

# **Surse regenerabile de energie**

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**Surse regenerabile de energie / Mircea Gușă, Constantin**

Ionescu, Ioana Ionel, .... - București : Editura Academiei  
Oamenilor de Știință din România, 2011

Bibliogr.

Index

ISBN 978-606-8371-22-1

I. Gușă, Mircea

II. Ionescu, Constantin

III. Ionel, Ioana

621.3

**Editura Academiei Oamenilor de Știință din România**

**Adresa:** Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

**Redactor:** ing. Mihail CĂRUȚAȘU

**Documentarist:** ing. Ioan BALINT

**Coperta:** ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,  
București, 2011**

**Mircea Gusa Ioana Ionel Bogdan Popa  
Constantin Ionescu Marcel Istrate Victor Cenușă**

# **Surse regenerabile de energie**



**Editura Academiei Oamenilor de Știință din România**

**București**

**2011**



# CUPRINS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAP. 1 INTRODUCERE</b>   | <b>11</b> |
| 1.1. Prima provocare: resursele și tehnologiile energetice                            | 11        |
| 1.2. A doua provocare: impactul ecologic  | 13        |
| 1.3. Cele trei principii energetice: accesibilitate, disponibilitate, acceptabilitate | 14        |
| 1.3.1. Eficiența energetică   | 15        |
| 1.3.2. Energia eoliană  | 15        |
| 1.3.3. Biomasa  | 16        |
| 1.3.4. Energia solară   | 17        |
| 1.3.5. Hidroenergia – mari amenajări  | 18        |
| 1.3.6. Microhidrocentralele   | 19        |
| 1.3.7. Energia mareelor   | 19        |
| 1.3.8. Energia geotermală   | 19        |
| 1.3.9. Energia nucleară   | 20        |
| <br>  |           |
| <b>CAP. 2 ENERGIA SOLARĂ</b>  | <b>23</b> |
| 2.1. Potențialul energetic solar  | 23        |
| 2.2. Conversia fotoelectrică a radiației solare                                       | 26        |
| 2.2.1. Parametrii energetici ai fotocelulelor solare                                  | 28        |
| 2.2.1.1. Curentul de scurt circuit  | 28        |
| 2.2.1.2. Tensiunea de mers în gol   | 28        |
| 2.2.1.3. Puterea  | 28        |
| 2.2.1.4. Factorul de umplere  | 29        |
| 2.2.1.5. Randamentul fotocelulei  | 29        |
| 2.2.2. Pierderile de energie în conversia fotoelectrică                               | 30        |
| 2.2.2.1. Reflexia luminii la suprafața celulei  | 30        |
| 2.2.2.2. Absorbția incompletă a radiației   | 31        |
| 2.2.2.3. Generarea purtătorilor de sarcină liberi                                     | 31        |
| 2.2.2.4. Pierderi de energie datorate recombinării                                    | 31        |
| 2.2.2.5. Pierderi de tensiune   | 32        |
| 2.2.3. Tipuri de fotocelule solare  | 32        |
| 2.2.3.1. Celule solare cu siliciu   | 32        |
| 2.2.3.2. Celule solare pe bază de sulfură de cadmiu                                   | 33        |
| 2.2.3.3. Celule solare pe bază de GaAs  | 33        |
| 2.2.4. Module, panouri, câmpuri de fotocelule solare                                  | 34        |
| 2.2.5. Moduri de utilizare a conversiei fotoelectrice a radiației solare              | 35        |
| 2.2.5.1. Sistem independent   | 35        |
| 2.2.5.2. Sistem conectat la rețelele publice  | 36        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3. Conversia termică a energiei solare   | 37        |
| 2.3.1. Captatoare fără concentrarea radiației solare                                 | 38        |
| 2.3.2. Eficiența optică a captatorului plan  | 39        |
| 2.3.3. Eficiența termică a captatorului plan   | 42        |
| 2.3.4. Randamentul captatorului plan   | 44        |
| 2.3.5. Captatorul cilindric  | 46        |
| 2.3.6. Captatoare cu concentrator  | 48        |
| 2.3.6.1. Captator plan asociat cu oglinzi  | 49        |
| 2.3.6.2. Captatorul dublu parabolic  | 49        |
| 2.3.6.3. Captatorul cu concentrator sferic și receptor mobil                         | 50        |
| 2.3.6.4. Captatorul parabolic  | 51        |
| 2.3.7. Orientarea captatoarelor solare   | 53        |
| 2.3.8. Utilizarea energiei termice din sursa solară                                  | 54        |
| 2.3.8.1. Instalație de preparare a apei calde cu circulație forțată                  | 55        |
| 2.3.8.2. Instalație de încălzire cu aer cald în sistem activ                         | 55        |
| 2.4. Centrale electrice solare   | 56        |
| 2.4.1. Centrala solară cu câmp de captatoare   | 56        |
| 2.4.2. Centrale solare cu câmp de heliostate   | 58        |
| <br>   |           |
| <b>CAP. 3 ENERGIA EOLIANĂ</b>  | <b>59</b> |
| 3.1. Potențialul energetic eolian  | 59        |
| 3.2. Parametrii energetici ai captatoarelor eoliene                                  | 61        |
| 3.3. Amplasarea captatoarelor eoliene  | 64        |
| 3.4. Tipuri constructive de captatoare eoliene                                       | 65        |
| 3.4.1. Captatoare cu ax perpendicular pe direcția vântului                           | 66        |
| 3.4.2. Captatoare cu axul paralel cu direcția vântului                               | 67        |
| 3.5. Conversia energiei eoliene în alte forme de energie                             | 68        |
| 3.5.1. Producerea de curent continuu   | 68        |
| 3.5.2. Producerea de curent alternativ cu generatoare sincrone                       | 69        |
| 3.5.3. Producerea de curent alternativ cu generatoare asincrone (mașini de inducție) | 69        |
| 3.5.3.1. Modificarea pasului elicei  | 70        |
| 3.5.3.2. Utilizarea fenomenului de blocare (stall)                                   | 70        |
| <br>   |           |
| <b>CAP. 4 CONVERSIA ELECTROCHIMICĂ A ENERGIEI</b>                                    | <b>71</b> |
| 4.1. Principiul de funcționare   | 71        |
| 4.2. Tensiunea electromotoare a pilelor de combustie                                 | 72        |
| 4.3. Randamentul pilelor de combustie  | 74        |
| 4.4. Tehnologia pilelor de combustie   | 75        |
| 4.4.1. Electrozii  | 75        |
| 4.4.2. Electrolitul pilei de combustie   | 76        |
| 4.4.3. Combustibilul pilelor de combustie  | 76        |
| 4.4.4. Tipuri de pile de combustie   | 76        |
| 4.4.4.1. Pila cu membrană schimbătoare de protoni (PEMFC-                            |           |

