustie. Primul sistem de generare distribuită cu PAFC, a fost proiectat și construit la începutul anilor 1970.

PAFC funcționează la temperaturi între 150-200°C, are un randament electric de aproximativ 36% HHV și poate ajunge până la 80%, dacă apa rezultată poate fi convertită în abur și folosită pentru încălzire. PAFC poate folosi o largă varietate de combustibil, inclusiv benzină fără sulf.

Începând cu anul 1990, este disponibilă pe piață un model de 200 kW. Pe parcursul anilor au fost fabricate peste 200 de astfel de unități și sunt în funcțiune în USA, Europa și Japonia. PAFC se folosesc adesea pentru aplicații staționare ale pilelor de combustie și modelul produs de 200 kW, este garantat pentru o durată de exploatare de peste 40.000 ore și o fiabilitate de 90-95%, demonstrate pe unități cu vechime de peste 8 ani de funcționare.

PAFC sunt relativ scumpe, deoarece folosesc electrozi din hârtie de carbon, acoperită cu un strat fin de platină. Cel mai mare dezavantaj de piață este costul inițial, care până în prezent, nu a scăzut sub 4500-5500 \$/kW instalat. În Fig. A2.3 este prezentată pila de combustie cu acid fosforic.

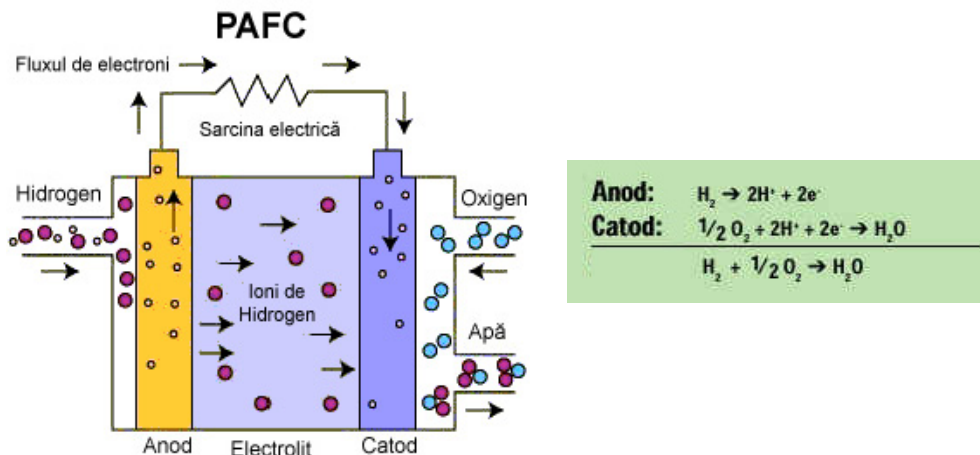


Fig. A2.3. Pila de combustie cu acid fosforic

A2.5. MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell Pile de combustie cu carbonat lichid

MCFC are o istorie care începe în primii ani ai secolului XX. Datorită domeniului temperaturilor de funcționare între 600-750°C, tehnologia MCFC este potrivită atât pentru generare distribuită cât și pentru cogenerare (CHP). MCFC utilizează ca și electrolit carbonat metal alcalin (Li, Na, K) și sunt printre cele mai eficiente tipuri de pile de combustie dezvoltate până acum. Când căldura evacuată este captată și utilizată, eficiența în ansamblu a unei MCFC, poate fi de 85%. Acest tip de pilă poate

fi cu reformare internă, poate funcționa cu eficiențe ridicate (50% HHV) și este relativ tolerantă la impurități. Au existat programe guvernamentale între anii 1980-1990, care s-au finalizat cu câteva prototipuri. Principala companie care fabrică acest tip de pilă de combustie este FuelCell Energy. MCFC sunt momentan dezvoltate pentru centralele electrice pe gaze naturale și cărbune, aplicații industriale și militare, cu o putere de până la 2 MW. Se presupune că există proiecte pentru unități care generează energie electrică de până la 100 MW. Principalul neajuns al acestui tip de tehnologie, este degradarea componentelor datorită coroziunii naturale în condițiile de temperatură ridicată de funcționare. În Fig. A2.4 se prezintă pila de combustie cu carbonat lichid (topit).

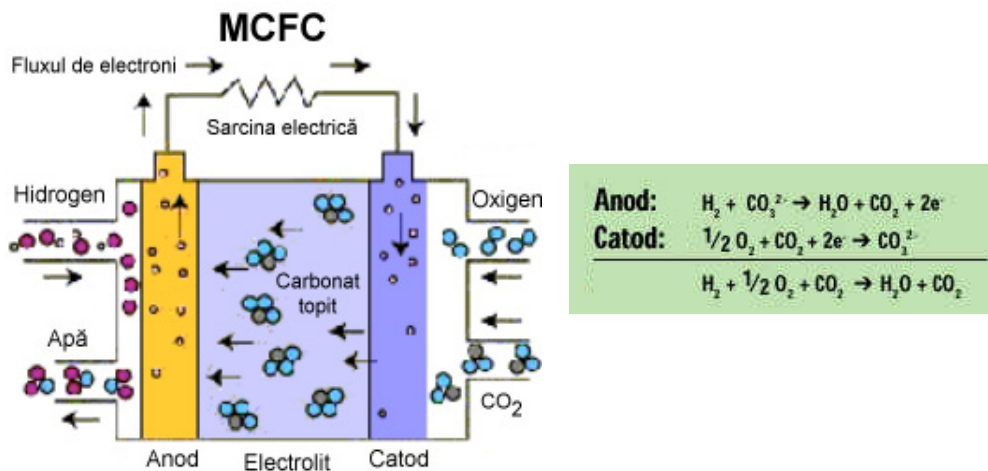


Fig. A2.4. Pila de combustie cu carbonat lichid

A2.6. SOFC – Solid Oxide Fuel Cell Pile de combustie cu oxid solid

Cercetările asupra acestui solid oxid electrolitic au început cu Baur și Preis la sfârșitul anilor 1930 și ating apogeul în anii 1950 în Statele Unite și Europa. Tehnologia SOFC utilizează ca electrolit o ceramică solidă. Tehnologia SOFC este considerată mai puțin matură ca dezvoltare, decât tehnologiile MCFC și PAFC.

Au fost construite și testate câteva unități SOFC cu puteri de până la 100 kW și bazate pe un proiect tubular concentric. Pe de altă parte, sunt companii care dezvoltă pile SOFC după modele planare, care oferă o densitate mai mare de putere și costuri mai scăzute, dar acestea nu au încă fiabilitatea modelului tubular. În ciuda imaturității dezvoltării acestui tip de tehnologie, există totuși câteva avantaje: eficiență ridicată, stabilitate și fiabilitate și temperaturi interne ridicate. Eficiența electrică a SOFC este între 45-60%, sau chiar mai mare pentru unități mari, cu ciclu combinat. La astfel de aplicații, excesul de gaz generat poate fi folosit pentru a antrena o a doua turbină, în scopul creșterii eficienței electrice până la 70%. Eficiența pentru unități mai mici, este în jur de 50%. Sunt destinate pentru aplicații staționare, cum ar fi centrale electrice cu puteri mici, de până la 100 kW.

Stabilitatea și fiabilitatea pilelor SOFC, se datorează unei construcții ceramice solide. Unitățile testate au funcționat peste 10 ani, cu performanțe acceptabile.

Temperatura internă înaltă a SOFC este și un avantaj și un dezavantaj. Ca și avantaj, temperaturile înalte fac posibilă reformarea internă a combustibilului. Ca și dezavantaj, aceste temperaturi fac necesară folosirea unor materiale cu calități superioare, reduc durata de viață a pile și cresc costurile. Pe parcursul ultimilor 30 de ani de cercetări, aceste costuri au rămas încă ridicate. În Fig. A2.5 se prezintă pila de combustie cu oxid solid – SOFC.

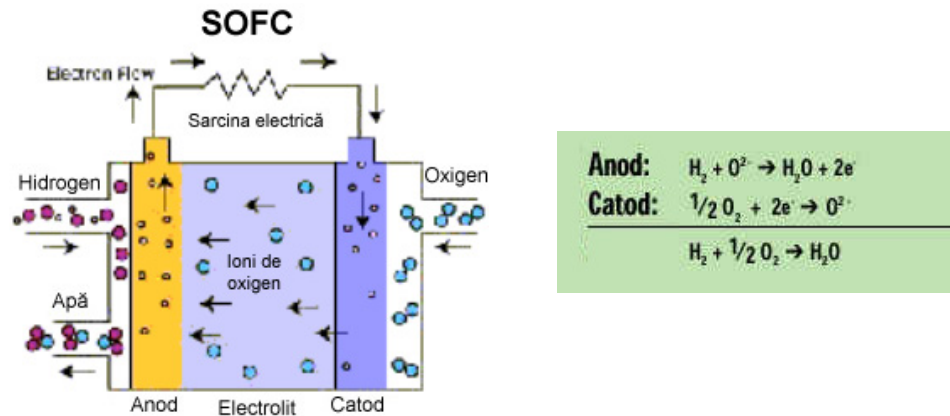


Fig. A2.5. Pila de combustie cu oxid solid

Caracteristicile care au potențialul să facă din pilele de combustie liderul tehnologiilor pentru cogenerare (CHP) și alte aplicații de generare distribuită, sunt următoarele:

- **Dimensiunile** – sistemele cu pile de combustie sunt construite din elemente individuale care generează o putere între 100 W și 2 kW. Aceasta permite sistemelor cu pile de combustie să aibă o flexibilitate foarte mare în ceea ce privește capacitatea de generare. Sistemele de baterii cu pile de combustie au între 5 kW la 2 MW. De asemenea pot fi montate mai multe sisteme în paralel.
- **Temperatura de ieșire** – eficiența globală a pilelor de combustie este între 65-85%. Resursele energetice secundare de căldură pot fi utilizate în domeniul casnic, pentru aplicații cum ar fi încălzirea apei menajere sau încălzirea spațiilor.
- **Disponibilitate** – disponibilitatea comercială a sistemului de 200 kW, P25, cu mai mult de 200 de unități comercializate, este mai mare de 90%, pe parcursul a mai mult de 1 milion de ore de funcționare. Pe măsura maturizării tehnologiilor, fiabilitatea acestora va crește.
- **Funcționare la sarcină mică** – eficiența pilelor de combustie rămâne ridicată chiar și la sarcini scăzute, adică este relativ constantă, chiar la sarcini de o treime sau o pătrime din sarcina nominală.
- **Funcționare intermitentă** – pilele de combustie MCFC și SOFC, necesită perioade lungi pentru pornire (încălzire) și respectiv oprire (răcire), limitând aplicarea acestora în alimentarea sarcinilor cu perioade scurte de funcționare.
- **Putere electrică de înaltă calitate** – puterea electrică generată este de înaltă calitate, respectând cele mai stricte reglementări în domeniu.
- **Fiabilitate și durată de viață** – deoarece doar câteva componente auxiliare au părți în mișcare, fiabilitatea pilelor de combustie este firesc să fie mare. Câteva dintre unitățile PC25, au atins deja o perioadă de funcționare de 70.000 ore.
- **Emisii** – singura ardere dintr-o pilă cu hidrogen, este cea prezentă în reformatorul de hidrogen și generează emisii sub 2 ppmV CO₂, sub 1 ppmV NO_x și neglijabil SO_x (15 % O₂). ppmV – părți per milion Volum.

- *Eficiență* – eficiența pilelor de combustie diferă în funcție de tipul acestora. Aceasta variază de la 30% la 50% HHV.
- *Zgomot* – zgomotul produs la funcționarea unei pile de combustie este sub pragul convențional acceptabil pentru instalațiile interioare, adică 60 dBA la distanța de 10 m.
- *Amplasare* – instalare interioară sau exterioară.
- *Combustibilul utilizat* – principala sursă de combustibil pentru pilele de combustie este hidrogenul, care poate fi obținut din gaz natural, gaz de ulei (obținut prin gazeificarea cărbunelui), metanol și alți combustibili care conțin hidrocarburi.

A2.7. Pile de combustie cu carbonat

□ Conceptul de bază

Electrochimia de bază a pilelor de combustie cu carbonat se referă la formarea carbonatului (CO_3^-) pe baza combinației de oxigen, dioxid de carbon și doi electrozi; transportul ionilor de carbonat la anod prin electrolitul de carbonat și, în sfârșit, reacția ionului de carbonat cu hidrogenul la anod pentru a produce apă, dioxid de carbon și doi electroni. Pentru fiecare mol de hidrogen consumat în compartimentul anodului, se produce un mol de dioxid de carbon și un mol de apă. Hidrogenul este furnizat la anod printr-un combustibil (cum ar fi gaz natural reformat prin abur). Oxidul de carbon prezent în combustibilul reformat este de asemenea considerat combustibil în această pilă de combustie. Oxigenul este preluat din aer, iar dioxidul de carbon este furnizat prin reciclarea dioxidului de carbon din emisiile de la anod. În acest scop, emisiile anodului sunt oxidate cu aerul ce este introdus în oxidant înaintea furnizării către catod. FuelCell Handbook (2002) conține detalii în legătură cu chimia pilelor de combustie și criteriilor de sistem.

Reacțiile pilelor de combustie folosesc la atât H_2 , cât și CO la anod. Combustibilii carboniferi comuni trebuie să fie convertiți la forma ce poate fi utilizată în pilă. Reformarea prin abur a unui combustibil hidrocarburat ușor este un proces industrial bine stabilit pentru producerea de hidrogen pentru pilele de combustie. Reacția de reformare prin abur este puternic endotermică, iar reacția la anodul pilei de combustie este exotermică. În timp de produsul reacției de reformare (hidrogenul) este un reactant la anodul pilei de combustie, produsul reacției din pila de combustie (apa) este un reactant în reacția de reformare. Sistemele pe bază de pile de combustie funcționează la temperaturi suficient de înalte pentru a permite cinetica practică pentru reacția de reformare a gazului natural și a altor hidrocarburi ușoare în pila de combustie. În consecință, însușirile termice și chimice ale pilei de combustie și reacțiile de reformare sunt în mod unic complementare pentru integrarea eficientă a ambelor reacții în compartimentul de anod al pilei de combustie cu carbonat. FuelCell Energy (FCE), Danbury, CT (USA) a adoptat abordarea reformării interne pentru tehnologia sa de temperatură înaltă și și-a denumit pila de combustie drept Direct FuelCell® (DFC®). Principiul de funcționare DFC este ilustrat detaliat în Fig. A2.6. Reacția globală din pila de combustie este pur și simplu o conversie a combustibilului hidrocarbură cu ajutorul aerului în electricitate, căldură, apă și CO_2 . Un combustibil hidrocarbură cum ar fi gazul natural este introdus în compartimentul anodului împreună cu aburul. Combustibilul nefolosit al pilei de combustie este oxidat cu ajutorul aerului proaspăt și este introdus în latura catodului. În prezența catalizatorului din compartimentul anodului, combustibilul și apa reacționează și formează combustibilul hidrogen. Căldură necesară pentru reacție este furnizat de pila de combustie. Hidrogenul reacționează electrochimic cu

CO_3^- la anod eliberând apă, CO_2 și căldură (care se consumă în reacția de reformare, iar restul este evacuat din pilă pentru a permite funcționarea stabilă a pilei de combustie). Două treimi din căldura produsă de reacțiile din pila de combustie sunt folosite în reacția de reformare internă, ceea ce se oglindește în temperatura uniformă a pilei de combustie. Acest proces într-o singură etapă duce la un sistem de conversie a energiei mai simplu, mai eficient și mai avantajos din punct de vedere al prețului în comparație cu pilele de combustie cu reformare internă.

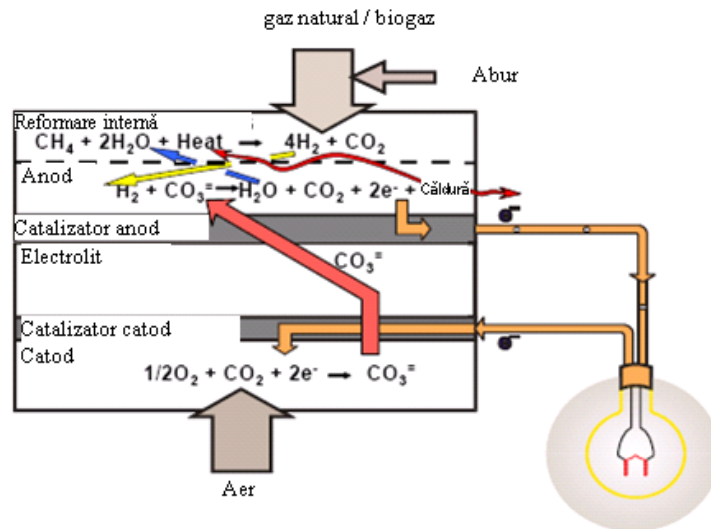


Fig. A2.6. Pila de combustie cu carbonat directă

□ Tehnologia pilelor de combustie cu carbonat

O istorie scurtă a dezvoltării tehnologiei pilelor cu carbonat poate fi găsită în Fig. A2.7. Un rezumat concis al lucrărilor primare a fost prezentat de Liedhafsky și Cairns (1968). Broers (1958) a început testarea pilelor de combustie la sfârșitul anilor 1950. Designul de bază al pilelor a fost definit în 1960, în timp ce componentele de înaltă performanță au fost identificate în 1970. Progresele chimice și electrochimice din această perioadă au fost rezumate de Selman și Maru (1981). Modelul de bază pentru echilibrul porilor și controlul capilar al lui Maru și Marionowski (1976) au oferit un cadru de neprețuit pentru optimizarea componentelor pilei. Între 1980 și 2000, tehnologiile de componente și ansambluri au fost îmbunătățite, simplificate și verificate în ansambluri pe scară largă. Conceptul de reformare internă introdus de Baker și Dharia (1980) a reprezentat un progres foarte mare, ducând la sistemul eficient și simplu descris de către Farooque (1990). Testele de la locuri de montare > 200 kW au demonstrat posibilitatea fabricării și funcționării a centralelor de energie prototip. Din 2000, dezvoltarea s-a axat pe testele la locul de montare și comercializare a mai mult de 40 de unități de la 250 kW până la 1 MW au fost puse în funcțiune cu succes, majoritatea de către FuelCell Energy.

Pila de combustie cu carbonat funcționează la o temperatură optimă de aproximativ 600-650°C care evită necesitatea folosirii electrozilor din metal nobil indispensabili pilelor de combustie de temperatură scăzută, cum ar fi PEM și acid fosforic și metalele mai scumpe și materialele de ceramică avansată indispensabile pilelor de combustie oxid solid de temperatură înaltă. În designul pilelor de combustie cu carbonat sunt folosiți electro-catalizatori mai ieftini și metale comerciale disponibile.