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i>   | 77        |
| 4.4.4.2. <i>Pila alcalină</i>   | 77        |
| 4.4.4.3. <i>Pila cu acid fosforic (PAFC-Phosphorous Acide Fuel Cell)</i>  | 77        |
| 4.4.4.4. <i>Pila cu carbonați topiți (MCFC-Molten Carbonate Fuel Cell)</i>  | 77        |
| 4.4.4.5. <i>Pila cu oxid solid (SOFC-Solid Oxide Fuel Cell)</i>   | 78        |
| 4.5. Avantajele pilelor de combustie  | 78        |
| <b>CAP. 5 ALTE SURSE REGENERABILE</b>   | <b>79</b> |
| 5.1. Valorificarea energiei geotermale  | 79        |
| 5.1.1. Considerații generale privind energia geotermală   | 79        |
| 5.1.2. Valorificarea energiei geotermale de potențial termic mediu – ridicat cu cicluri motoare   | 82        |
| 5.1.2.1. <i>Centrale geotermale – electrice (C.G.T.E.) cu abur</i>  | 82        |
| 5.1.2.2. <i>Centrale geotermale – electrice cu fluide organice</i>  | 83        |
| 5.1.2.3. <i>Centrale geotermale – electrice cu ciclul combinat, apă – agent organic</i>   | 84        |
| 5.1.2.4. <i>Centrale geotermale cu ciclul combinat integrat</i>   | 87        |
| 5.1.2.5. <i>Centrale geotermale de cogenerare</i>   | 88        |
| 5.1.3. Valorificarea directă a energiei geotermale sub formă de căldură   | 91        |
| 5.1.4. Valorificarea energiei geotermale de potențial termic mediu coborât, cu ajutorul ciclurilor termodinamice inversate (pompe de căldură) | 94        |
| 5.1.4.1. <i>Aspecte generale</i>  | 94        |
| 5.1.4.2. <i>Pompe de căldură geotermale</i>   | 96        |
| 5.1.5. Impactul asupra mediului al tehnologiilor de utilizare a energiei geotermale   | 102       |
| 5.2. Microhidrocentrale   | 103       |
| 5.2.1. Valorificarea energiei râurilor  | 103       |
| 5.2.1.1. <i>Energia râurilor</i>  | 103       |
| 5.2.1.2. <i>Utilizarea potențialului unui sector de râu</i>   | 106       |
| 5.2.1.3. <i>Definirea microhidroenergiei</i>  | 107       |
| 5.2.2. Tipuri de amenajări pentru microhidrocentrale  | 108       |
| 5.2.2.1. <i>Generalități, clasificări</i>   | 108       |
| 5.2.2.2. <i>Scheme de MHC convenționale, gravitaționale</i>   | 110       |
| 5.2.2.3. <i>Scheme de MHC neconvenționale, cinetice</i>   | 113       |
| 5.2.3. Echipamente ale microhidrocentralelor  | 117       |
| 5.2.3.1. <i>Componentele principale ale unei MHC</i>  | 117       |
| 5.2.3.2. <i>Clădirea centralei</i>  | 117       |
| 5.2.3.3. <i>Turbina hidraulică</i>  | 118       |
| 5.2.3.4. <i>Echipamentele electrice auxiliare</i>   | 123       |
| 5.2.3.5. <i>Echipamentele hidromecanice auxiliare</i>   | 124       |
| 5.2.4. Evaluarea impactului asupra mediului   | 125       |
| 5.3. Utilizarea biomasei  | 127       |
| 5.3.1. Introducere  | 127       |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.3.1.1 | <i>Definirea biomasei și a bioenergiei</i>  | 127 |
| 5.3.1.2 | <i>Poziția pe piață și potențialul biomasei</i>   | 127 |
| 5.3.2.  | Principiile tehnice de funcționare a instalațiilor pe biomasă pentru<br>producerea energiei | 129 |
| 5.3.2.1 | Resursele de biomasă  | 129 |
| 5.3.2.2 | Conversia biomasei  | 132 |
| 5.3.2.3 | Producerea de energie din biomasă   | 136 |



# Capitolul 1

## INTRODUCERE

### 1.1. Prima provocare: resursele și tehnologiile energetice

De-a lungul istoriei, capacitatea omenirii de a trăi în armonie cu natura a depins de disponibilitatea energiei. Creșterea gradului de acces la sursele de energie existente în natură a fost posibilă datorită unor descoperiri științifice și tehnologice care au permis dezvoltarea societății umane prin creșterea productivității muncii și a calității vieții, chiar dacă aceasta s-a realizat cu mari deosebiri între diferitele zone ale planetei noastre.

În antichitate și Evul Mediu principala sursă naturală de energie a fost biomasa reprezentată mai ales de lemnul pădurilor, iar energia termică obținută din lemn și munca fizică a oamenilor și animalelor domestice au constituit formele de consum final a energiei. Acestea au fost suficiente sute de ani pentru nevoile societății, întrucât tehnologiile de prelucrare a materialelor de toate felurile erau și ele puțin dezvoltate.

Spre sfârșitul Evului Mediu, știința a început să fie o preocupare tot mai răspândită în Europa, iar invențiile în tehnologie, începute cu războiul de țesut mecanic, au continuat și a apărut necesitatea unor surse de energie utilizabilă mai puternice. Mașina cu vapori, a cărei inventare a fost atribuită lui James Watt, dar care a avut mulți predecesori dintre care este suficient să fie amintit Denis Papin, a permis dezvoltarea producției la scară industrială. Astfel a început epoca modernă, care, pentru energetică a însemnat atragerea în exploatare a cărbunilor, “pâinea industriei” în sec. 18 și 19.