Direct FuelCell folosește construcția simplă ilustrată în Fig. A2.8 Placa bipolară și colectorii de curent ondulați sunt făcuți din oțel inoxidabil din seria 300. Electrozii sunt făcuți din materiale poroase bazate pe nichel. Membrana ce izolează combustibilul și aerul este un aluminat de litiu ceramic poros, ce conține un amestec de săruri carbonatate de litiu și potasiu / sodiu, care se topește între 450 și 510°C. Proprietățile materialelor, cum ar fi rezistența statică la fluj, rezistența la sinterizare, compactare scăzută, rezistența la coroziune fierbinte, carburare scăzută, etc., au un impact foarte mare asupra durabilității și vieții pilei. De asemenea, este necesar ca activitatea electrochimică a anodului și catodului să fie stabilă și pe termen lung.

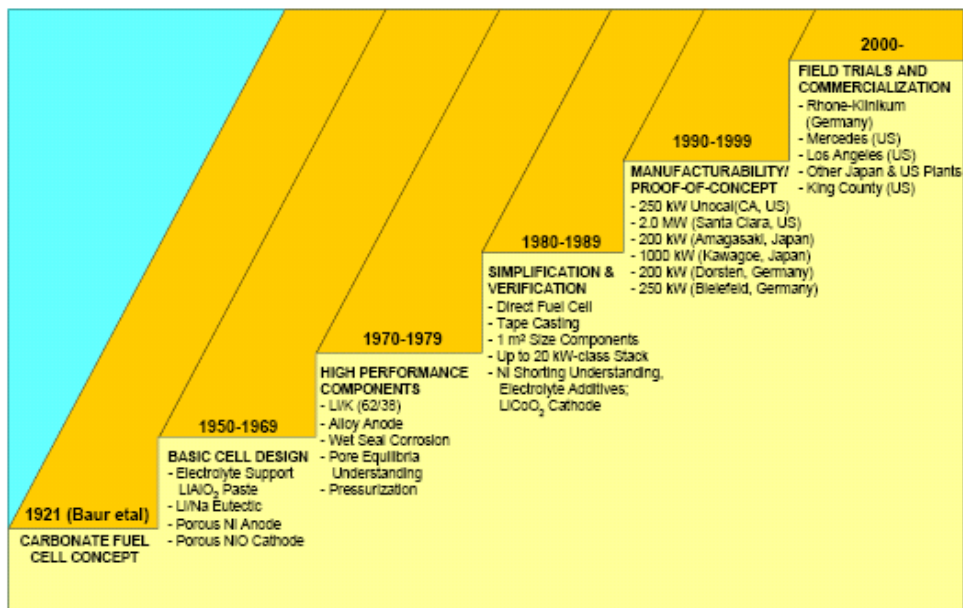


Fig. A2.7. Istoria dezvoltării pilelor de combustie cu carbonat

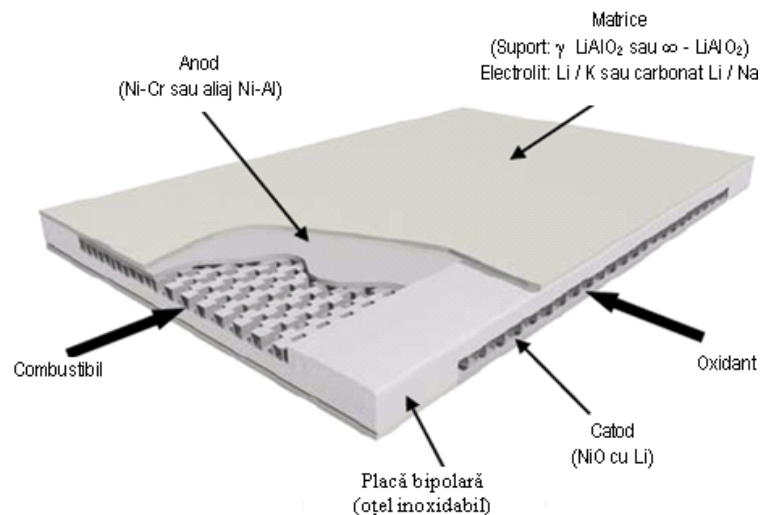


Fig. A2.8. Configurația pachetului de pile bipolare de combustie cu carbonat

Construcția pilei se bazează pe oțel inoxidabil din seria 300, iar electrozii se bazează pe nichel, toate acestea fiind produse de comerț. Materialele proiectate pentru pila de combustie cu carbonat din prezent se bazează pe cercetările intensive de materiale ce au fost realizate de-a lungul ultimelor trei decenii, rezultatele de longevitate, precum și pe considerente de cost.

O discuție a diferitelor proiecte de componente ale pilelor de combustie cu carbonat și diferite îmbunătățiri este prezentată mai jos, iar detalii suplimentare pot fi găsite în literatura pilelor de combustie cu carbonat a lui Hoffmann, Yuh și Jepek (2003).

Anodul. S-a observat că anozii de nichel poros pur, folosiți de primii producători se micșorau în timpul funcționării sub încărcarea comprimantă din timpul depozitării, rezultând alterări dimensionale nedorite, suprafață redusă și performanță electrochimică scăzută. Prin alierea cu crom și / sau aluminiu se obține o amplificare a dispersiei oxidului, rezultând o rezistență statică de fluaj adecvată. Stabilitatea mecanică și chimică excelentă a anodului bazat pe Ni-Al, a fost verificată la locul de montare după 18000 h Fig. A2.9. Sunt evidențiate structuri similare pentru anozii neutilizați și cei utilizați, anodul dând dovadă de integritate structurală adecvată, iar activitatea electrochimică poate avea o durată de viață > 5 ani. Se observă o integritate structurală excelentă și nici o schimbare în morfologie.

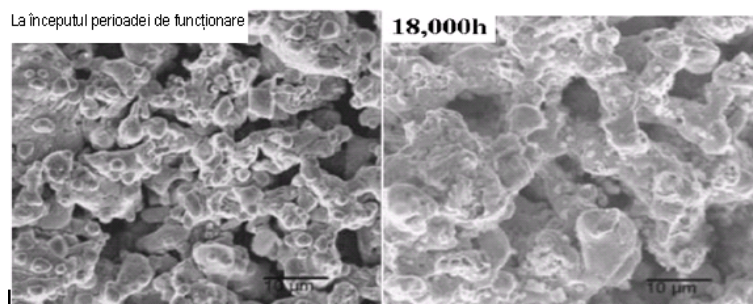


Fig. A2.9. Structura anodului după 18000 h de funcționare

Catodul. Materialul catodului pilei de combustie cu carbonat este NiO aliat încă de la începutul dezvoltării. Se știe că această componentă are o solubilitate finită în electrolit. Gradul dizolvării este controlat în principal prin compoziția electrolitului, atmosfera aplicată, temperatura și presiunea la care are loc funcționare. FCE a selectat sistemul de presiune atmosferică optim pentru a asigura dizolvare minimă și viață adecvat de lungă pentru catod. Funcționarea la locul de montare pe termen lung a demonstrat că nu există probleme referitor la creșterea particulelor, ceea ce indică o structură stabilă (Fig. A2.10).

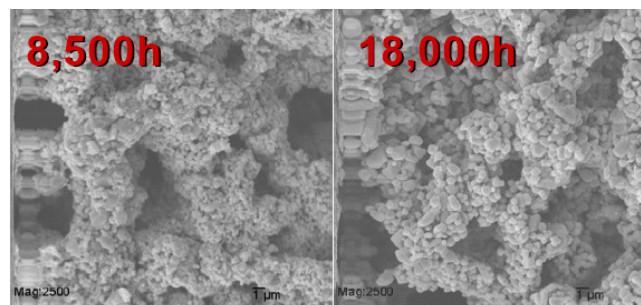


Fig. A2.10. Catod DFC® în timpul funcționării pe teren: în timpul funcționării de lungă durată au avut loc doar mici creșteri ale particulelor.

Există posibilitatea măririi stabilității materialului catodului prin modificarea electrolitului pentru a-i mări alcalinitatea și/sau prin modificarea materialului catodului. Producătorii cercetează în mod activ ambele opțiuni.

Matricea. Matricea de electrolit asigură transport ionic, separarea gazului reactant și etanșare a perimetrului. Este un strat de praf ceramic compactat impregnat cu electrolit carbonat alcalin pentru a forma o structură păstoasă la temperatura de funcționare. Stabilitatea materialelor de susținere ale matricei și robustețea matricei (pentru a rezista la stresul termo-mecanic) reprezintă criterii importante ce au impact asupra performanței și longevității pilei de combustie. Un studiu amănunțit asupra criteriilor, problemelor și stărilor legate de matrice a fost făcut de către Yuh, Farooque and Maru (1999). Materialul de susținere a matricei LiAlO_2 (un produs al reacției dintre Al_2O_3 și carbonat de litiu) are trei faze alotropice (α , β și γ). Praful α - LiAlO_2 submicron pe suprafață mare reprezintă în prezent materialul de susținere al matricei. Materialul trebuie să fie suficient de stabil în electrolitul carbonat pentru a păstra mărimea particulelor și structura porilor de-a lungul duratei de viață urmărite. Un test de 18.800 h a arătat practic nici o schimbare de fază în starea α . Matricea α - LiAlO_2 a suferit mici schimbări în stabilitate după 18.000 ore de funcționare. În timpul funcționării ansamblului de pile de combustie, matricea suferă atât stres mecanic, cât și stres termic. Sunt necesare matrice puternice și rezistente, pentru a suporta asemenea solicitări, menținând etanșarea gazului. Dacă nu este suficient de puternică, matricea se poate fisura, ceea ce va duce la scurgeri de gaz. FCE a produs o matrice puternică și avantajoasă ca preț, folosind tehnica de întărire inovativă prezentată de Yuh (1996). Această matrice puternică nu a ridicat nici o problemă cu ciclabilitatea termică. Prevenirea sau măcar minimizarea scurgerilor de combustibil și/sau oxidant este un atribut foarte important al pilelor de combustie. Un amestec de combustibil și oxidant nu reduce doar randamentul, ci și durata de viață a componentelor datorită încălzirii locale excesive. Pila de combustie cu carbonat a reușit să implementeze cu succes conceptul de etanșare hidraulică. O barieră adecvată contra scurgerilor de gaz este oferită de electrolitul lichid conținut în microporii matricei și pe suprafața de metal în cazul când este vorba despre suprafața de etanșare dintre metal și matrice.

Materialele hardware ale pilei. În primii ani ai proiectării, un criteriu important era coroziunea fierbinte a componentelor hardware metalice (placa separatoare bipolară și colectori de curent ondulați care creează canalele necesare curgerilor de gaz), în mediul de carbonat. Rezultatele de longevitate ale testelor efectuate de FCE și alte laboratoare au confirmat că un oțel inoxidabil selectat în mod adecvat, oferă suficientă protecție la coroziune pentru această aplicație.

În prezent, oțelurile inoxidabile, în particular oțeluri inoxidabile austenitice din seria 300, reprezintă materialele de bază ale ansamblelor de pile și BOP (balance-of-plant). O provocare majoră în ceea ce privește selecția materialelor este reprezentată de coroziunea fierbinte a componentelor plăcii bipolare și colectorului de curent în prezența electroliților carbonați alcalini lichizi în cele două medii corosive fierbinți foarte diferite (combustibilul reducător și oxidantul oxidant). Rezistența electrică de contact poate să crească datorită creșterii la scară a oxidului, coborând tensiunea de ieșire. Astfel, pierderea de electrolit pentru colectorul de curent bipolar datorită coroziunii și conținutului de electrolit ar putea să contribuie și mai mult la scăderea energiei ansamblului. În general, mediul din latura anodului (în particular la evacuarea combustibilului) este mai corosiv decât cel din latura catodului, cu excepția nichelului pur sau aliajelor pe bază de nichel. Condițiile de ieșire sunt în general mai corosive decât cele de intrare datorită temperaturii înalte de operare și un conținut de umezeală potențială mai mare. Oțelurile inoxidabile ferice ce conțin aluminiu au o rată de coroziune adecvată datorită

formării unui strat interior dens de oxid Cr-Al protector. Totuși, rezistivitatea electrică extrem de înaltă a oțelurilor ce conțin aluminiu le face imposibil de folosit în componentele pilelor. Pentru latura anodului, a fost adoptată protecția suprafeței a oțelurilor inoxidabile prin placarea cu nichel. Datorită protecției oferite de stratul de nichel, placa bipolară din latura anodului n-a arătat practic nici un semn de coroziune în timpul celor 18000 de ore de funcționare la locul de montare. În consecință, n-a fost observată vreo pierdere de rezistență semnificativă datorită contactului din latura anodului. Deși la limitele granulelor stratului de nichel se formează o cantitate mică de oxid bogat în crom, nu s-a observat nici un efect nociv asupra protecției contra coroziunii. Difuzia de fier și crom sin substrat pare să fie inofensivă. Colectorul de curent din latura catodului (CCC) are o rată de coroziune mai mare decât placa bipolară (BP) deoarece materialul CCC selectat de FCE are un conținut de crom mai scăzut decât BP. Cercetările continuă pentru materialele avansate CCC care să reducă rata de coroziune, rata de creștere a rezistenței de contact și rata de pierdere a electrolitului.

Materialul pentru etanșare hidraulică: Etanșarea hidraulică experimentează în mod simultan medii de reducere și de oxidare. Aliajele de formare pe bază de crom sunt ușor corodabile într-un mediu etanșat hidraulic. Eforturile de dezvoltare a materialelor s-au concentrat puternic pe găsirea unei protecții la coroziune avantajoase ca preț a suprafețelor etanșate hidraulic. Înțelegerea mecanismului de coroziune cum a fost prezentat de Donado, Marinowski și Maru (1984) și găsirea aluminizării pentru eliminarea coroziunii la etanșare hidraulică reprezintă pași importanți în dezvoltarea pilelor de combustie cu carbonat. Metodele de aluminizare folosite până în prezent includ acoperirea cu suspensii, sedimentare moleculară, acoperire termică etc. Stratul difuzat rezultat pe suprafețele de oțel constă în general într-o structură MAI-M₃Al. Testele pe termen lung >18.000 h au dovedit că acest strat oferă suficientă protecție pentru oțelurile inoxidabile din substrat Fig. A2.11. Soluția aleasă are un cost foarte mic, oferind în același timp și un strat difuzat de înaltă calitate.

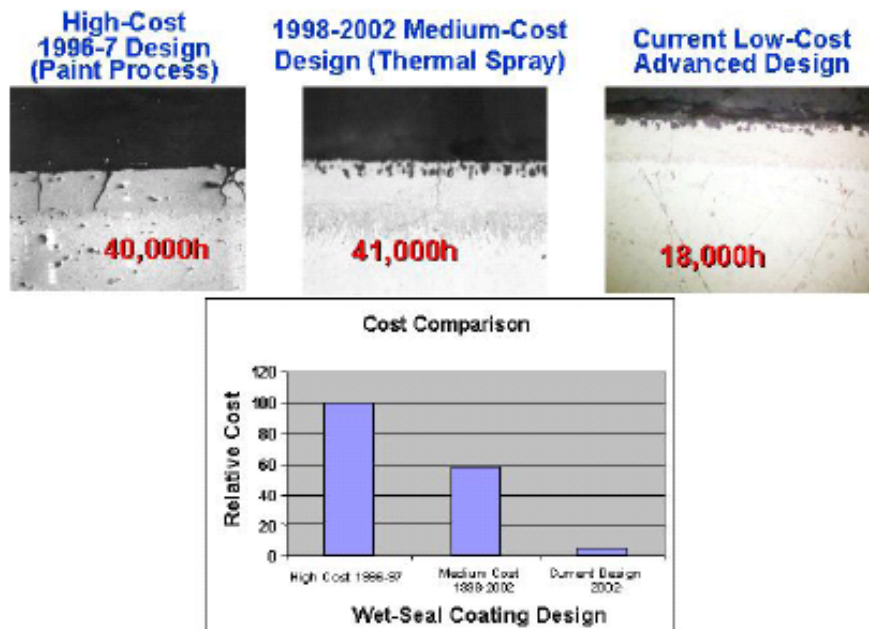


Fig. A2.11. Protecția la etanșarea hidraulică a aluminiului

Densitatea de putere și managementul termic: Reacțiile electrochimice ce au loc pe electrozii de carbonat sunt suficient de rapide și sunt responsabile de pierderile de la polarizările joase. Porii electrozilor au fost suficient de optimizați de-a lungul anilor pentru a permite polarizarea joasă a difuziei de gaz la densitățile de putere actuale cu care se operează (120 la 140 mA/cm²).

Există și alte posibilități de optimizare a structurii electrodului pentru a reduce atât polarizarea difuziei gazului de catod, cât și rezistența internă prin modificarea electrolitului. Aceste eforturi au loc simultan cu îmbunătățirea uniformității temperaturii. Densitatea de putere de funcționare a pilelor de combustie mari depind în principal de managementul termic și într-o mai mică măsură depind de polarizarea cinetică, de polarizarea difuziei gazului și de pierderile rezistive interne. Gradientul temperaturii plane a pilei de combustie trebuie exploatat folosind un sistem de management al răcirii pilei eficient. În prezent, procesul de limitare a densității de putere în pila de combustie cu carbonat este uniformitatea temperaturii plane a pilei. Sistemul pilelor de combustie directe FCE folosește un sistem de management termic foarte eficient, unde reacția de reformare internă endotermică este exploatată pentru a evacua căldura generată de către pila de combustie. Mai mult, uniformitatea răcirii se obține prin distribuirea încărcării de răcire a pilei între placa instalației de reformare indirectă și instalația de reformare internă directă.

FCE a proiectat un model cuprinzător de grup (care simulează procesele hidrodinamice, cinetice, electrochimice și de transfer de căldură) pentru a ghida dezvoltarea unui sistem eficient de răcire internă. În consecință, distribuția temperaturii ansamblului a fost recent îmbunătățită, permițând operarea cu densități de energie cu 20% mai înalte, fără repercusiuni asupra gradientului de temperatură al pilei. Ameliorarea treptată a distribuției de temperatură a pilei a fost posibil datorită optimizării sistemului de răcire al pilei. Sistemul intern al celulei a fost optimizat și, în consecință, a crescut uniformitatea temperaturii pilei. Gradientul de temperatură plană al pilei a fost redus de la 120°C în varianta din 2002, la 75°C în varianta din 2004, fără a afecta densitatea de putere și temperatura medie de operare a pilei.