Odată începută dezvoltarea tehnologică susținută de cercetarea științifică, ritmul acesteia a fost tot permanent în creștere și astfel continuă și astăzi. La sfârșitul sec.19 au apărut motoarele cu ardere internă – Otto și Diesel – care au înlocuit treptat mașina cu aburi, practic dispărută după primul război mondial. Aceste motoare, folosind derivate petroliere (benzină și motorină) au provocat atragerea petrolului în consumul de energie. Superioritatea acestor mașini energetice a fost atât de evidentă, iar utilizarea petrolului atât de convenabilă în raport cu cărbunii încât, în scurt timp, petrolul a devenit principala sursă naturală de energie, poziție pe care o mai păstrează și în prezent. Cele două războaie mondiale din secolul 20 au stimulat puternic motorizarea și consumul de petrol, devenit “aurul negru”.

Concomitent, progresele în studiul electricității au condus la apariția mașinilor electrice – generatoare, motoare și transformatoare – care, prin avantajele dovedite în raport cu motoarele cu ardere internă au contribuit la declanșarea electrificării și extinderea utilizării acesteia în industrie, consum casnic și public. Cererea de electricitate a crescut permanent, iar principiile dezvoltării industriale au condus la concentrarea producerii acesteia în unități mari, centralele electrice de astăzi.

Chiar dacă în ultimele decenii nu au mai apărut descoperiri care să schimbe radical tehnologiile energetice, germenii unor noi transformări există, iar avantajele acestora, intuite sau demonstrate parțial până acum, vor putea conduce la schimbări masive în viitorul mediu sau mai îndepărtat. Seria acestor progrese cuprinde reactoarele nucleare, conversia fotoelectrică a radiației solare, colectoarele solare termice, captatoarele eoliene, utilizarea energiei valurilor, a mareelor, a curenților oceanici, redescoperirea biomasei ca sursă de energie și lista rămâne deschisă.

Din epoca antică până spre mijlocul secolului 20, accesul la sursele naturale de energie a fost posibil în măsura necesităților societății, fără alte probleme decât acelea tehnologice și economice, care în realitate au fost stimulente și nu restricții. După al doilea război mondial au apărut schimbări masive pe harta politică a lumii, cea mai importantă fiind abolirea sistemelor coloniale. Situarea unor importante rezerve petroliere pe teritoriul unora dintre statele independente apărute, state slab dezvoltate atât industrial cât și social, a complicat relațiile comerciale în privința multor resurse naturale, dar a petrolului în special. Valorificarea acestei prețioase resurse în folosul dezvoltării statelor posesoare a condus inevitabil la creșterea prețului, iar conjunctura politică din Orientul Mijlociu, ajunsă la conflict armat în anii 1967 și 1973, a conștientizat pentru prima dată, la nivelul opiniei publice, ceea ce savanții au semnalat cu mult înainte - poziția periculoasă de dominantă a petrolului în piața energetică, riscurile deficiențelor în aprovizionarea cu petrol și caracterul epuizabil al resurselor de combustibili fosili.

Aceste evenimente au stimulat lansarea unor strategii energetice bazate de creșterea eficienței utilizării energiei primare în procesele de conversie și a energiei utilizabile în procesele de consum final, ale căror rezultate pozitive se pot constata în prezent, cel mai sintetic prin reducerea *intensității energetice*. De asemenea, diversificarea surselor de energie atrase în consum a devenit o orientare majoră în cercetarea științifică și dezvoltarea tehnologică. În această direcție progresele nu au fost suficient de rapid transpuse în practica comercială, ponderea altor resurse decât combustibilii fosili în consumul global fiind încă foarte redusă. Din fericire, prezicerile sumbre care au urmat embargoului petrolier (1973) cu privire la epuizarea resurselor de combustibili fosili nu s-au confirmat, astfel că utilizarea acestora a putut fi menținută și chiar sporită, ceea ce a oferit răgazul necesar dezvoltării noilor tehnologii. Rămâne însă demonstrat faptul că schimbările majore în energetică cer mult timp și mari mijloace materiale și financiare, astfel că pentru nu se produce fracturi periculoase, înlocuirea tehnologiilor deficitare trebuie anticipată cât mai prudent.

## 1.2. A doua provocare: impactul ecologic

Aparent, societatea umană a trăit permanent în pace cu natura până în ultimele decenii ale secolului 20. În realitate, agresiunea omului asupra naturii a fost permanentă, dar populația puțin numeroasă și dimensiunile reduse ale intervenției oamenilor au făcut ca echilibrul natural să se poată păstra. Dezvoltarea industrială împreună cu creșterea demografică substanțială au condus, însă, la amplificarea perturbării mediului natural până la atingerea sau chiar depășirea limitei de stabilitate, astfel că au apărut manifestări ale schimbării climei terestre prin fenomenul cunoscut ca “încălzire globală” însoțit de creșterea frecvenței și amplitudinii calamităților de tip secetă, inundații, alunecări de teren cu consecințe grave pentru populație în mai multe privințe.

Dintre toate formele de poluare a mediului natural, emisiile de gaze cu efect de seră, în special CO<sub>2</sub>, constituie cea mai acută problemă, întrucât determină creșterea temperaturii medii a atmosferei terestre cu multiple consecințe. Sursa de poluare o constituie folosirea prin ardere a combustibililor fosili, într-o măsură mult mai mare decât capacitatea naturală de reprocesare a CO<sub>2</sub> prin fotosinteză. În această privință, energetica, sectorul cel mai vizibil datorită producerii centralizate a electricității în mari centrale termoelectrice, este majoritară, dar totuși o mare parte a consumului de combustibili fosili revine industriei, transporturilor și locuințelor.

După îndelungi studii și conferințe internaționale, a putut fi acceptată, la nivelul factorilor politici pe plan mondial, legătura directă dintre arderea combustibililor și încălzirea globală, astfel încât să se fundamenteze strategii de corectare a acestei tendințe. Sectorul energetic este primul chemat să aplice aceste strategii printr-o multitudine de metode prin care, fie să se diminueze emisiile de CO<sub>2</sub> fie să fie treptat eliminate.

Reducerea emisiilor poluante este posibilă prin creșterea randamentului proceselor energetice bazate pe combustibili fosili, iar eliminarea lor prin tehnologii energetice fără carbon precum energetica nucleară și resursele regenerabile.

Totuși, abordarea individuală a problemelor ecologice, fie și privind toți poluatorii, nu este productivă, deoarece societatea umană a devenit un sistem foarte complex ca structură și interacțiuni astfel că doar tratarea sistemică poate optimiza efortul de dezvoltare în sens pozitiv, fără perturbații importante. Rezultatul trebuie să fie “dezvoltarea durabilă” iar energetica trebuie să aibă o contribuție substanțială la acest demers. Schimbarea climatică poate servi ca un catalizator al trecerii la acest model al producției și consumului durabil.

### **1.3. Cele trei principii energetice: accesibilitate, disponibilitate, acceptabilitate**

Pentru a acoperi cererea de energie în secolul 21, în contextul dezvoltării durabile WEC (Consiliul Mondial al Energiei) a formulat trei principii care ar trebui avute în vedere la stabilirea politicilor energetice [1].

*Accesibilitatea* constă în asigurarea unor servicii energetice moderne și fiabile, plătite corespunzător. Cea mai bună cale pentru a asigura accesul populației în creștere la piața de energie, atât cât are nevoie, este accelerarea creșterii economice și urmărirea unei mai echitabile distribuții a veniturilor. Este necesar un tarif pentru energie care să reflecte costurile, inclusiv costurile externe, precum emisiile sau managementul deșeurilor, pentru a garanta investițiile și a încuraja eficiența energetică ca și tehnologiile adecvate pentru mediu. Un astfel de tarif poate fi inaccesibil pentru mulți oameni. Totodată, un tarif subvenționat la un nivel acceptabil social nu va atrage investiții suficiente acționând, pe termen lung, împotriva intereselor celor care au nevoie de infrastructură energetică. Poate fi necesar, în unele situații, de a subvenționa tehnologiile energetice și a livra energie, pentru o perioadă de timp, fără creșterea prețurilor sau menținându-le la minim. Costurile variabile pentru întreținere și dezvoltare trebuie să se reflecte în prețul energiei, dar costuri scăzute pot fi folosite diferențiat, după circumstanțe.