A2.8. Pile de combustie regenerative

O pilă de combustie regenerativă (Fig. A2.12), dezvoltată în mod curent pentru aplicații utilitare, folosește hidrogen și oxigen sau aer pentru a produce electricitate, apă și căldură evacuată, la fel cum procedează o pilă obișnuită. Totuși, pila de combustie regenerativă realizează de asemenea inversarea reacției pilei de combustie, folosind electricitate și apă pentru a forma hidrogen și oxigen. În modul invers de funcționare a pilei de combustie regenerative, cunoscut ca electroliză, electricitatea este aplicată electrozilor pilei pentru a forța descompunerea apei în componente.

Sistemul „închis” al unei pile de combustie regenerative poate avea un avantaj semnificativ, deoarece el ar putea activa funcționarea unui sistem electric cu pile de combustie, fără a solicita o nouă infrastructură pentru hidrogen. Există două probleme care trebuie adăugate în dezvoltarea pilei de combustie regenerative. Prima constă în costurile suplimentare care ar trebui să se manifeste pentru a realiza ca pila de combustie să fie reversibilă. Al doilea dezavantaj al utilizării pilelor de combustie regenerative, îl reprezintă folosirea energiei electrice din rețea pentru a produce hidrogen. În SUA marea majoritate a energiei electrice este produsă prin arderea combustibililor fosili. Energia electrică obținută prin lanțul energetic combustibil fosil – electricitate – hidrogen, generează semnificativ mai multe gaze de seră, decât arderea simplă a gazolinei într-un motor cu ardere internă.

Deși conceptul unei pile de combustie regenerative este atractiv, până în momentul în care energia regenerativă (provenită de la surse eoliene sau solare) va fi disponibilă, această tehnologie nu va reduce emisiile de gaze de seră. Pilele de combustie regenerative reprezintă o formă de generare a energiei în ciclu închis. Apa este separată în hidrogen și oxigen de către un electrolizor ce funcționează pe bază de energie solară. Hidrogenul și oxigenul sunt introduse în pila de combustie, ceea ce va genera electricitate, căldură și apă. Apa este apoi recirculată în electrolizorul ce funcționează pe bază de energie solară, iar procesul este reluat. În prezent NASA și alte organizații din întreaga lume fac cercetări legate de acest tip de pilă de combustie. În Fig. A2.13 este prezentată electrochimia pililor de combustie regenerative.

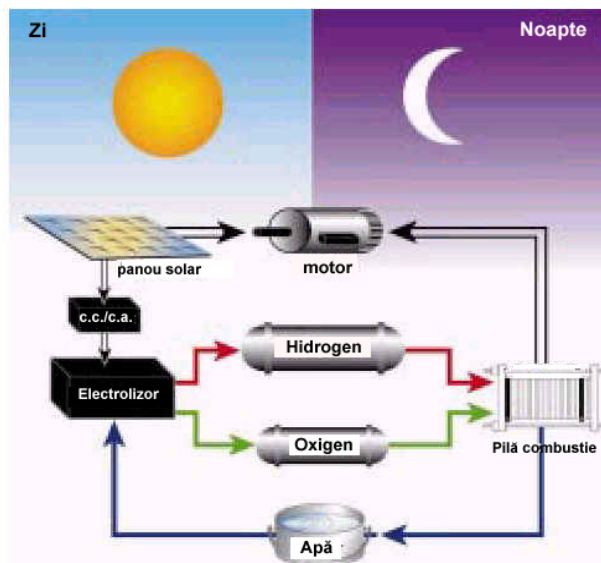


Fig. A2.12. Pilă de combustie regenerativă bazată pe energia solară

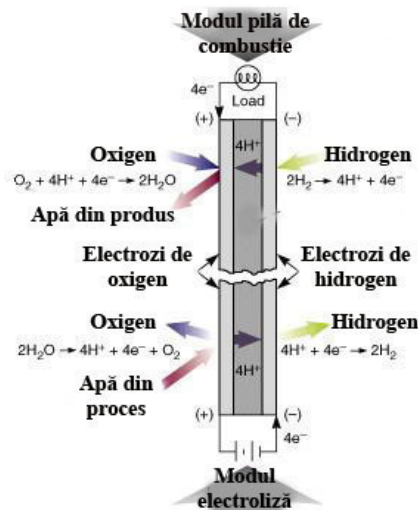


Fig. A2.13. Electrochimia pililor de combustie regenerative

□ Pile de combustie Zinc-Aer (ZAFC)

Într-o pilă de combustie zinc-aer tipică, există un electrod de difuzie a gazului (GDE), un anod de zinc separate printr-un electrolit și o formă de separatori mecanici. GDE este o membrană permeabilă care permite trecerea oxigenului atmosferic. După ce oxigenul a fost convertit în ioni de hidroxil și apă, ionii de hidroxil vor migra în electrolit, ajungând la anodul de zinc. Aici, reacționează cu zincul, formând oxid de zinc. Acest proces creează un potențial electric; când se conectează în grup mai multe pile ZAFC, potențialul electric combinat al acestor pile poate fi folosit ca sursă de energie electrică. Acest proces electrochimic este foarte similar cu procesul ce are loc într-o pilă PEM, dar realimentarea cu combustibil este foarte diferită, având mai multe caracteristici comune cu bateriile.

Pilele ZAFC conțin un rezervor de combustibil din zinc și un refrigerent din zinc care regenerează combustibilul în mod automat și silențios. În acest sistem în ciclu închis, electricitatea este creată pe măsură ce zincul și oxigenul se amestecă în prezența unui electrolit (cum ar fi PEMFC), formându-se oxid de zinc. Odată ce tot combustibilul a fost folosit, sistemul se conectează la rețea, iar procesul se inversează, obținându-se din nou granule de combustibil de zinc pur. Punctul cheie este că acest proces de inversare se sfârșește în numai cca. 5 minute, și în consecință întârzierile datorate timpului de reîncărcare a bateriei devin nesemnificative. Avantajul principal al tehnologiei zinc-aer în comparație cu alte tehnologii bazate pe baterii este energia specifică ridicată, ceea ce reprezintă un factor esențial ce determină durata de funcționare a unei baterii relativ la greutatea sa. Când se folosesc pile ZAFC pentru a alimenta EV, s-a dovedit că rezistă pe distanțe mai mari decât orice alte baterii EV de greutate comparabilă. Mai mult, datorită abundenței de zinc de pe pământ, sunt scăzute și costurile de material pentru ZAFC și bateriile zinc-aer. În consecință, tehnologia zinc-aer are o gamă potențială largă de aplicații, de la EV și electronice de consum până la armată. Powerzinc din sudul Californiei comercializează în prezent tehnologia lor zinc-aer pentru o varietate de aplicații. În Fig. A2.14 este prezentată structura pilei de combustie zinc-aer.

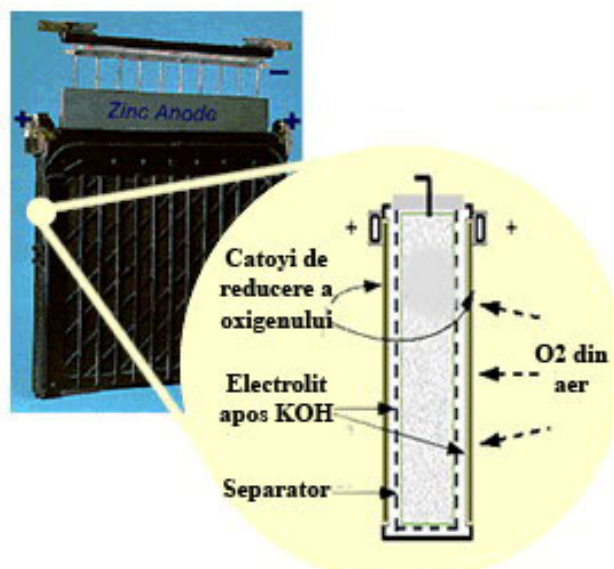


Fig. A2.14. Structura unei pile de combustie Zinc-Aer.

□ Pile de combustie ceramice protonice (PCFC)

Acest nou tip de pilă de combustie se bazează pe un material electrolit ceramic care dă dovadă de o înaltă conductivitate protonică la temperaturi ridicate. PCFC au aceleași avantaje termice și cinetice pentru funcționarea la temperaturi înalte la 700°C pe care le au și pilele de combustie cu carbonat topit și cele cu solid oxid, dând în același timp dovadă de toate beneficiile intrinsece ale conducției protonice în electrolitul polimer și pilele de combustie cu acid fosforic (PAFC). Temperatura de funcționare înaltă este necesară pentru a obține randamente electrice foarte înalte pentru combustibilului folosit – hidrocarburile.

PCFC pot să funcționeze la temperaturi înalte și să oxideze electrochimic combustibilii fosili direct la anod. Aceasta elimină etapa intermediară de producere a hidrogenului prin procese costisitoare de reformare. Moleculele gazoase ale combustibililor hidrocarburi sunt absorbite pe suprafața anodului în prezența vaporilor de apă, iar atomii de hidrogen sunt îndepărtați în mod eficient permițându-se astfel absorbirea lor în electrolit, reacția având ca produs primar bioxidul de carbon. În plus, PCFC au un electrolit solid și prin urmare membrana nu se poate usca așa cum se întâmplă în cazul pilelor de combustie PEM și nici scurgeri de lichid nu pot avea loc așa cum se întâmplă în cazul PAFC. Cercetările principale ale CoorsTek se axează pe acest tip de pilă de combustie.

□ Pile de combustie reformator-aer

În plus față de pilele de combustie directe cu hidrogen, în acest moment cercetarea este pe cale să dezvolte un sistem de pilă de combustie care poate lucra pe baza a diferitelor tipuri de combustibili hidrocarbonați – incluzând gazolina și combustibili alternativi cum ar fi metanolul, gazul natural, etanolul. Inițial, această strategie flexibilă la diversele tipuri de combustibil va facilita ca sistemele de pile de combustie reformator-aer să folosească infrastructura existentă pentru combustibili. O pilă de combustie hidrogen-aer cu PEM va fi alimentată de la un reformator montat alături de ea, ce poate converti acești combustibili într-un amestec de gaze bogat în hidrogen. Prelucrarea combustibililor hidrocarbonați spre a genera hidrogen este o provocare tehnică și o operație relativ solicitantă. În Fig. A2.15 este prezentat modelul pe calculator al unui sistem cu baterie din pile de combustie și instalație de reformare a combustibilului gazos.

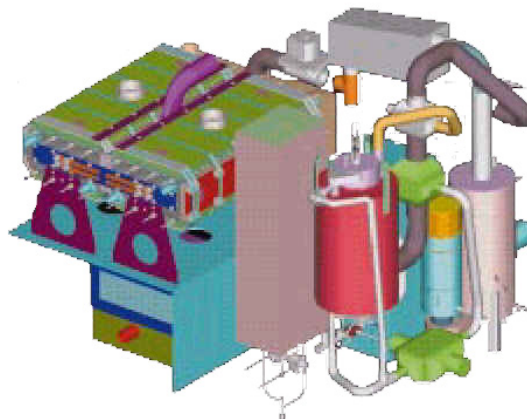


Fig. A2.15. Model pe calculator al unui sistem cu baterie din pile de combustie și instalație de reformare a combustibilului gazos

Combustibilii hidrocarbonați necesită temperaturi mari de prelucrare de 700°C -1000°C. Sulfurile, aflate în toți combustibilii bazați pe carbon și monoxidul de carbon generat într-un procesor de combustibil, trebuie înlăturate pentru a evita otrăvirea catalizatorului pilei de combustie. Deși pilele de combustie reformator-aer îi lipsește caracteristica de emisie poluantă nule a pilei de combustie directe cu hidrogen, ea are potențialul de micșora semnificativ emisiile în raport cu motorul cu ardere internă cu gazolină. Termenul apropiat de introducere a pilelor de combustie reformator-aer este de așteptat să crească acceptarea pieței pentru tehnologia pilelor de combustibil și să ajute netezirea drumului pentru folosirea în viitor pe scară largă a sistemelor de utilizare directă a sistemelor cu hidrogen.

A2.9. Pile de combustie directe cu hidrazină fără platină cu membrană de schimbare a anionilor

Pentru reducerea costurilor de fabricație a pilelor de combustie, o importanță majoră o are dezvoltarea unor pile fără utilizarea catalizatorilor de platină. La pilele de combustie cu hidrazină pot fi folosite, atât membranele din polimeri schimbătoare de cationi adică pilele tip DHFC (Direct Hydrazine Fuel Cell), cât și cele schimbătoare de anioni, sau protoni, adică pilele tip DHAFC (Direct Hydrazine using Anion-exchange polymer electrolyte Fuel Cell).

Schema și rincipiul unei DHAFC sunt prezentate în Fig. A2.16. Atmosfera alcalină a DHAFC rezultă din necesitatea rezistenței la coroziune acidă. În consecință, metale având un preț de cost scăzut pot fi folosite ca și catalizatori în locul platinei (Pt). Mai mult, din aceleași motive, pot fi folosite materiale ieftine pentru alte componente ale pilei. Aceasta permite să se reducă costurile pilelor de combustie la un nivel popular. A doua cerință dificilă pentru pilele de combustie portabile necesare echipamentelor electronice sau vehiculelor este de a avea o mare capacitate de stocare a energiei. În acest context, este preferabilă folosirea combustibilului lichid datorită mării sale densități de energie și posibilității de manipulare ușoară. Realizarea practică a DMFC

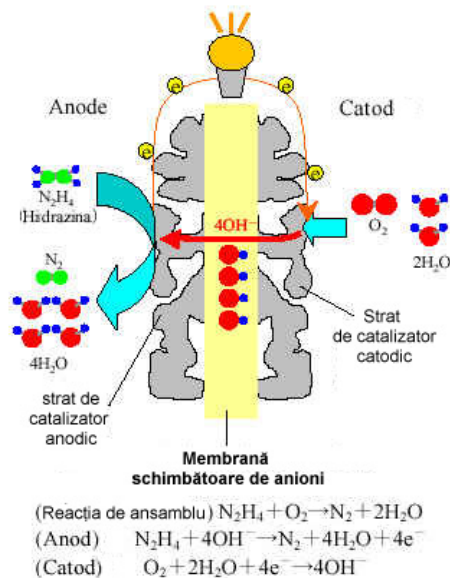


Fig. A2.16. Schema DHAFC și principiul ei de funcționare

cu metanol este limitată de supra-potențialul anodic mare (constrângere cinetică) cauzat de otrăvirea catalitică a CO. Pe de altă parte, folosirea hidrazinei ca și combustibil este justificată de faptul că pilele de combustie oxigen-hidrazină prezintă un supra-potențial anodic scăzut fiindcă nu au specii otrăvitoare catalitice și pentru că tensiunea teoretică a pilei 1.56 V este mare.

Efectele catalizatorilor anodici și catodici asupra parametrilor pilei sunt prezentate în graficul din Fig. A2.17. Aceste efecte reprezintă 0.9 V tensiunea de mers în gol, respectiv 0.19 W/cm² fără folosirea Pt ca și catalizator. În concluzie se apreciază că pila de combustie DHAFC cu hidrazină este adecvată pentru aplicațiile din domeniul transportului și al echipamentelor portabile.

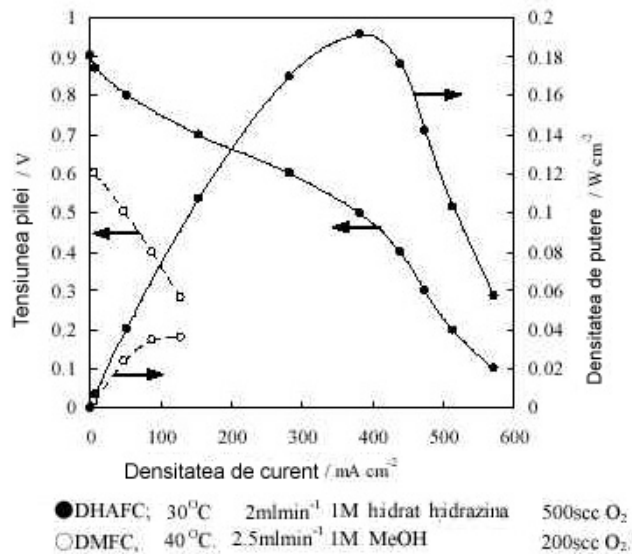


Fig. A2.17. Caracteristicile DHAFC și DFFC

A2.10. Pile de combustie directă cu metanol

Așa cum numele o definește, în această pilă de combustie metanolul este direct utilizat ca și combustibil. În pila de combustie directă cu metanol, ca și în pila de combustie hidrogen-aer, oxigenul din aerul înconjurător este oxidantul, totuși aici el nu oxidează hidrogenul. Metanolul este combustibilul lichid care este oxidat direct la anod. Tehnologia pilelor de combustie directă cu metanol, unică ca sistem a pilelor de combustie la joasă temperatură, este relativ nouă în comparație cu tehnologia pilelor de combustie hidrogen-aer, având totuși câteva probleme care mai rămân de rezolvat. Progresele recente în cercetarea și dezvoltarea pilelor de combustie directă cu metanol au fost importante în atingerea unei fracțiuni importante din performanța pilelor de combustie directă cu hidrogen-aer. Totuși, există obstacole critice care vor trebui să fie depășite, pentru a atinge curenți mari, volumul necesar de catalizator scump bazat pe platină este mult mai mare decât volumul utilizat în pilele de combustie cu electrolit polimer hidrogen-aer. Combustibilul metanol străbate prin membrană de la anod spre catod; această pătrundere nedorită a metanolului scade performanța aerului de la catod și pierde combustibilul. În Fig. A2.18 este prezentată schema unui sistem de pilă de combustie cu metanol.

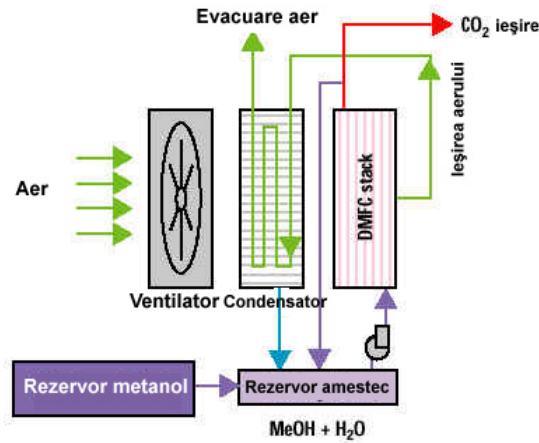
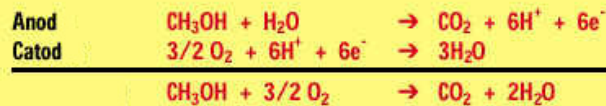


Fig. A2.18. Schema unui sistem de pilă de combustie cu metanol

Avantajul alimentării directe cu metanol a pilelor de combustie este semnificativ – cu acceptul consumatorului pentru ca acel combustibil lichid să fie o prioritate a sa. În timp ce o nouă sau o infrastructură modificată ar fi necesară să furnizeze mari cantități de metanol există deja disponibile câteva stații de furnizare a metanolului. Important, este că un sistem de pile de combustie directă cu metanol nu necesită un sistem de stocare complicat și greoi pentru hidrogen sau un sistem de reformare. Acest avantaj, în termenii simplității și costului conduce la faptul că sistemul de pile de combustie directă cu metanol este o alternativă atractivă pentru sistemele cu hidrogen sau alimentate prin reformare. În plus, o pilă de combustie directă cu metanol este considerată ca o tehnologie cu emisiuni zero de noxe în atmosferă.