*Disponibilitatea* include atât calitatea cât și continuitatea energiei livrate. Continuitatea în alimentare, mai ales a electricității este vitală în secolul 21. Dacă sursele cu întreruperi de scurtă durată pot fi acceptabile în anumite cazuri, atât timp cât condițiile sunt cunoscute și înțelese de consumatori, întreruperile neașteptate sunt foarte costisitoare pentru societate și nu pot fi ignorate. Disponibilitatea energetică necesită un portofoliu energetic consistent împreună cu mijloacele de acces la noi surse de energie. Toate sursele de energie vor fi necesare în următorii 50 ani, nici una nu trebuie exclusă arbitrar.

*Acceptabilitatea* se adresează problemelor de mediu și atitudini publice. Poluarea locală afectează miliarde de oameni, mai ales în țările dezvoltate. Schimbarea climatică globală a devenit un fapt important. Conștiente de acești doi factori, țările în curs de dezvoltare sunt preocupate atât de impactul potențial al măsurilor legate de schimbarea climatică asupra economiilor proprii cât și de nivelul în creștere al emisiilor consumatorilor casnici care creează poluare locală (urbană) și regională (de ex. ploii acide cu impact asupra recoltelor și pădurilor). În sectorul energetic, noile tehnologii au redus deja emisiile și mențin previziunile pentru ameliorare în viitor. Tehnologiile ecologice trebuie dezvoltate, difuzate și dezvoltate în toate zonele lumii. Rezultă nevoia asigurării capacităților locale pentru utilizarea acestor tehnologii de către populație. Sursele de energie trebuie produse și folosite astfel încât să protejeze mediul local și global acum și în viitor.

Evaluarea componentelor programelor de creștere a eficienței energetice și a atragerii surselor de energie curată prin prisma celor trei principii, din punctul de vedere al reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră [1] este prezentată în continuare.

### 1.3.1. Eficiența energetică

*Acceptabilitatea: este o parte importantă în orice pachet de măsuri, dar este mai greu decât se recunoaște de a obține reduceri reale ale emisiilor.*

Programele de creștere a eficienței energetice sunt o cale acceptabilă pentru reducerea emisiilor. Cele mai bune rezultate provin din sectorul industrial. Este nevoie de o mai bună colectare a datelor. Eficiența energetică nu este cea mai ușoară opțiune; de aceea ea nu are cea mai mare acceptabilitate.

*Disponibilitatea: măsurile pentru eficiență energetică nu au un impact practic semnificativ privind disponibilitatea.*

Pe de o parte, eficiența energetică reală poate ajuta la reducerea cererii pe piața energiei. Pe de altă parte, nu există o corelație strânsă între intensitatea energetică și cererea de energie. Este dificil de a afirma că programele de eficiență energetică au redus semnificativ emisiile; mai mult acestea pot introduce unele incertitudini în climatul investițional.

*Accesibilitatea: de regulă, ajută la reducerea costurilor serviciilor energetice.*

Eficiența energetică este foarte apreciată în privința acceptabilității. Chiar dacă nu conduce totdeauna la o reducere absolută a consumului de energie, ameliorează accesul la serviciile energetice prin reducerea costurilor reale. Pot fi și excepții, de exemplu interzicerea lămpilor ieftine, dar inefficiente, poate crea probleme de acces la serviciul de iluminat pentru persoanele sărace. Aceste cazuri pot fi relativ ușor evitate, de exemplu prin subvenționarea variantei mai scumpe dar mai eficiente.

### 1.3.2. Energia eoliană

*Acceptabilitatea: acceptabilitatea depinde, din punct de vedere ecologic, de gradul de utilizare în raport cu condițiile locale.*

Energia eoliană are un avantaj clar în combaterea schimbării climatice. Totuși, nu este lipsită de impact ecologic (zgomot, agresiune vizuală, influența asupra păsărilor), care diferă în funcție de zonă. Cele mai bune amplasamente sunt primele exploatate astfel că extinderea a energiei eoliene va deveni mai scumpă; de exemplu locațiile îndepărtate vor necesita noi linii de transport a electricității, cu impact la mediu. Aceasta limitează, pe termen lung, potențialul vântului.

*Disponibilitatea: energia eoliană aduce o contribuție însemnată privind disponibilitatea, dar odată ce crește gradul de acces, problemele practice se complică.*

Energia eoliană este regenerabilă, disponibilă ca sursă indigenă în țările dezvoltate ca și în acelea în curs de dezvoltare. Resursa globală este imensă, de mai multe ori mai mare decât cererea globală pentru electricitate.

*Dezavantajele* sunt la fel de clare: energia eoliană este variabilă și intermitentă. Producția centralelor eoliene nu este corelată cu cererea de electricitate. Sistemele eoliene trebuieacompaniate de centrale convenționale de rezervă sau de capacități de stocare foarte costisitoare, în prezent. Se recunoaște, în general, că energia eoliană începe să pună probleme practice serioase dacă ponderea ei depășește cca. 20%. Dacă energia eoliană poate aduce o contribuție la disponibilitate, aceasta este variabilă și limitată.

*Accesibilitatea: energia eoliană este în general mai scumpă decât sursele convenționale, dar prețurile pot scădea. Există însă controverse.*

Energia eoliană este cea mai ieftină sursă regenerabilă în multe țări. Este mai accesibilă decât alte regenerabile, astfel că poate fi cea mai bună cale de acces la energie curată.

Pe de altă parte, energia eoliană este rareori viabilă fără susținere guvernamentală pentru că este mai scumpă decât energia convențională. Dependența de amplasament face dificil calculul costurilor viitoare pentru că, deși dezvoltarea tehnologică reduce costurile, amplasamentele disponibile devin mai costisitoare. Probabil că energia eoliană va avea doar o contribuție moderată la accesibilitatea energetică.

### 1.3.3. Biomasa

*Acceptabilitatea: calculul acceptabilității este complex și depinde de condiții specifice, dar adesea biomasa este mai puțin acceptabilă decât ar părea la prima vedere.*

Sunt câteva semne de întrebare cu privire la acceptabilitatea biomasei și a biocombustibililor. Rezultatele analizei asupra ciclului vieții sunt ambigui, pentru că nu este întotdeauna clar dacă există o reducere netă a emisiilor de gaze cu efect de seră, iar atunci când reducerea este demonstrată, ea este mult mai mică decât reducerea nominală. De exemplu, etanolul produs din cereale reduce emisiile cu numai 12% față de folosirea benzinei. Biodiesel-ul din soia produce o reducere mai mare, cu 41%. Reducerea emisiilor depinde de partea din recolte care se va folosi, unde va fi obținută, cum este procesată etc. Biomasa poate crea și probleme de mediu, de exemplu în legătură cu utilizarea terenurilor. Dacă în SUA a zecea parte din vehicule ar fi alimentată cu etanol din cereale produse intern, ar trebui folosite 1/3 din fermele existente. Ar urma creșterea prețurilor cerealelor și probleme sociale datorită scumpirii alimentelor. Trebuie făcută deosebirea între biomasa din cereale și aceea celulozică (din lemn). Biomasa celulozică arde relativ ușor, dar

este greu de transformat în combustibil lichid. Biomasa din cereale este mai ușor de transformat în lichide, dar intră în competiție cu folosința agricolă. În practică aceasta este adesea rezultatul unei agriculturi intensive, cu fertilizatori și alte resurse. Materialul celulozic cere mai puține resurse, dar este mai puțin dens în sens energetic pentru că necesită cantități mai mari de energie pentru transport și prelucrare. Dacă biomasa este un reziduu agricol sau forestier, utilizarea ei ar deveni mult mai acceptabilă pentru mediu. Pe scurt, calculul acceptabilității biomasei este foarte complex și dependent de situație.