Reacțiile electrochimice care apar într-o pilă de combustie internă cu metanol sunt:



Anexa 3. INVERTOARE ȘI UNITĂȚI DE ALIMENTARE NEÎNTRERUPTIBILE

A3.1. Considerații preliminare

Pentru a furniza energia electrică la parametrii necesari — respectiv tensiune, de tip c.a./c.c. — pile de combustie și acumulatorii trebuie să funcționeze neapărat împreună cu invertoare de curent electric. Din acest motiv în cele ce urmează se va prezenta acest tip de echipament.

Un inverter este convertorul static de putere care primește la intrare energie electrică continuă și furnizează la ieșire energie electrică în curent alternativ. În anumite condiții, undele de curent și tensiune obținute la ieșire sunt de bună calitate (adică sinusoidale și neinfluențate de posibilele interferențe din circuit). Rolul unui inverter este deci invers celui al unui redresor Fig. A3.1.



Fig. A3.1. Simbolul și rolul inverterului în circuitele electrice

Scopul principal al inverterului (atunci când este alimentat de la un redresor), este de a asigura o sursă de energie electrică de putere de foarte bună calitate; aceste surse sunt utilizate pentru echipamente sensibile (sisteme de calcul) care nu pot funcționa corect în cazul alimentării cu energie direct din rețeaua publică de distribuție, care este supusă interferențelor și distorsiunilor.

Sistemele de distribuție a energiei electrice suferă diverse perturbații care înrăutățesc calitatea energiei furnizate consumatorilor. Unele dintre cauzele acestor perturbații sunt: fenomenele atmosferice (trăsnet, îngheț), defectele accidentale (scurtcircuite), funcționarea anumitor consumatori deformanți, comutația diverșilor consumatori (motoare electrice, iluminatul fluorescent). În afară de pierderea ocazională a alimentării, în cazul alimentării de la rețeaua publică de distribuție a energiei electrice perturbațiile care mai pot să apară sunt: supratensiuni tranzitorii mai mult sau mai puțin importante, armonici de înaltă sau joasă frecvență, „zgomot” continuu de la circuitele de iluminat cu lămpi fluorescente și mini-întreruperi de câteva milisecunde (imposibil de detectat, dar total inacceptabile pentru sistemele electronice sensibile). Dacă se adaugă la intrarea inverterului (și totodată la ieșirea redresorului asociat cu inverterul) o baterie de acumulare, se realizează un sistem elementar UPS. În condiții normale, redresorul alimentează sarcina prin intermediul inverterului și în același timp menține bateria de acumulare încărcată la parametrii nominali. Întreruperea accidentală a alimentării de la rețea va fi automat suplinită de bateria de acumulare, care va menține energia furnizată la ieșirea inverterului.

A3.2. Tipuri de UPS

Există mai multe tipuri de sisteme UPS, concepute în funcție de gradul necesar de protecție împotriva „poluării” rețelei, sau dacă este sau nu necesară, o alimentare autonomă (sursa de rezervă pentru intervenție automată în cazul întreruperii sursei normale de alimentare). Mai jos sunt descrise două tipuri de sisteme:

- **Sistemul UPS off-line** (Fig. A3.2) este conectat în paralel cu alimentarea directă din rețeaua publică de alimentare și în cazul întreruperii alimentării de la rețeaua de c.a. este autonom, în limita capacității bateriei sale. În condiții normale de funcționare, filtrul îmbunătățește calitatea formei de undă a curentului, în timp ce tensiunea este menținută la valorile nominale printr-un reglaj adecvat, realizat automat de sistemul său de filtrare. Când toleranța admisă pentru variația tensiunii este depășită, sau în cazul pierderii totale a tensiunii de alimentare, un contactor, prin care se face conectarea normală a sarcinii la sursă, realizează comutarea rapidă a sarcinii pe sistemul UPS (în mai puțin de 10 ms). Energia necesară funcționării sarcinii este acum furnizată de bateria de acumulare. La revenirea tensiunii din rețeaua publică la parametrii normali de alimentare, contactorul comută pe poziția inițială și bateria de acumulare se va reîncărca în timp la capacitatea sa maximă. Aceste unități UPS sunt în general de mică putere (< 3 kVA). Utilizarea lor cea mai frecventă este pentru alimentarea echipamentelor de calcul, a instalațiilor tehnologice informatizate etc.

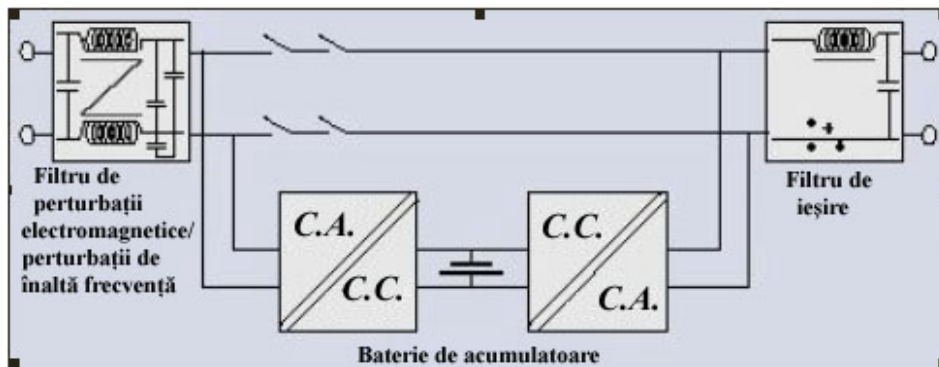


Fig. A3.2. Sistemul UPS off-line.

- **Sistemul UPS on-line** (Fig. A3.3) este conectat direct între rețeaua publică de alimentare în c.a. și sarcină. Durata pentru care se asigură autonomia funcționării sarcinii depinde de capacitatea bateriei de acumulare și de puterea consumatorului. Toată energia transferată sarcinii trece prin sistemul UPS, care asigură o alimentare cu energie electrică, variabilă între limitele bine stabilite, oricare ar fi starea rețelei publice de alimentare. La întreruperea acesteia, bateria de acumulare preia automat și asigură fără întrerupere alimentarea sarcinii, de la o sursă de energie electrică alternativă, nepoluantă. Sistemul UPS este potrivit atât pentru consumatorii de mică putere (<3kVA), cât și de mare putere (până la câțiva MVA).

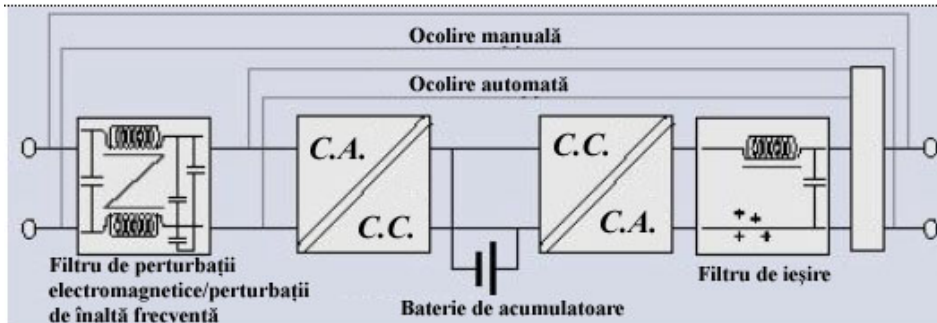


Fig. A3.3. Sistemul UPS on-line

A3.3. Alegerea unui UPS

Alegerea unui UPS este determinată în principal de următorii parametri:

- puterea nominală, stabilită pe baza:
 - valori maxime estimate pentru puterea cerută (în kVA);
 - suprasarcinilor tranzitorii (pornirea motoarelor, comutația sarcinilor sau a transformatoarelor);
- nivelul tensiunilor de intrare și de ieșire ale sistemului UPS;
- durata necesară de funcționare autonomă (adică alimentare de la bateria de acumuloare);
- frecvența tensiunilor de intrare și de ieșire a sistemului UPS;
- nivelul de fiabilitate cerut.

În schema din Fig. A3.4, tensiunea de ieșire a inverterului este menținută totdeauna în sincronism cu tensiunea de la rețeaua publică de alimentare (egale ca frecvență, amplitudine și fază). În felul acesta se micșorează, pe cât posibil, perturbațiile provocate de comutația „instantanee” de pe circuitul C1 pe circuitul C2.

Puterea nominală a sursei UPS trebuie să fie suficientă pentru a asigura funcționarea consumatorului atât în regim stabilizat, cât și în regim tranzitoriu. Cererea de putere este egală cu suma dintre puterile aparente aferente consumatorilor individuali, corectată în general cu un coeficient cuprins între 1.2 și 2 pentru a permite o eventuală extindere ulterioară. De asemenea, pentru a evita supradimensionarea instalației, trebuie ținut seama de rezistența la suprasarcini a componentelor din sursa UPS. Variațiile bruște de sarcină se produc în timpul conectării și deconectării unuia sau mai multor elemente componente ale sarcinii. Pentru o variație instantanee de până la 100% a sarcinii nominale a sursei UPS, tensiunea de ieșire rămâne cuprinsă între 110% și 92% din valoarea nominală.

Un sistem UPS conține în general o sursă de alimentare cu energie electrică alternativă, pentru cazuri de urgență, situație în care întotdeauna este necesar un înalt grad de fiabilitate. De exemplu, o singură sursă UPS are timpul mediu de bună funcționare (TMBF) de 50000 ore. În cazurile obișnuite, când sursa de alimentare este dublă Fig. A3.4, se ține cont de o durată a TMBF de la 70000 la 200000 ore, în funcție de fiabilitatea celei de-a doua surse. Comutația de la o sursă la alta este realizată automat, de un contactor static. Uneori, se instalează sisteme cu un grad de fiabilitate mai mare, realizate din trei surse UPS, dimensionate fiecare la jumătate din puterea totală necesară consumatorilor alimentați Fig.A3.5.

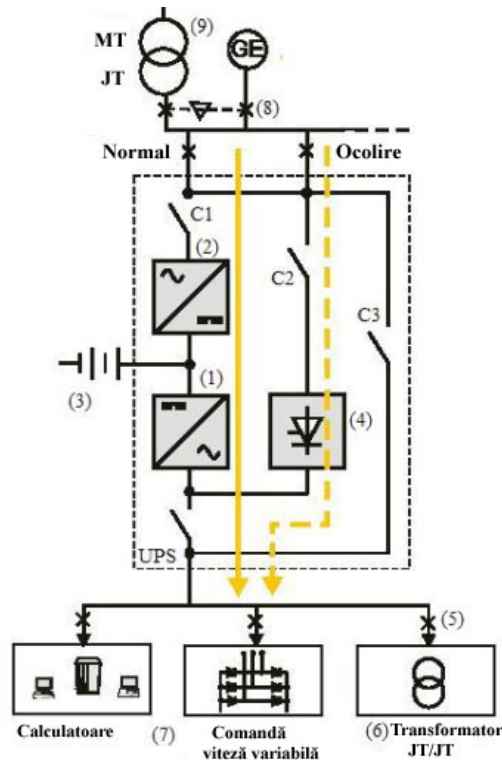


Fig. A3.4. Modul clasic de conectare a unei instalații UPS, cu inverter
 1 - inverter; 2 - redresor utilizat pentru alimentarea inverterului / încărcarea acumulatorilor;
 3- baterie de acumuloare (durata uzuală de autonomie 10-15-30 min. până la câteva ore);
 4 - contactor static; 5 - căi de alimentare de la ieșirea UPS; 6 - transformator pentru
 circuitele cu tensiuni speciale situate în aval; 7 - diferiți consumatori; 8 - AAR;
 9 - transformator pentru adaptarea tensiunii din amonte la cerințele consumatorului.

La prima vedere, schema din Fig.A3.4 seamănă cu cea a sistemului UPS off-line din Fig. A3.2. De fapt este un sistem on-line, la care circuitul se închide în mod obișnuit pe circuitul C1. Contactorul static este deschis, dar se închide automat dacă sistemul UPS devine supraîncărcat, sau pierde alimentarea dintr-un motiv oarecare. Într-o asemenea situație, sarcina va fi alimentată din circuitul C2 (de rezervă). Această acțiune este opusă celei realizate în schema off-line. Condițiile de funcționare vor reveni automat la normal, dacă suprasarcina este înlăturată. Pentru întreținerea sistemului UPS se folosește circuitul C3 pentru a menține continua alimentare a consumatorilor. Calculul TMBF pentru asemenea sisteme se poate face de specialiști, dar fiecare fabricant de UPS o poate estima pentru produsele sale și poate face recomandări de configurații optime.

A3.4. Sistemele UPS și mediul lor de funcționare

Unitățile UPS pot transmite date privind starea componentelor UPS (contactor static închis sau deschis) și pot primi comenzi de la alte echipamente, care să le controleze funcțiile, în special sisteme din tehnologia informației. Acest schimb de informații se face din următoarele motive:

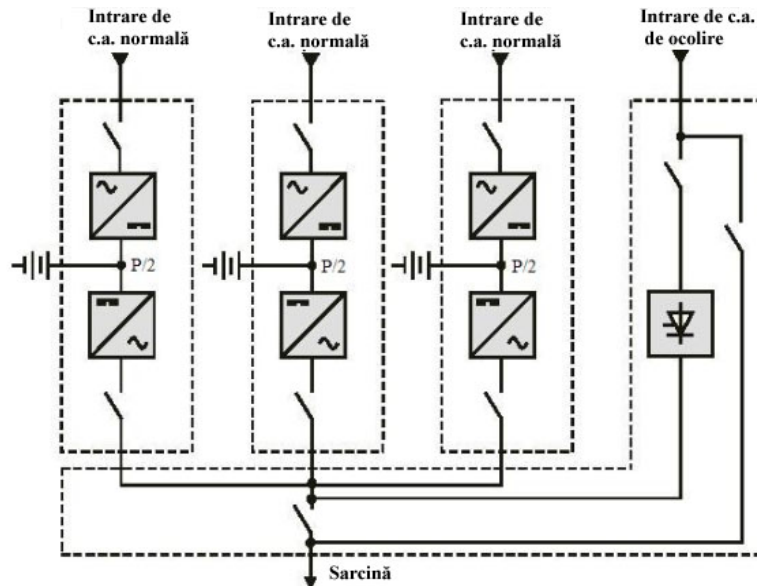


Fig. A3.5. Surse UPS cu putere nominală P/2, folosite pentru alimentarea unui consumator care necesită un nivel înalt de fiabilitate

- optimizarea schemei de protecție; UPS transmite date (condițiile normale de funcționare, alimentarea este asigurată de bateria de acumuloare, alarmă pentru a anunța apropierea sfârșitului perioadei de autonomie etc.) calculatorului pe care acel UPS îl alimentează. Calculatorul stabilește acțiunile corective cele mai potrivite și dă comenzi ce trebuie executate de UPS;
- permite telecomanda; UPS transmite informații privind starea componentelor sale, împreună cu valorile diversilor parametrii măsurați la pupitrul de comandă al unui operator. Funcție de datele primite, acesta este capabil să ia hotărâri și să facă manevre operaționale pe care le transmite de la distanță;
- administrarea (managementul) instalației; utilizatorul are la dispoziție posibilitatea de administrare tehnică centralizată, care îi permite să primească informații de la unitățile UPS. Aceste informații sunt stocate. În urma analizei și prelucrării lor, se determină starea de funcționare a sistemului, care este reprezentată apoi pe o schemă sinoptică, sau pe monitorul calculatorului și face posibilă luarea de decizii relativ la comanda și controlul UPS. Această evoluție, către o compatibilitate generală între diverse sisteme și „hardware”-ul corespunzător, necesită încorporarea unor funcțiuni suplimentare în sistemele UPS. Aceste funcțiuni sunt gândite cu scopul de a asigura compatibilitatea electrică și mecanică față de alte echipamente. În sistemele UPS se pot încorpora interfețe de comunicație standard (RS232, RS422 și RS485), mai mult, se pot utiliza pachete de programe (software) pentru comanda la distanță și diagnosticarea automată a defectelor, care pot fi integrate în alte sisteme de supraveghere globală.

A. Punerea în funcțiune și tehnologia sistemelor UPS

La sistemele UPS se folosesc uzual două tipuri de baterii de acumuloare:

- *Baterii capsulate, fără întreținere:* Aceste baterii sunt utilizate pentru sisteme cu puterea nominală de până la 250 kVA și asigură o autonomie de până la 30 minute. Pentru anumite instalații, amplasate adecvat, este suficientă răcirea naturală, dacă se asigură respectarea condițiilor prevăzute de încărcare și reglaj, corelate

cu caracteristicile bateriilor. În unele țări aceste condiții sunt definite în standardele naționale. Deocamdată nu există nici o recomandare internațională echivalentă, astfel încât se recomandă consultarea firmei producătoare a bateriilor.

- **Baterii necapsulate:** Aceste baterii sunt de obicei baterii cu plumb (Pb-acid) și sunt utilizate pentru toate instalațiile de mare putere. Bateriile sunt instalate în încăperi speciale, prevăzute de obicei cu răcire forțată (cu ventilatoare). Pentru anumite aplicații se prefera baterii cadmiu-nichel, de construcție necapsulată.

B. Spații de instalare a bateriei

Pentru bateriile de acumulare, instalate în încăperi închise, standardele naționale impun un sistem de ventilație forțată, sau naturală, care acorda debitul de aer absorbit din exterior cu dimensiunile și curentul de încărcare a bateriei. Debitul de aer, în $\text{m}^3/\text{oră}$, poate fi calculat cu relația: $0.05 \cdot N \cdot I$, în care: N - numărul de elemente ale bateriei, I - curentul maxim [A], care poate fi debitat în sarcina de sistemul de încărcare a bateriei. În cazul ventilației forțate, sistemul de încărcare trebuie deconectat automat la orice defecțiune a instalației de ventilație sau dacă fluxul de aer este întrerupt sau diminuat. În cazul sistemelor UPS de mare putere, bateria de acumulare este plasată, în general, în camere speciale.

C. Scheme de conectare la pământ

În cazul general, sistemele UPS sunt alimentate de la două circuite, fiecare protejate separat, și notate prin circuit C1 și circuit C2. Circuitul C1 este trifazat și conectat printr-un cablu trifazat la intrarea redresorului; circuitul C2 este tot trifazat, dar conectat printr-un cablu trifazat cu 4 conductoare la intrarea contactorului static. În acest mod, panoul de distribuție din aval este alimentat cu tensiunea de 230/400V. Acolo unde sunt necesare tensiuni de alte valori, se folosesc transformatoare de adaptare.

D. Separarea galvanică a circuitelor de intrare și ieșire ale UPS

Măsurile luate, pentru a preveni pericolul de electrocutare, depind de modul de legare la pământ și din această cauză, de existența sau nu, a separării galvanice între circuitele de intrare și ieșire ale UPS. Firmele producătoare trebuie să poată da orice informație necesară în acest sens. Dacă nu există separare între cele două circuite, atunci, evident, schemele de legare la pământ vor fi identice de ambele părți ale sistemului UPS. Dacă există o separare galvanică completă a celor două părți (intrarea și ieșirea) ale UPS, schemele de legare la pământ din amonte și din aval pot fi diferite sau identice.

• **Scheme TT/TT**

Neutrul inverterului poate să nu fie permanent legat la pământ, așa cum s-a spus mai sus, ci numai temporar legat, atunci când disjunctorul D2 din Fig. A3.6 este deschis. D2 este un disjuncter tetrapolar care, la deconectare, întrerupe și conductorul de neutru. Conductorul de neutru este legat la pământ la transformatorul IT/JT și astfel, când D2 deschide, contactorul C închide automat pentru a reconecta bara de neutru a panoului de distribuție de JT.

Protecție generală. Un releu sensibil la curent rezidual (RCD) este instalat la fiecare ieșire din panoul general de distribuție, unde este alimentat sistemul UPS (disjunctoarele D1 și D2 din Fig. A3.6, precum și la fiecare plecare din panoul de distribuție (de la ieșirea UPS). Nivelul de sensibilitate al celor două categorii de RCD este astfel reglat, încât să se asigure continuitatea alimentării consumatorilor. Aceasta sensibilitate este stabilită funcție de valoarea rezistenței de conectare la pământ (electrodul plus conductoarele de împământare).

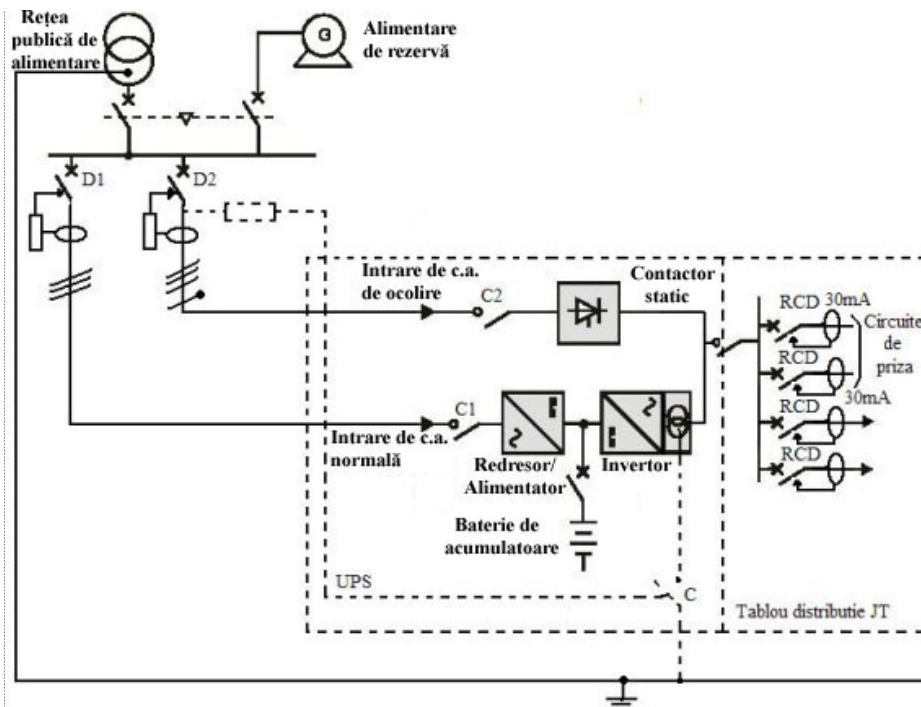


Fig. A3.6. Schema TT/TT.

Protecție generală. Un releu sensibil la curent rezidual (RCD) este instalat la fiecare ieșire din panoul general de distribuție, unde este alimentat sistemul UPS (disjunctoarele D1 și D2 din Fig. A3.6, precum și la fiecare plecare din panoul de distribuție (de la ieșirea UPS). Nivelul de sensibilitate al celor două categorii de RCD este astfel reglat, încât să se asigure continuitatea alimentării consumatorilor. Aceasta sensibilitate este stabilită funcție de valoarea rezistenței de conectare la pământ (electrodul plus conductoarele de împământare).

Anumite variante de RCD sunt proiectate astfel încât să evite funcționarea anormală, determinată de alte cauze (curent cu componentă continuă, provocată de însăși funcționarea UPS) decât de existența unui curent rezidual.

Protecția circuitului de c.c. al sistemului UPS. Cele mai multe dintre standardele naționale, precum și normele generale de securitate aferente executării instalațiilor electrice (inclusiv instalațiilor de baterii de acumuloare) stabilesc reguli foarte stricte care, dacă sunt respectate, reduc foarte mult probabilitatea de scurt-circuitare sau atingere indirectă, accidentală cu părțile sub tensiune. Astfel, se consideră că circuitul, de la bornele bateriei de acumuloare până la întreruptorul de protecție, asigură condiții adecvate de protecție a personalului, dacă :

- bateria și toate circuitele de c.c. sunt în aceeași încăpere cu celelalte componente ale sistemului UPS, adică se poate crea o legătura echipotențială;
- dacă bateria este departe de sistemul UPS, trebuie respectate condițiile prevăzute de standarde, pentru clasa de izolație II;
- protecția pentru restul instalației

Se recomandă o schemă de supraveghere a stării izolației, mai ales pentru secțiunea dintre întreruptorul de la bornele bateriei de acumuloare și joncțiunea

dintre ieșirea redresorului și intrarea în inverter, unde un defect de izolație pe partea de c.c. prezintă un risc important. Un sistem adecvat de supraveghere permanentă este cel cu testare prin injecție de curent de joasă frecvență

Protecția circuitelor de ieșire nepoluante. Circuitele care alimentează prizele vor fi protejate cu dispozitive RCD, cu sensibilitate de 30mA (sau mai puțin), cum sunt de exemplu întreruptoarele diferențiale Multi 9, curba B 30mA. Alte circuite de ieșire vor fi protejate cu RCD de sensibilitate aleasă adecvat (în general 300 mA), care trebuie corelate cu protecția asigurată de disjunctoarele D1 și D2 Fig. A3.6.

• **Scheme TN-C/TN-S**

Întreruperea automată a alimentării cu energie, în urma unei atingeri indirecte, accidentale, este comandată, în această schemă, de relele de protecție la suprasarcină. În acest caz, calculul impedanței buclei Z_s este imposibil de efectuat. Regula de bază care trebuie respectată, este următoarea: curentul de scurtcircuit din inverter (care reprezintă valoarea maximă ce poate fi suportată de inverter, înainte ca sistemul propriu de protecție să acționeze) trebuie să fie superior valorii care produce declanșarea sistemului de protecție în supracurent din aval.

Pentru schemele TN-C și TN-S Fig. A3.7 se folosesc disjunctoare prevăzute cu declanșatoare electromagnetice reglate pentru curenți reziduali mici. Numai pentru instalații TN-S se pot folosi și RCD cu sensibilitate medie. Partea de c.c. a sistemului UPS este protejată în același mod ca și schemele TT. Protecția circuitelor de ieșire nepoluante se face cu dispozitive RCD, cu nivel de sensibilitate de 30 mA, pentru circuitele de alimentare a prizelor, și cu disjunctoare prevăzute cu declanșatoare sensibile la curenți de scurtcircuit mici, așa cum s-a menționat anterior.

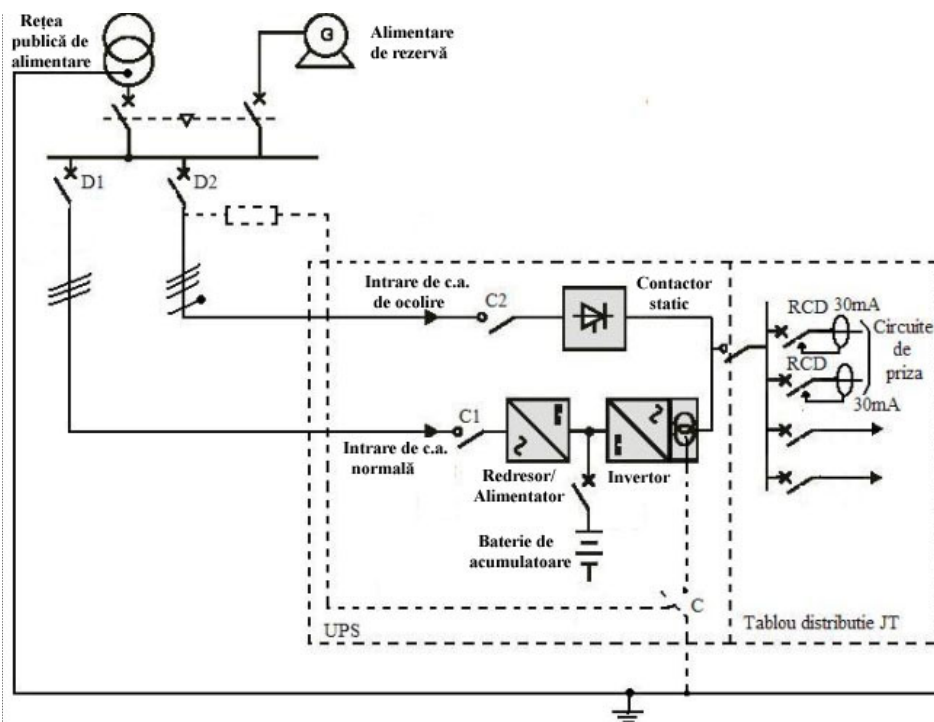


Fig. A3.7. Schema TN-C/TN-S

• Scheme IT/IT

Pentru supravegherea și verificarea continuității izolației se folosesc relele CIC (Fig. A3.8). Releul pentru verificarea continuității izolației, CIC_1 , montat în amonte (între neutrul izolat al transformatorului IT/JT și pământ) este automat înlocuit cu releul CIC_2 , montat la ieșirea inverterului, atunci când circuitul 2 nu funcționează. Releul CIC_3 , montat pe partea de c.c. a sistemului, utilizează un relee cu curent de injecție alternativ, relele CIC_1 și CIC_2 sunt de c.c. de injecție, de fapt, un defect pe partea de c.c. a sistemului va fi detectat de CIC_1 și CIC_2 . Relele cu curenți de injecție care funcționează la foarte joasa frecvența permit măsurarea corectă a impedanței. De aceea, în particular, capacitățile parazite din rețea (ale cablurilor și filtrelor de la consumatori) trebuie luate în considerare, iar toți consumatorii trebuie să aibă o izolație care să suporte tensiunea de linie (între faze).

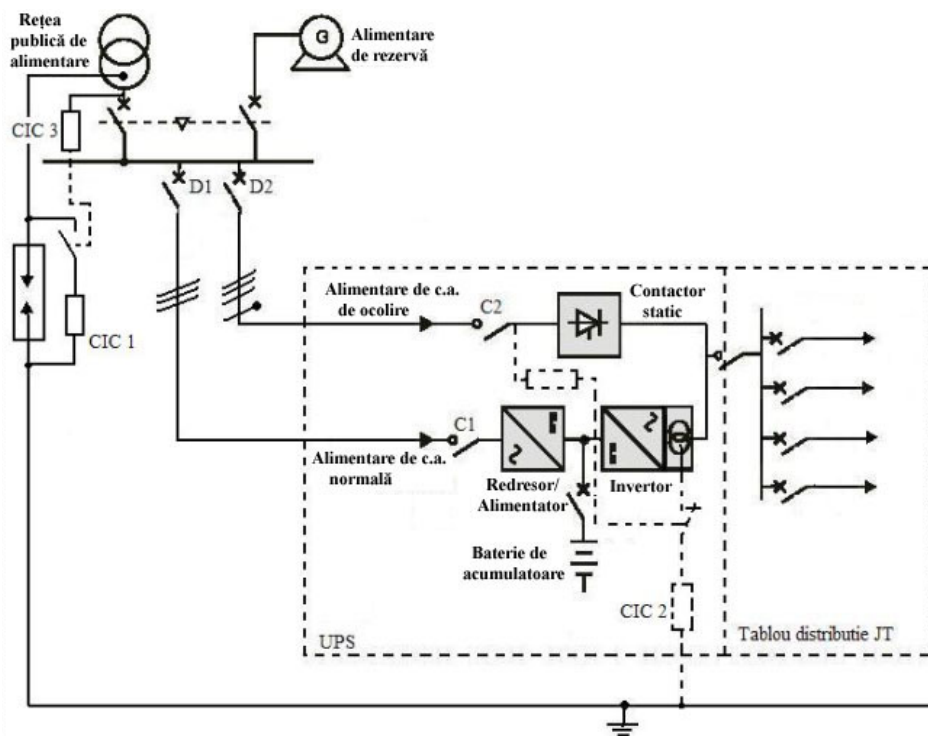


Fig. A3.8. Schema IT/IT

Separarea galvanică totală a circuitelor din amonte și din aval de sistemul UPS. Uneori este necesară separarea galvanică totală a circuitelor din amonte și din aval de sistemul UPS. Aceasta se realizează prin instalarea unui transformator cu două înfășurări în amonte de contactorul static. În acest caz, schemele de legare la pământ din amonte și din aval de punctul de separare, pot fi diferite. Tipul de legare la pământ cerut de circuitele din aval, poate fi realizat la ieșirea transformatorului inverterului.

E. Alegerea schemelor de protecție

Pentru alegerea schemelor de protecție este necesar să se țină seama de caracteristicile specifice ale sistemelor UPS: curentul de scurtcircuit suportat de sistemul UPS este întotdeauna foarte redus, uneori chiar mai puțin de dublul curentului

nominal. Producătorii unor asemenea sisteme efectuează încercări pentru a asigura o coordonare satisfăcătoare între caracteristicile sistemului UPS și protecția oferită de disjunctorul asociat.

Alegerea parametrilor nominali ai disjunctorului de protecție. Curenții nominali ai disjunctoarelor D_1 , D_2 și D_3 , precum și a celui de c.c. (Fig. A3.9) trebuie să fie aleși astfel:

- $I_n \geq I_1$ pentru D_1 (I_1 incluzând și curentul de reîncărcare a bateriei)
- $I_n \geq I_u$ pentru D_2
- $I_n \geq I_{cc}$ pentru D_{cc}

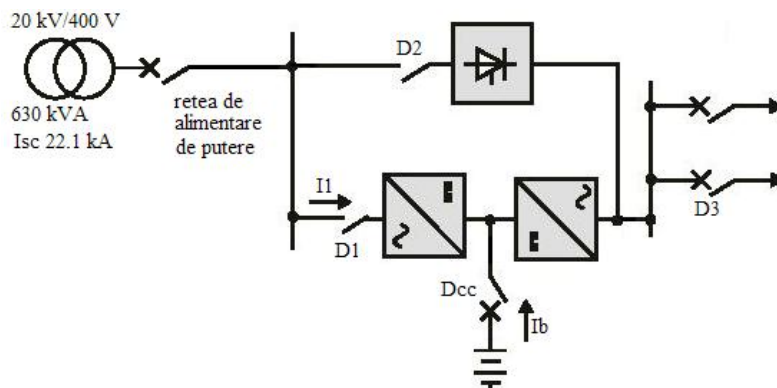


Fig. A3.9. Alegerea parametrilor nominali ai disjunctoarelor.

Curentul nominal pentru fiecare cale de curent D_3 , depinde de curentul de serviciu al fiecărui consumator alimentat.

Capacitatea de deconectare a întreruptoarelor. Disjunctoarele de protecție D_1 și D_2 trebuie să aibă capacități nominale de rupere egale sau superioare curenților de scurtcircuit prezumați pentru locul în care acestea sunt amplasate în rețea. Capacitatea nominală de rupere a disjunctoarelor este întotdeauna scăzută. Curentul maxim de scurtcircuit al bateriei este întotdeauna mai mic decât de 20 ori din capacitatea sa exprimată în amperi-oră.

Disjunctoarele D_3 sunt folosite, deoarece nivelul foarte scăzut al curenților de scurtcircuit pe care îi poate suporta sistemul UPS, creează probleme speciale privind organizarea protecției selective și protecției împotriva contactelor indirecte accidentale, în sistemele de tip TN.

Cazul 1: configurația circuitului implică contactorul static închis, dar fără nici o condiție particulară privind autonomia: curentul de scurtcircuit este alimentat din rețeaua de putere, astfel încât alegerea disjunctoarelor de protecție se face cu mare atenție pentru a asigura corect selectivitatea.

Cazul 2: configurația circuitului este fără contactor static sau cu o comutare temporizată a acestuia. Ca urmare, selectivitatea trebuie realizată de dispozitivele instantanee sau temporizate de supracurent, care trebuie să declanșeze la curentul de scurtcircuit relativ mic, permis de unitatea UPS, înainte ca sistemul sau intern de protecție la supracurent să acționeze.

F. Echipamente complementare

Transformatoare. Utilizarea unui transformator cu două înfășurări, montat în aval de contactorul static al circuitului C2 (Fig. A3.4) permite:

- schimbare a nivelului de tensiune, atunci când tensiunea rețelei publice de alimentare este diferită de cea a consumatorului;

- un alt mod de tratare a neutrului înfășurării secundare (care alimentează consumatorul), față de cea primară (spre rețea);
- reduce nivelul curentului de scurtcircuit în secundar (adică la consumator) față de cel din primar (pe partea rețelei de distribuție);
- împiedică armonica a treia (și armonicile multiplu de trei), care ar putea exista în secundar, să treacă în primar, adică în rețeaua publică de distribuție a energiei electrice (cu condiția ca înfășurarea primară să fie conectată în triunghi).

Filtrul. Sistemul UPS are în componența sa un redresor comandat (cu tiristoare sau tranzistoare) de putere, pentru încărcarea bateriei de acumuloare. Curentul absorbit de la rețea este choppat și deci conține armonici, adică redresorul este o sursă de poluare cu armonici a rețelei publice de alimentare cu energie. Din acest motiv, armonicile nedorite trebuie filtrate la intrarea redresorului. În felul acesta, conținutul de armonici ale curentului se reduce suficient, pentru a deveni acceptabil pentru cele mai multe aplicații. În cazuri particulare, mai ales la instalații foarte mari, poate fi necesar și un al doilea filtru de rețea.

Astfel de situații apar atunci când:

- puterea nominală a sistemului UPS este mare, comparativ cu transformatorul coborâtor care îl alimentează;
- consumatorii conectați la barele de JT sunt deosebit de sensibili la conținutul de armonici;
- există o sursă de energie de siguranță („stand-by”) (grup alternator-motor diesel sau turbină cu gaze)

Echipamentul de comunicații. Sistemele de comunicații, care au echipamente asociate cu sisteme informatice impun necesitatea unor facilități corespunzătoare, incluse în sistemele UPS. Asemenea facilități pot fi incorporate din faza de proiectare a sistemului, dar se pot adăuga și ulterior.

G. UPS cu surse neconvenționale de energie electrică

Funcționarea UPS presupune existența unei surse alternative de energie. În mod uzual aceasta folosește ca tampon bateriile de acumuloare. În cazul în care sursa neconvențională de energie electrică debitează continuu (în circuitul intermediar de c.c.) se impune recuperarea energiei suplimentare în rețea, astfel încât eficiența instalației să fie ridicată. Un exemplu de structură de UPS („back – to back”), cu posibilitatea recuperării energiei în rețea, folosind surse multiple de energie electrică (pile de combustie, panouri solare, unități generatoare cu mase inerțiale - SMES etc.) este prezentat în Fig. A3.10 Se observă că circuitul de redresare (interfața cu rețeaua) este bidirecțional.

Practic, în componența UPS sunt integrate două invertoare: primul, conectat la rețea, care se ocupă de gestionarea schimbului de energie la acest nivel, al doilea, având ieșirea la tensiune și frecvență constante, fiind cel care transferă energia spre și dinspre sarcină. Între cele două invertoare se află „tamponul” de energie (bateria de acumuloare) și elementele de conversie (sursele) cu ieșire în curent continuu.

Întreaga structură este separată galvanic de rețea și de sarcină, transformatoarele de separație realizând și o filtrare suplimentară a regimului armonic. Această configurație asigură schimbarea sensului de circulație al energiei electrice în mod natural, prin controlul nivelului tensiunii continue din circuitul intermediar. În plus, factorul de putere la alimentare și regimul deformant sunt aproape integral compensate.

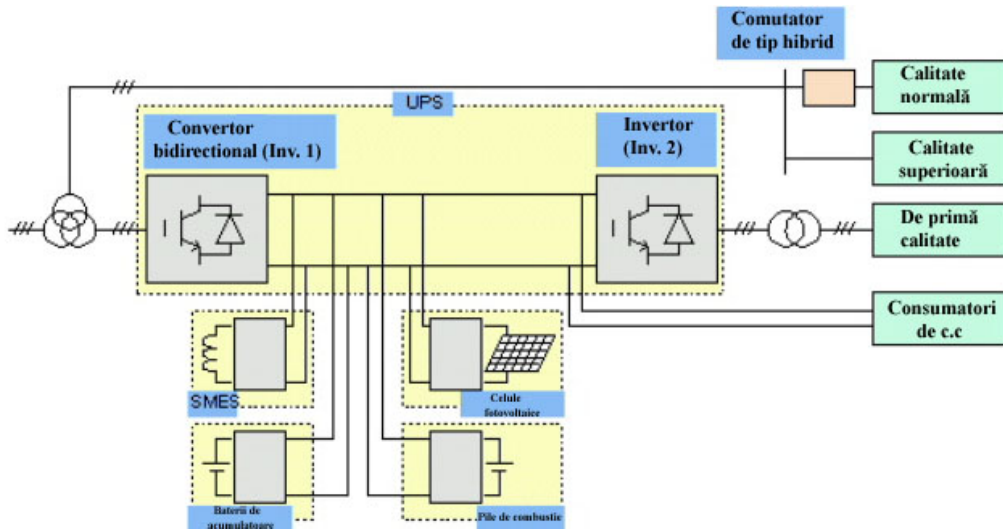


Fig. A3.10. UPS bidirecțional cu surse multiple de energie electrică

Anexa 4. CONSIDERENTE TEORETICE ALE MODELĂRII SISTEMELOR

A4.1. Definiții

Sistemul este un ansamblu de elemente interconectate, capabil să se individualizeze prin realizarea unor funcții specifice

Structura reprezintă modul de organizare a elementelor de sistem. Sistemele pot fi:

- *materiale (reale)*, porțiuni din Univers care prezintă interes pentru cercetător. Ele se delimitează de restul Universului numit și mediu înconjurător, prin frontieră;
- *conceptuale*, reprezintă, în raport cu o serie de ipoteze acceptate, aspectele considerate esențiale ale unui sistem real, furnizate sub o formă utilizabilă. În literatura de specialitate, mai ales în automatică, în locul noțiunii de sistem se folosește foarte des termenul de *proces*, cu o conotație generalizatoare și abstractizantă, în sensul că procesul reprezintă un sistem în contextul evoluției sale dinamice.

Modelul este o reprezentare, de complexitate mai mare sau mai mică, a unui sistem real, realizată în scop cognitiv. Modelele au o deosebită importanță practică în faza de studiu a sistemului considerat, în faza de proiectare dar și în exploatare prin faptul că orice model folosește la înțelegerea legităților care guvernează sistemul modelat și prin posibilitatea de a simula cu costuri relativ mici regimurile de funcționare ale sistemului modelat. Modelele pot fi:

- *descriptive* sau *semantice*, constau dintr-o reprezentare a sistemului real fie cu ajutorul imaginilor (figuri, desene, fotografii), fie în vorbirea curentă;
- *matematice*, sistem de ecuații (algebrice, diferențiale) și/sau inecuații, funcții, mulțimi, scheme bloc etc., capabil să descrie comportarea sistemului real cu o anumită acuratețe (precizie), depinzând de ipotezele adoptate în studiu și conformă cu scopul urmărit;
- *fizice*:
 - *la scară redusă*, când au aceeași natură fizică ca și sistemul pe care-l modelează;
 - *analogice*, când natura fizică a modelului diferă față de cea a sistemului real, însă relațiile între mărimile modelului analogic sunt similare cu cele existente între mărimile corespunzătoare ale sistemului real modelat.

Modelele descriptive sunt cele mai apropiate de sistemul de gândire uman, fiind ușor receptate și conținând un mare volum de informație implicită, foarte utilă atunci când se apreciază calitativ rezultatele date de modelele matematice corespunzătoare, însă sub aspect de reprezentare cantitativă nu pot oferi rezultate satisfăcătoare, ci doar cel mult ordine de mărime pentru valorile variabilelor.

Modelele fizice sunt costisitoare, uneori foarte greu de realizat, însă au avantajul de a păstra investigația în limitele realității. Pentru nespecialiști, modelele matematice sunt greu de înțeles, sunt complet separate de realitate, necesitând din acest motiv o validare atentă și o bogată experiență de utilizare. Ele însă oferă, în limita ipotezelor de lucru adoptate, rezultate cantitative în bună concordanță cu realitatea. Odată cu creșterea performanțelor calculatoarelor moderne, folosirea modelelor matematice a devenită extrem de răspândită datorită avantajelor lor: economicitate, flexibilitate, precizie, permit ca printr-o grafică adecvată să se obțină o realitate virtuală sugestivă, comod de investigat. În cele ce urmează, vor fi tratate în exclusivitate problemele generale legate de construirea și utilizarea modelelor matematice generale, numite pe scurt modele și a celor specifice ale pilei de combustie.

Modelarea este activitatea prin care se caută găsirea unui model adecvat pentru un anumit sistem real, abordat în studiu. Existența modelelor implică abordarea următoarelor probleme principale:

A4.2. Construirea modelului

Construirea modelului (modelarea) presupune parcurgerea etapelor:

- **Stabilirea structurii**, exprimate fie prin relații matematice, fie prin scheme bloc (care de fapt reprezintă o reprezentare grafică convențională a relațiilor matematice între diversele categorii de mărimi: de intrare, de ieșire, de stare, perturbații și parametrii). Ea poate fi făcută pe două căi:

- *analitic*, atunci când despre sistemul real sunt cunoscute *informații a priori* – este vorba în special despre legile fizice care guvernează transformările pe care le poate suferi sistemul
- *experimental*, atunci când nu se dispune de cât de *informația a posteriori* obținută prin măsurătorile referitoare la funcționarea sistemului. În literatura de specialitate, o astfel de cale de abordare a modelării este denumită ca “*modelare empirică*”

Această etapă în care este construit modelul sistemului este cunoscută și sub numele de *identificare analitică*.

- **Determinarea valorii parametrilor** modelului se face:

- *prin calcule*, atunci când se cunosc *a priori dimensiunile și caracteristicile de material* ale sistemului
- *prin măsurători*, activitate denumită ca *identificare experimentală* (referită de obicei numai prin termenul simplu de *identificare*) a modelului sau *estimarea parametrilor* (situație încetățenită deja în literatura de specialitate). Această abordare asigură o corespondență foarte bună a rezultatelor furnizate de model cu cele din realitate.

În Fig. A4.1 sunt prezentate diferitele etape care trebuie parcurse pentru a ajunge de la un anumit sistem real la modelul său, urmând fie calea analitică, fie cea experimentală. La modelare, cea mai importantă informație inițială este precizarea scopului construirii respectivului model, pe această bază stabilindu-se ipotezele de lucru, complexitatea structurii modelului și precizia cu care se estimează parametrii lui.

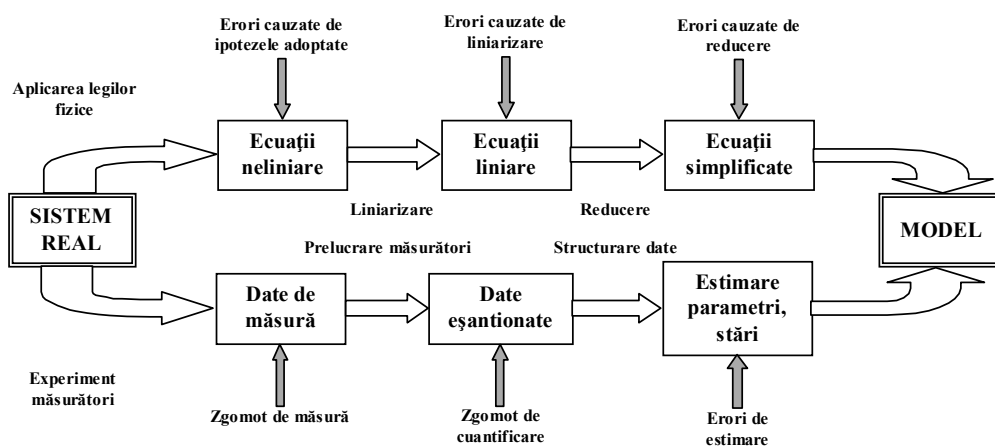


Fig. A4.1. Căile de obținere a modelului matematic din sistemul real

- **Validarea** modelului matematic constă în compararea rezultatelor oferite de model în condiții de simulare identice cu cele în care s-au obținut datele experimentale ale sistemului real.

Validarea modelului oferă informații prețioase asupra acurateții acestuia, modelul fiind cu atât mai bun cu cât diferențele dintre rezultatele simulării și cele obținute din măsurători diferă mai puțin. Astfel, în raport cu scopul urmărit, se poate decide dacă modelul este valid sau nu. În situația în care modelul este invalidat, el trebuie corectat (îmbunătățit) prin considerarea unor aspecte neglijate sau prin modificarea adecvată a valorii parametrilor lui. În acest fel, obținerea unui model matematic adecvat unui anumit sistem real este un proces iterativ, ilustrat în Fig. A4.2. Șirul modelelor M_1, M_2, M_3, \dots tinde să aproximeze tot mai bine comportarea sistemului real. Cât de mare trebuie să fie precizia realizată de model, este un obiectiv care depinde exclusiv de scopul urmărit. Întotdeauna se urmărește o optimizare a costurilor, știind că obținerea unui model mai exact implică cheltuieli suplimentare, iar rezultate foarte exacte deși sunt de dorit, nu sunt neapărat necesare decât în anumite situații speciale.

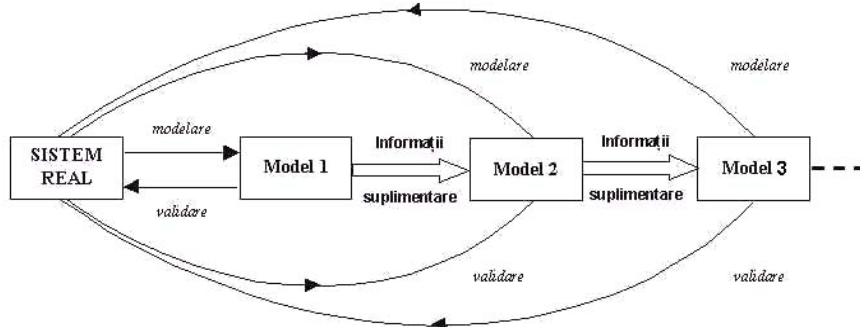


Fig. A4.2. Schema procesului iterativ aplicat pentru perfecționarea modelării

A4.3. Utilizarea modelului

Utilizarea modelului presupune parcurgerea următoarelor etape:

- **Simularea** sistemului real, este operația prin care modelul reproduce comportarea sistemului real în condiții bine precizate. Simularea poate fi realizată:
- *experimental* când sunt folosite modelele fizice;
 - *analitic* când modelul matematic permite o rezolvare de acest tip, caz foarte rar întâlnit pentru sistemele reale, care pot fi soluționate analitic numai prin acceptarea unor ipoteze simplificatoare adesea foarte restrictiv;
 - *numeric* când găsirea soluțiilor modelului matematic se face folosind metodele numerice implementate în programe de calcul adecvate, bazate pe algoritme numerice, care sunt apoi rulate pe calculatoarele electronice digitale;
 - *analogic* când se folosesc modelele matematice implementate pe calculatoarele electronice analogice.
- **Aprecierea calității** comportării sistemului real implică:
- fie determinarea unor *indici de calitate* prin folosirea rezultatele obținute prin simularea sistemului;
 - fie folosirea unor *metode specifice*, destinate aprecierii calității modelului matematic utilizând direct informația referitoare la structura și parametrii modelului matematic al sistemului.

- **Sinteza unor legi de comandă** (sisteme de reglare) care să asigure proprietățile dorite pentru comportarea sistemului real, mai exact este vorba de optimizarea funcționării în raport cu un anumit criteriu dorit.

A4.4. Clasificarea modelelor matematice

Clasificarea modelelor matematice este foarte importantă din punct de vedere metodologic și se poate face după următoarele criterii:

1. După **gradul de generalitate** a modelului, există:
 - *model general*, a cărui importanță rezidă din faptul că se adresează unei clase largi de modele reale și permite obținerea rapidă a modelului unui anumit sistem particular aparținând clasei de sisteme în cauză;
 - *model particular* construit pentru anumit sistem real; el are calitatea de a putea fi direct folosit în scopul dorit ca prin generalizare și abstractizare să conducă la modelul general, specific clasei din care face parte sistemul real în cauză.
2. După **natura funcțiilor matematice folosite** în cadrul modelului, se disting:
 - *modele liniare*. Sunt cele mai des folosite modele datorită relativei lor simplități și a faptului că în prezent, din punct de vedere principial, teoria sistemelor liniare este complet elaborată și dispune de metode de cercetare și rezolvare bine elaborate, chiar optimizate. Totuși modelele liniare nu oferă decât o aproximare, de cele mai multe ori destul de aproximativă a realității și adeseori nesatisfăcătoare;
 - *modele neliniare*. Asigură o reprezentare fidelă a realității, însă teoria lor este extrem de complicată, în curs de elaborare și nu oferă soluții analitice decât în unele cazuri particulare. De multe ori, pentru a obține soluții aproximative se apelează la metoda liniarizării modelului în punctul de funcționare, mult folosită în tehnica actuală.
3. După **repartizarea spațială a parametrilor**:
 - *modele cu parametri concentrați*, constituie majoritatea modelelor utilizate în prezent;
 - *modele cu parametri distribuiți în spațiu*, în majoritatea cazurilor distribuția parametrilor fiind uniformă. Aceste modele conțin ecuații diferențiale cu derivate parțiale. Variabilele independente sunt coordonatele spațiale, una până la trei, ale poziției considerate în studiu și timpul pentru modelele dinamice.
4. După **modul de considerare a variabilei independente** (timpul) se disting:
 - *modele statice (de stare)*, la care timpul nu are calitatea de a fi o variabilă a modelului; prin intermediul *ecuațiilor de stare*, aceste modele stabilesc corelații între variabilele care descriu starea sistemului la un moment dat; cu modelele de stare se poate calcula care vor fi valorile variabilelor de stare prin trecerea la o nouă stare, dar nu se poate urmări modul cum variabilele se modifică în timp;
 - *modele dinamice*, la care timpul este o variabilă a modelului intervenind fie explicit, fie implicit prin intermediul derivatelor temporale ale unor variabile ale modelului; dacă prezența timpului este numai implicită, atunci modelele care satisfac această condiție se numesc modele olonome. Modelele dinamice sunt mai complexe decât modelele statice, ele putând descrie evoluția temporală a variabilelor pe parcursul transformărilor pe care le suferă sistemul modelat. Există două categorii de modele dinamice:
 - *modele continue*, la care variația timpului, variabila independentă, este continuă, domeniul lui de definiție fiind mulțimea numerelor reale. Sunt

- cele mai vechi și răspândite modele folosite în tehnică. Componentele lor de bază sunt ecuații diferențiale în care intervin derivatele variabilelor în raport cu timpul;
- *modele discrete*, la care variabila independentă, timpul, aparține domeniului numerelor naturale, variind discontinuu de la o valoare la alta. Aceste modele au fost studiate mai recent și cunosc o continuă extindere ca urmare a folosirii calculatoarelor numerice în conducerea proceselor. Sunt formate din ecuații cu diferențe, în care derivatele temporale ale variabilelor sunt înlocuite prin diferențele valorilor mărimilor în cauză, la momente succesive.
5. După **variația temporală a parametrilor**, există două categorii de modele:
 - *modele invariante*, având parametrii constanți în timp;
 - *modele variante*, la care cel puțin unul dintre parametri depinde de timp. Este posibil ca în anumite situații (funcții armonice de timp), prin transformări adecvat alese, să se transforme modelul variant într-unul invariant.
 6. După **numărul de intrări și ieșiri**, distingem:
 - *modele monovariabile* – SISO (Single Input Single Output), caracterizate de o singură mărime de intrare și una de ieșire;
 - *modele multivariabile* – MIMO (Multi Input Multi Output), caracterizate prin mai multe mărimi de intrare, respectiv de ieșire. Cazurile particulare corespund situațiilor SIMO, MISO și desigur SISO.
 7. După **dimensiunea modelului** (numărul de variabile), se disting:
 - *modele de dimensiune mică*, având 2 ... 5 (10) variabile;
 - *modele complexe (de dimensiune mare)*, cu zeci, sute, chiar mii sau zeci de mii de variabile.
 8. După **natura variabilelor** din model, deosebim:
 - *modele deterministe*, la care mărimile de ieșire depind doar de variația mărimilor de intrare care au un caracter determinist, cu alte cuvinte valori bine precizate în fiecare moment de timp;
 - *modele stocastice* (stohastice, stochastice), la care una sau mai multe mărimi de intrare pot avea natură aleatoare, deci valori imposibil de precizat cu exactitate în orice moment de timp.
 9. După **forma modelului**, există:
 - *modele neparametrice* descrise prin:
 - *curbe* ce nu pot fi definite prin funcții sau prin ecuații cu parametri;
 - *tabele de valori* pentru mărimile de ieșire în funcție de valorile intrărilor;
 - *modele parametrice* în cadrul cărora se pot evidenția în mod explicit parametrii modelului, pot fi:
 - *ecuații de intrare-ieșire* (Intrare–Ieșire, model IE);
 - *ecuații intrare-stare-ieșire* (Intrare–Stare–Ieșire, model ISI), în care pe lângă mărimile obișnuite de intrare, respectiv de ieșire, mai intervine o categorie nouă de mărime (mărimile de stare), care definesc starea sistemului la un moment dat. În limbajul folosit în automatică, acest model este referit și ca ecuații de stare, ceea ce poate crea confuzie, numai pentru cei neavizați, relativ la noțiunea de ecuații statice de stare folosit la modelele statice; desigur modelul ISI este un model dinamic și deci în acest caz termenul de ecuații de stare este o abreviere a noțiunii corecte de ecuații dinamice de stare;
 - *funcție (matrice) de transfer*, reprezintă raportul dintre transformata Laplace a mărimii de ieșire (vectorul ieșirilor) și transformata Laplace a mărimii de intrare (vectorul intrărilor).

A4.5. Descrieri standard pentru diverse tipuri de modele matematice deterministe

În Tabelul A4.1 sunt prezentate descrierile standard ale modelelor deterministe parametrice, unde:

- y – mărimea de ieșire
- \mathbf{Y} – vectorul mărimilor de ieșire
- u – mărimea de intrare
- \mathbf{U} – vectorul mărimilor de intrare
- x – mărimea de stare
- \mathbf{X} – vectorul mărimilor de stare
- a_i, b_j – coeficienții modelului matematic
- t – timpul continuu
- k – timpul mort
- T_e – durata de eșantionare pentru timp
- $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}$ – matricele coeficienților
- H – funcția de transfer
- \mathbf{H} – matrice de transfer
- L – operatorul lui Laplace
- (i) – indice superior care precizează ordinul derivatei
- τ – timpul discret
- κ – timpul mort discret
- s – variabila complexă asociată transformării lui Laplace
- q^{-1} – operatorul de întârziere

În Fig. A4.3 sunt prezentate legăturile existente între diversele tipuri de modele. În continuare este descris modul în care se face trecerea de la un model matematic la altul. Numărul de ordine de mai jos, corespunde situației indicate de cifra corespunzătoare din Fig. A4.3. Trecerea de la ecuația diferențială la funcția de transfer și reciproc, se face pe baza relației de definiție a funcției de transfer.

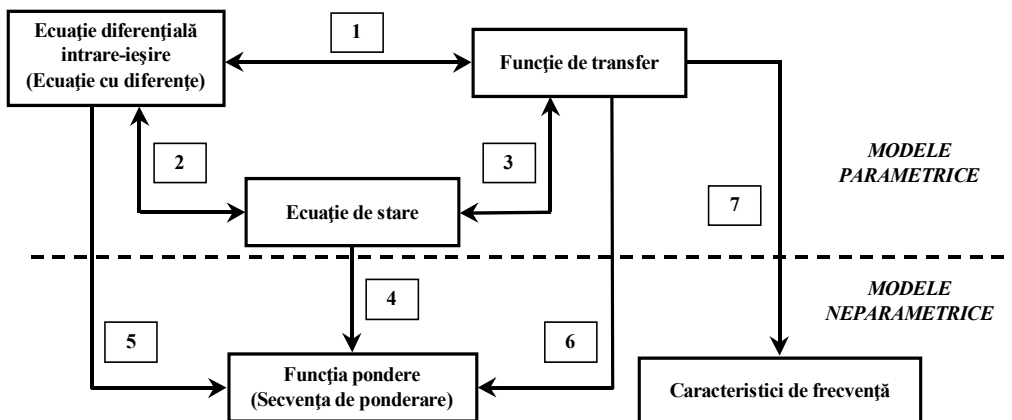


Fig. A4.3. Conexiunile existente între formele posibile ale modelelor matematice ale unui sistem

Tabelul A4.1. Modele parametrice ale sistemelor

Tipuri de modele	Modele continue	
	Modele monovariabile	Modele multivariabile
Model Intrare-Ieșire	$\sum_{i=0}^{na} a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^{nb} b_j u^{(j)}(t-k)$ $a_0 = 1$ $na \geq nb$ $k > 0$	$\sum_{i=0}^{na} \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{Y}^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^{nb} \mathbf{B}_j \cdot \mathbf{U}^{(j)}(t-k)$ $\mathbf{A}_0 = [1]$ $na \geq nb$ $k > 0$
Model Intrare-Stare-Ieșire	$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} \cdot u(t)$ $y(t) = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x}(t) + d \cdot u(t)$ $d = 0$	$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}(t)$ $\mathbf{y}(t) = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{D} \cdot \mathbf{u}(t)$ $\mathbf{D} = \mathbf{0}$
Funcția de Transfer	$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\sum_{j=0}^{nb} b_j \cdot s^j}{1 + \sum_{i=1}^{na} a_i \cdot s^i} \cdot e^{-k \cdot s}$ $na \geq nb$ $k > 0$	$\mathbf{H}(s) = \frac{\mathbf{Y}(s)}{\mathbf{U}(s)} = \frac{\sum_{j=0}^{nb} \mathbf{B}_j \cdot s^j}{[1] + \sum_{i=1}^{na} \mathbf{A}_i \cdot s^i} \cdot e^{-k \cdot s}$ $na \geq nb$ $k > 0$
Tipuri de modele	Modele Discrete	
	Modele monovariabile	Modele multivariabile
Model Intrare-Ieșire	$A(q^{-1}) \cdot y(\tau) = q^{-\kappa} \cdot B(q^{-1}) \cdot u(\tau)$ $A(q^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^{na} a_i \cdot q^{-i}$ $B(q^{-1}) = \sum_{j=0}^{nb} b_j \cdot q^{-j}$ $na \geq nb$ $\kappa > 0$	$\mathbf{A}(q^{-1}) \cdot \mathbf{Y}(\tau) = q^{-\kappa} \cdot \mathbf{B}(q^{-1}) \cdot \mathbf{U}(\tau)$ $\mathbf{A}(q^{-1}) = [1] + \sum_{i=1}^{na} \mathbf{A}_i \cdot q^{-i}$ $\mathbf{B}(q^{-1}) = \sum_{j=0}^{nb} \mathbf{B}_j \cdot q^{-j}$ $na \geq nb$ $\kappa > 0$
Model Intrare-Stare-Ieșire	$x(\tau+1) = \mathbf{A}_d \cdot \mathbf{x}(\tau) + \mathbf{B}_d \cdot u(\tau)$ $y(\tau) = \mathbf{C}_d \cdot \mathbf{x}(\tau) + d_d \cdot u(\tau)$ $d_d = 0$	$\mathbf{x}(\tau+1) = \mathbf{A}_d \cdot \mathbf{x}(\tau) + \mathbf{B}_d \cdot \mathbf{u}(\tau)$ $\mathbf{y}(\tau) = \mathbf{C}_d \cdot \mathbf{x}(\tau) + \mathbf{D}_d \cdot \mathbf{u}(\tau)$ $\mathbf{D}_d = \mathbf{0}$
Funcția de Transfer	$H_d(q^{-1}) = \frac{Y_d(q^{-1})}{U_d(q^{-1})} = \frac{\sum_{j=0}^{nb} b_j \cdot q^{-j}}{1 + \sum_{i=1}^{na} a_i \cdot q^{-i}} \cdot q^{-\kappa} \cdot \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ $na \geq nb$ $\kappa > 0$	$\mathbf{H}_d(q^{-1}) = \frac{\mathbf{Y}_d(q^{-1})}{\mathbf{U}_d(q^{-1})} = \frac{\sum_{j=0}^{nb} \mathbf{B}_j \cdot q^{-j}}{[1] + \sum_{i=1}^{na} \mathbf{A}_i \cdot q^{-i}} \cdot q^{-\kappa}$ $na \geq nb$ $\kappa > 0$

A4.6. Etapele modelării și identificării unui sistem

Atunci când se modelează și se identifică modelul unui proces real, trebuie să parcură următoarele etape:

1. studierea aprofundată a procesului care trebuie identificat, ceea ce presupune o descriere cât mai completă și amănunțită a acestuia și stabilirea fenomenelor fizice care se petrec în cadrul său;
2. stabilirea informațiilor apriorice legate de proces și a scopului pentru care acesta se modelează;
3. stabilirea ipotezelor adoptate la modelare;
4. stabilirea caracteristicilor principale ale modelului în funcție de scopul urmărit: gradul de complexitate, tipul modelului și forma sa bazată eventual pe o identificare analitică;
5. proiectarea și apoi realizarea experimentului necesar estimării parametrilor modelului;
6. Calculul parametrilor folosind o procedură de identificare adecvată și datele de intrare obținute în etapa precedentă;
7. validarea modelului prin realizarea unor simulări corespunzătoare condițiilor reale și compararea rezultatelor obținute cu datele măsurătorilor achiziționate din procesul real.

Anexa 5. ELABORAREA MODELULUI DINAMIC

A5.1. Ipoteze de lucru

Potrivit acestui model se folosește modelarea matematică, pentru bateria PEMFC. Pentru a simplifica analiza, au fost acceptate următoarele ipoteze de lucru:

1. tratare considerând spațiul cu o singură dimensiune;
2. gazele sunt ideale și uniform distribuite în interiorul pilei de combustie;
3. presiuni constante în canalele de curgere a gazului din pila de combustie;
4. combustibilul este hidrogen H_2 umed, iar oxidantul este aer umed. Se presupune că la anod presiunea efectivă a vaporilor de apă la anod este 50% din presiunea vaporilor saturați, în timp ce la catod presiunea efectivă a vaporilor este 100%;
5. pila funcționează la temperatura de $100^\circ C$ și produsul reacției este în faza lichidă;
6. proprietățile termodinamice sunt evaluate la temperatura medie a bateriei pilei de combustie, variațiile de temperatură în lungul bateriei fiind neglijate și se consideră că capacitatea calorică specifică a bateriei este constantă;
7. parametrii celulelor individuale ale bateriei pot fi concentrați împreună pentru a reprezenta bateria în ansamblu.

În Fig. A5.1 se prezintă o diagramă a PEMFC și căderile interne de tensiune.

A5.2. Difuzia gazului în electrozi

Pentru a calcula tensiunea de ieșire a pilei de combustie, trebuie determinate presiunile parțiale ale H_2 și O_2 . În amestecul de gaze constând din N specii, difuzia componentei I prin electrozii poroși poate fi descrisă de ecuațiile Stefan-Maxwell (A5.1), conform [Amphlett1995a], [Amphlett1995b]:

$$\nabla x_i = \frac{R \cdot T}{p} \sum_{j=1}^N \frac{x_i \cdot N_j - x_j \cdot N_i}{D_{i,j}} \quad (A5.1)$$

unde: $x_i(x_j)$ = fracțiile molare ale speciilor $i(j)$; $D_{i,j}$ = difuzivitatea binară efectivă a perechii $I-j$ (m^2/s); $N_i(N_j)$ = fluxul superficial de gaz al speciei $i(j)$ [$mol/(m^2) \cdot s$]; R = constanta gazelor perfecte, $8.3143 J/(mol \cdot K)$; p = presiunea totală a amestecului de gaze (Pa).

În canalul anodului, curentul de gaz este un amestec de H_2 și H_2O (gaz). Fluxul molar de apă (în faza gazoasă) normal pe suprafața anodului N_{H_2O} poate fi considerat egal cu 0 în virtutea ipotezelor 1 ÷ 3. În procesul de transport monodimensional în lungul axei x , arătat în Fig.A5.1, ecuația de difuzie a apei poate fi simplificată astfel:

$$\frac{dx_{H_2O}}{dx} = \frac{R \cdot T}{p_a} \left(\frac{x_{H_2O} \cdot N_{H_2} - x_{H_2} \cdot N_{H_2O}}{D_{H_2O,H_2}} \right) = \frac{R \cdot T}{p_a} \left(\frac{x_{H_2O} \cdot N_{H_2}}{D_{H_2O,H_2}} \right) \quad (A5.2)$$

unde: p_a = presiunea totală a gazului la anod (Pa).

În canalul anodului, curentul de gaz este un amestec de H_2 și H_2O (gaz). Fluxul molar de apă (în faza gazoasă) normal pe suprafața anodului N_{H_2O} poate fi considerat 0

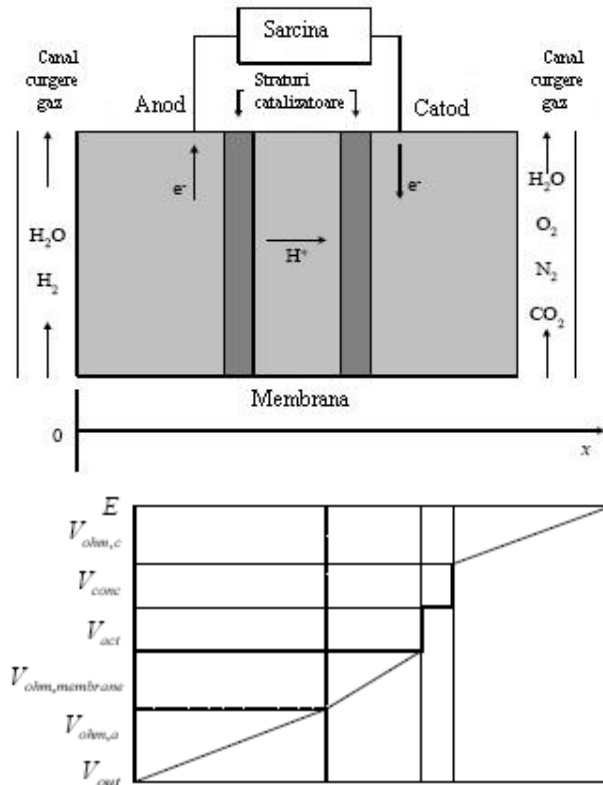


Fig. A5.1. Pila PEMFC și căderile interne de tensiune

în virtutea ipotezelor 1 ÷ 3. În procesul de transport monodimensional în lungul axei x , arătat în Fig. A5.1, ecuația de difuzie a apei poate fi simplificată astfel (A5.2):

$$\frac{dx_{H_2O}}{dx} = \frac{R \cdot T}{p_a} \left(\frac{x_{H_2O} \cdot N_{H_2} - x_{H_2} \cdot N_{H_2O}}{D_{H_2O, H_2}} \right) = \frac{R \cdot T}{p_a} \left(\frac{x_{H_2O} \cdot N_{H_2}}{D_{H_2O, H_2}} \right) \quad (A5.2)$$

unde: p_a = presiunea totală a gazului la anod (Pa).

Fluxul molar de H_2 poate fi determinat cu legea lui Faraday (A5.3), conform [Amphlett1995a], [Amphlett1995b], [Kortum1965].

$$N_{H_2} = \frac{I_{den}}{2F} \quad (A5.3)$$

unde: I_{den} = densitatea de curent [A/m^2]; F = constanta lui Faraday (96487 C/mol).

Prin combinarea (A5.2) și (A5.3) și integrând expresia în raport cu x , de la canalul anodului la suprafața catalizatorului, se obține:

$$x_{H_2O}^* = x_{H_2O}^{ch} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot I_{den} \cdot l_a}{2F \cdot p_a \cdot D_{H_2O, H_2}}\right) \quad (A5.4)$$

unde: l_a = distanța de la suprafața anodului la locul reacției (m); indicele superior * se referă la valoarea efectivă; indicele superior "ch" se referă la condițiile pentru canalul anodului sau catodului.

Deoarece $x_{H_2O}^* + x_{H_2}^* = 1$, presiunea parțială efectivă a H_2 , este (A5.5):

$$p_{H_2}^* = \frac{p_{H_2O}^*}{x_{H_2}^*} \cdot (1 - x_{H_2O}^*) \quad (A5.5)$$

Conform ipotezei 4, $p_{H_2O}^*$ la anod este $0.5 p_{H_2O}^{sat}$. Deci $p_{H_2}^*$ este dat de (A5.6):

$$p_{H_2}^* = 0.5 p_{H_2O}^{sat} \cdot \left[\frac{1}{x_{H_2O}^{ch} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot I_{den} \cdot l_a}{2F \cdot p_a \cdot D_{H_2O, H_2}}\right)} - 1 \right] \quad (A5.6)$$

Indicele superior "sat" semnaleză condițiile saturației vaporilor.

Gazele care curg în canalul catodului sunt O_2 , N_2 , $H_2O_{(g)}$ și CO_2 . Folosind (A5.1), difuzia vaporilor de apă la catod poate fi obținută din (A5.7):

$$\frac{dx_{H_2O}}{dx} = \frac{R \cdot T}{p_c} \cdot \left(\frac{x_{O_2} \cdot N_{H_2O} - x_{H_2O} \cdot N_{O_2}}{D_{H_2O, O_2}} \right) = \frac{R \cdot T}{p_c} \cdot \left(\frac{-x_{H_2O} \cdot N_{O_2}}{D_{H_2O, O_2}} \right) \quad (A5.7)$$

unde: p_c = presiunea totală a gazului la catod (Pa).

Similar cu analiza pentru anod, fracția molară efectivă a apei la interfața catalizator-catod, poate fi calculată cu:

$$x_{H_2O}^* = x_{H_2O}^{ch} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot I_{den} \cdot l_c}{4F \cdot p_c \cdot D_{H_2O, O_2}}\right) \quad (A5.8)$$

unde: l_c = distanța de la suprafața catodului la locul reacției (m).

Folosind un raționament similar celui anterior, pentru ecuațiile (A5.7) și (A5.8), pot fi stabilite fracțiile molare efective ale N_2 , și CO_2 , cu (A5.9) și (A5.10):

$$x_{N_2}^* = x_{N_2}^{ch} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot I_{den} \cdot l_c}{4F \cdot p_c \cdot D_{N_2, O_2}}\right) \quad (A5.9)$$

$$x_{CO_2}^* = x_{CO_2}^{ch} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot I_{den} \cdot l_c}{4F \cdot p_c \cdot D_{CO_2, O_2}}\right) \quad (A5.10)$$

Fracția molară efectivă a O_2 este (A5.11):

$$x_{O_2}^* = 1 - x_{H_2O}^* - x_{N_2}^* - x_{CO_2}^* \quad (A5.11)$$

și corespunzător, presiunea parțială efectivă a O_2 este (A5.12):

$$p_{O_2}^* = \frac{p_{H_2O}^*}{x_{H_2O}^*} x_{O_2}^* = \frac{p_{H_2O}^*}{x_{H_2O}^*} (1 - x_{H_2O}^* - x_{N_2}^* - x_{CO_2}^*) \quad (A5.12)$$

În conformitate cu ipoteza 4, $p_{H_2O}^*$ la catod este egală cu $p_{H_2O}^{sat}$, și ecuația (A5.12) poate fi rescrisă astfel:

$$p_{O_2}^* = p_{H_2O}^{sat} \cdot \left(\frac{1 - x_{N_2}^* - x_{CO_2}^*}{x_{H_2O}^*} - 1 \right) \quad (A5.13)$$

Presiunile $p_{H_2}^*$ și $p_{O_2}^*$ calculate din (A5.6) și (A5.13), vor fi folosite în ecuația lui Nernst pentru a găsi tensiunea de ieșire a pilei de combustie.

A5.3. Ecuțiile de conservare ale masei

Ele se utilizează tot pentru calcularea tensiunea de ieșire a pilei de combustie folosind formula Nernst. Modificarea instantanee a presiunii parțiale efective a hidrogenului și oxigenului poate fi determinată cu ajutorul ecuațiilor gazului ideal după cum urmează (A5.14), conform [Hatsopoulos1965]:

$$\frac{V_a}{R \cdot T} \frac{dp_{H_2}^*}{dt} = M_{H_2,in} - M_{H_2,out} - \frac{i}{2F} = M_{H_2,net} - \frac{i}{2F} \quad (A5.14)$$

unde: V_a = volumul canalului de la anod (m^3); M_{H_2} = debitul (viteza fluxului) molar al hidrogenului (mol/s); i = curentul pilei de combustie (A);

Indicii superiori "in", "out", "net" precizează faptul că valorile se referă la intrare, ieșire și net.

$$\frac{V_c}{R \cdot T} \frac{dp_{O_2}^*}{dt} = M_{O_2,in} - M_{O_2,out} - \frac{i}{4F} = M_{O_2,net} - \frac{i}{4F} \quad (A5.15)$$

unde: V_c = volumul canalului de la catod (m^3); M_{O_2} = debitul (viteza fluxului) molar al oxigenului (mol/s).

În starea staționară, toate presiunile parțiale sunt considerate a fi păstrate constante (A5.16), adică:

$$\frac{dp_{H_2}^*}{dt} = \frac{dp_{O_2}^*}{dt} = 0 \quad (A5.16)$$

Mai mult, debitele molare ale H_2 și O_2 în regim staționar sunt (A5.17):

$$M_{H_2,net} = 2M_{O_2,net} = \frac{1}{2F} \quad (A5.17)$$

Într-o stare tranzitorie, există întârzieri între modificarea curentului debitat de pilă și curgerea combustibilului și oxidantului. Următoarele relații (A5.18), sunt folosite pentru a reprezenta aceste efecte de întârziere:

$$\tau_a \frac{dM_{H_2,net}}{dt} = \frac{i}{2F} - M_{H_2,net} \quad ; \quad \tau_c \frac{dM_{O_2,net}}{dt} = \frac{i}{4F} - M_{O_2,net} \quad (A5.18)$$

unde: τ_a = întârzierea fluxului de combustibil (s); τ_c = întârzierea fluxului de oxidant (s).

A5.4. Tensiunea de ieșire a pilei de combustie

Reacția globală dintr-o PEMFC poate fi scrisă simplu astfel (A5.19):



În conformitate cu ipoteza 5, ecuația lui Nernst corespunzătoare ecuației folosite pentru a calcula potențialul reversibil este (A5.20), conform [Kortum1965]:

$$E_{cell} = E_{0,cell} + \frac{R \cdot T}{2F} \ln \left[p_{H_2}^* \cdot (p_{O_2}^*)^{0.5} \right] \quad (A5.20)$$

unde: E_{cell} = potențialul reversibil al fiecărei celule a pilei (V); $E_{0,cell}$ = potențialul de referință, care este o funcție de temperatură și poate fi exprimat astfel (A5.21):

$$E_{0,cell} = E_{0,cell}^0 - k_E(T - 298) \quad (A5.21)$$

unde: $E_{0,cell}^0$ = potențialul standard de referință în starea standard, 298 K și 1 atm.

Pentru a simplifica analiza, se consideră o tensiune $E_{d,cell}$ pentru a fi scăzută din membrul drept a lui (A5.20) pentru efectul întârzierii de ansamblu pentru combustibil și oxidant. Valoarea staționară a lui $E_{d,cell}$ este 0, dar mărimea va arăta influența întârzierilor combustibilului și oxidantului asupra tensiunii de ieșire a celulei pe durata încărcării tranzitorii. Se poate scrie (A5.22):

$$E_{d,cell} = \lambda_e \cdot [i(t) - i(t) \otimes \exp(-t / \tau_c)] \quad (A5.22)$$

unde: λ_e = factor constant pentru calcularea E_d (Ω); τ_e = întârzierea totală a curgerii (s); \otimes = operatorul de convoluție.

Convertind (A5.22) în domeniul lui Laplace, se obține (A5.23):

$$E_{d,cell}(s) = \lambda_e \cdot I(s) \cdot \frac{\tau_e s}{\tau_e s + 1} \quad (A5.23)$$

Ecuția (A5.22) este folosită pentru dezvoltarea ambelor modele, atât în SIMULINK cât și în Pspice. Potențialul intern E_{cell} din (A5.19) acum devine (A5.24):

$$E_{cell} = E_{0,cell} + \frac{R \cdot T}{2F} \ln \left[p_{H_2}^* \cdot (p_{O_2}^*)^{0.5} \right] - E_{d,cell} \quad (A5.24)$$

E_{cell} calculat din (A5.24), este de fapt tensiunea de mers în gol a pilei de combustie. Totuși, în condițiile funcționării normale, tensiunea de ieșire a pilei de combustie este mai mică decât E_{cell} . Pierderile de activare, căderea de tensiune pe rezistența ohmică și suprapotențialul de concentrație sunt căderi de tensiune pe pila de combustie, așa cum se arată în Fig. A5.1, conform [EG&G2002]. De aceea:

$$V_{cell} = E_{cell} - V_{act,cell} - V_{ohm,cell} - V_{conc,cell} \quad (A5.25)$$

unde: V_{cell} = tensiunea de ieșire a unei singure celule (V); $V_{act,cell}$ = căderea de tensiune cauzată de activare pentru o singură celulă (V); $V_{ohm,cell}$ = căderea ohmică de tensiune pe o singură celulă (V); $V_{conc,cell}$ = căderea de tensiune cauzată de concentrație pentru o singură celulă (V).

Aplicând ipoteza 7, tensiunea de ieșire a bateriei de celule de combustie poate fi obținută ca (A5.26):

$$V_{out} = N_{cell} \cdot V_{cell} = E - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc} \quad (A5.26)$$

unde: V_{out} = tensiunea de ieșire a bateriei de celule de combustie (V); N_{cell} = numărul de celule în serie care compun bateria; V_{act} = căderea totală de tensiune cauzată de activare (V); V_{ohm} = căderea ohmică totală de tensiune (V); V_{conc} = căderea totală de tensiune cauzată de concentrație (V).

Pentru a calcula tensiunea de ieșire a pilei, se folosesc următoarele estimări:

1) Căderea de tensiune cauzată de activare. Ecuția Tafel, dată mai jos, este folosită pentru a calcula pentru o pilă de combustie, căderea de tensiune cauzată de activare (A5.27), conform [EG&G2002]:

$$V_{act} = \frac{R \cdot T}{\alpha \cdot z \cdot F} \cdot \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = T \cdot [a + b \cdot \ln(I)] \quad (A5.27)$$

Pe de altă parte, în [Amphlett1995a], [Amphlett1995b] este dată o formulă empirică pentru V_{act} , unde la (A5.27) se adaugă o constantă (η_0) după cum urmează:

$$V_{act} = \eta_0 + (T - 298) \cdot a + T \cdot b \cdot \ln(I) = V_{act1} + V_{act2} \quad (A5.28)$$

unde: η_0, a, b = termeni de tip constantă empirică; $V_{act1} = \eta_0 + (T - 298) \cdot a$ este căderea de tensiune afectată numai de temperatura internă a pilei de combustie, pe când $V_{act2} = T \cdot b \cdot \ln(I)$ depinde atât de temperatură cât și de curent.

Rezistența echivalentă activării corespunzătoare lui V_{act2} , este definită ca:

$$R_{act} = \frac{V_{act2}}{I} = \frac{T \cdot b \cdot \ln(I)}{I} \quad (A5.29)$$

2) Căderea ohmică de tensiune. Rezistența ohmică a PEMFC constă din rezistența membranei de polimer, rezistența de conducție între membrană și electrozi și rezistența electrozilor. Căderea ohmică totală de tensiune poate fi exprimată ca:

$$V_{ohm} = V_{ohm,\alpha} + V_{ohm,membrana} + V_{ohm,c} = I \cdot R_{ohm} \quad (A5.30)$$

unde R_{ohm} este de asemenea o funcție de curent și temperatură, conform [Amphlett 1995a], [Amphlett1995b]:

$$R_{ohm} = R_{ohm0} + k_{RI} \cdot I - k_{RT} \cdot T \quad (A5.31)$$

unde: R_{ohm0} = este partea constantă a lui R_{ohm} ; k_{RI} = constantă empirică pentru calcularea R_{ohm} (Ω/A); k_{RT} = constantă empirică pentru calcularea R_{ohm} (Ω/K).

3) Căderea de tensiune datorată concentrației. Pe durata procesului, gradientii concentrațiilor pot apare datorită difuziei masei de la canalele de curgere la locul reacțiilor chimice (suprafața catalizatorului). La densități mari de curent, principalul motiv pentru căderea de tensiune cauzată de concentrație este transportul lent al reactanților (produselor) la (de la) locurile de reacție [EG&G2002]. Orice peliculă de apă ce acoperă suprafețele catalizatorului la anod și la catod poate fi o altă cază a acestei căderi de tensiune [Amphlett1995a], [Amphlett1995b]. Suprapotențialul de concentrație din pila de combustie se definește astfel:

$$V_{conc} = -\frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln\left(\frac{C_S}{C_B}\right) \quad (A5.32)$$

unde: C_S este concentrația de suprafață; C_B este concentrația de volum.

Conform cu prima lege a lui Fick și cu legea lui Faraday [Kortum1965], ecuația (A5.32), poate fi rescrisă astfel:

$$R_{conc} = \frac{V_{conc}}{I} = -\frac{R \cdot T}{z \cdot F \cdot I} \cdot \ln\left(1 - \frac{I}{I_{limit}}\right) \quad (A5.33)$$

A5.5. Efectul stratului dublu de sarcini

Într-o PEMFC, cei doi electrozi sunt separați printr-o membrană solidă (Fig. A5.2), care permite numai ionilor H^+ să o străbată, dar blochează curgerea electronilor [Larminie2001], [EG&G2002]. Electronii vor curge de la anod prin sarcina externă și se vor colecta la suprafața catodului, la care protonii hidrogenului vor fi atrași în același timp. Astfel, cele două straturi de polaritate opusă sunt formate de-a lungul

frontierei dintre catodul poros și membrană [Larminie2001], [Schneuwly2002]. Straturile, cunoscute ca strat electrochimic dublu, poate înmagazina energie electrică și să se comporte ca o super-capacitate. Circuitul echivalent al pilei de combustie, cu considerarea acestui efect, este dat în (Fig. A5.2), care este similară cu circuitul descris în [Larminie2001]. Dar valorile lui R_{act} conform (A5.29) și sursa de tensiune sunt diferite, cele care sunt prezentate în [EG&G2002]. R_{act} din [Larminie2001], este definită ca V_{act} / I și valoarea folosită pentru sursa de tensiune în [EG&G2002] este E .

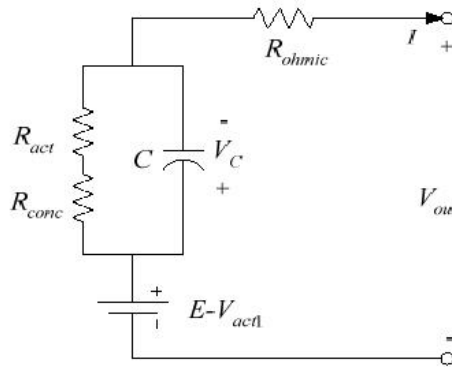


Fig. A5.2. Circuitul echivalent al efectului stratului dublu de sarcini din interiorul PEMFC.

În circuitul de mai sus, C este capacitatea echivalentă datorată efectului stratului dublu de sarcini. Fiindcă electrozii unei PEMFC sunt poroși, capacitatea C este foarte mare și poate fi de ordinul a câtorva Farad [Larminie2001], [Schneuwly 2002]. R_{act} și R_{conc} sunt rezistențele echivalente căderilor de tensiune de activare și de concentrație, care pot fi calculate în conformitate cu (A5.29) și (A5.33). Tensiunea de-a lungul capacității C este:

$$V_C = \left(I - C \cdot \frac{dV_C}{dt} \right) \cdot (R_{act} + R_{conc}) \quad (A5.34)$$

Efectul stratului dublu de sarcini este integrat în model prin folosirea lui V_C în locul lui V_{act2} și V_{conc} pentru a calcula pe V_{out} . Tensiunea de ieșire a pilei de combustie acum devine:

$$V_{out} = E - V_{act1} - V_C - V_{ohm} \quad (A5.35)$$

A5.6. Bilanțul termodinamic al energiei

Căldura netă generată de reacțiile chimice din interiorul pilei de combustie, care cauzează creșterea sau scăderea temperaturii, poate fi scrisă astfel (A5.36):

$$\dot{q}_{net} = \dot{q}_{chem} - \dot{q}_{elec} - \dot{q}_{sens+latent} - \dot{q}_{loss} \quad (A5.36)$$

unde: q_{net} = energia termică netă (J); q_{chem} = energia chimică sau căldura (J); q_{elec} = energia electrică (J); q_{loss} = pierderile de căldură (J).

Puterea disponibilă eliberată ca urmare a reacțiilor chimice este calculată cu (A5.37):

$$\dot{q}_{chem} = \dot{n}_{H_2cons} \cdot \Delta H \quad (A5.37)$$

unde: ΔH = variația de entalpie datorată reacțiilor chimice din interiorul pilei; \dot{n}_{H_2cons} = viteza de consum a H_2 (mol/s).

Cantitatea maximă disponibilă de energie electrică este (A5.38), conform [EG&G2002], [Kortum1965]:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S = \Delta G_0 - R \cdot T \cdot \ln \left[p_{H_2}^* \cdot (p_{O_2}^*)^{0.5} \right] \quad (A5.38)$$

unde: ΔG = energia liberă Gibbs (J/mol); ΔG_0 = energia liberă Gibbs în condiții standard de 1 atm și 298 K (J/mol); ΔS = variația entropiei (J/mol·K⁻¹).

Puterea electrică la ieșire este calculată ca (A5.39):

$$\dot{q}_{elec} = V_{ot} \cdot I \quad (A5.39)$$

Căldura sensibilă și latentă absorbit pe durata procesului poate fi estimată prin următoarea ecuație (A5.40), conform [Amphlett1996], [Hatsopoulos1965]:

$$\begin{aligned} \dot{q}_{sens+latent} = & (\dot{n}_{H_2,out} \cdot T - \dot{n}_{H_2,in} \cdot T_{room}) \cdot C_{H_2} + (\dot{n}_{O_2,out} \cdot T - \dot{n}_{O_2,in} \cdot T_{room}) \cdot C_{O_2} \\ & + \dot{n}_{H_2O,gen} \cdot (T - T_{room}) \cdot C_{H_2O} + \dot{n}_{H_2O,gen} \cdot H_V \end{aligned} \quad (A5.40)$$

unde: $q_{sens+latent}$ = căldura sensibilă și latentă (J); \dot{n}_i = debitul speciei i (mol/s); C_i = capacitatea calorică specifică a speciei i [J/(mol·K)]; H_V = căldura de vaporizare a apei (J/mol); T_{room} = temperatura camerei (K).

Pierderile de căldură, care în principal sunt transferate prin convecția aerului, pot fi estimate cu formula (A5.41):

$$\dot{q}_{loss} = h_{cell} \cdot (T - T_{room}) \cdot N_{cell} \cdot A_{cell} \quad (A5.41)$$

unde: h_{cell} = coeficientul de transfer a căldurii prin convecție [W/(m²·K)]. El poate fi obținut pe cale experimentală [Amphlett1996].

În regim staționar $\dot{q}_{elec} = 0$ și pila de combustie funcționează la temperatură constantă. Pe durata procesului tranzitoriu, temperatura pilei de combustie va crește sau scădea, în concordanță cu următoarea ecuație (A5.42), conform [Hatsopoulos1965].

$$M_{FC} \cdot C_{FC} \cdot \frac{dT}{dt} = \dot{q}_{net} \quad (A5.42)$$

unde: M_{FC} este masa totală a bateriei de combustie și C_{FC} este capacitatea calorică specifică totală a bateriei.