*Disponibilitatea: biomasa poate aduce o contribuție semnificativă în cele mai multe zone ale lumii și se poate folosi la obținerea combustibililor pentru motoare.*

Biomasa are mare disponibilitate în cele mai multe țări. Potențialul global este enorm, estimat la cca. 100 EJ anual, respectiv cca. 20% din consumul global de energie. Biomasa este foarte flexibilă, putând fi folosită pentru producerea combustibililor solizi sau gazoși. Transformată în biocombustibil, poate fi folosită nu numai pentru producerea electricității, dar și în transportul rutier, substituind petrolul.

*Accesibilitatea: costul biomasei variază, dar există un potențial important la costuri relativ scăzute.*

Biomasa are și o bună accesibilitate, cel puțin în principiu, pentru că este atât de larg disponibilă, mai ales în țările în curs de dezvoltare. Este greu de indicat costuri tipice, deoarece acestea variază în funcție de condițiile locale. Valori tipice pot fi 3-12 c/kWh pentru electricitate sau 8-25 USD/GJ combustibil lichid. La limita inferioară a acestor prețuri biomasa și biocombustibilii sunt foarte competitivi, dar nu și pentru limita superioară. Totuși, datorită distorsiunii prețurilor din agricultură astfel de calcule sunt incerte. Mai mult, deoarece țările în curs de dezvoltare se confruntă cu probleme de acceptabilitate (de exemplu competiția cu utilizarea agricolă a terenurilor), în practică accesibilitatea poate fi mai redusă decât apare la prima vedere.

#### **1.3.4. Energia solară**

*Acceptabilitatea: o sursă în general acceptabilă, deși în prezent este folosită la scară redusă. Adesea este o opțiune bună pentru zone izolate.*

Energia solară are un mare grad de acceptabilitate. Datorită diversității de tehnologii existente ea poate fi folosită în multe locații. Singura problemă semnificativă este stadiul incipient de dezvoltare. Multe surse de energie, perfect acceptabile la o scară mică de utilizare, au un mult mai mare impact dacă se dezvoltă masiv (energia eoliană și hidroenergia pot fi exemple a creșterii preocupărilor pentru aspectele de mediu). Deoarece radiația solară, ca și alte surse regenerabile, are densitate energetică redusă, vor fi necesare suprafețe mari de teren. Rămâne de văzut dacă acestea vor putea fi folosite într-un mod acceptabil din punct de vedere ecologic.

*Disponibilitatea: o sursă imensă, deși disponibilitatea depinde de regiune.*

Potențialul tehnic al energiei solare este imens de 3000 ori consumul actual de energie. Multe țări în curs de dezvoltare dispun de o parte însemnată a acestui potențial. Energia solară poate fi exploatată în mai multe moduri: în formă concentrată pentru obținerea căldurii necesară generării electricității; pentru conversie directă în electricitate folosind efectul fotoelectric; în scheme pasive care folosesc direct condițiile climatice. Energia solară poate fi abordată fie la scară locală foarte redusă, fie în instalații mari. Un obstacol îl reprezintă faptul că sursa nu este disponibilă uniform. De aceea energia solară ar trebui inclusă într-un sistem flexibil împreună cu alte surse sau sisteme de stocare, ceea ce adaugă noi costuri.

*Accesibilitate: deocamdată este o opțiune costisitoare, dar costurile pot scădea.*

În prezent, energia solară este puțin accesibilă. Deși costurile sunt în scădere, rămân mult mai mari decât ale altor surse, fiind astfel o barieră în calea accesării. Fotocelulele produc la un preț de 25-76 c/kWh, mult peste costul actual al electricității. Energia solară concentrată poate fi mai ieftină (18c/kWh în California), deși tot semnificativ mai scumpă decât electricitatea convențională. Utilizarea radiației solare în sisteme casnice pasive poate fi mai eficace în ceea ce privește costurile. Randamentul fotocelulelor a crescut rapid în ultimii ani, iar costurile au scăzut, iar tendința se menține.

Pot exista și situații, mai ales în țările în curs de dezvoltare, unde costurile pot fi favorabile în raport cu alte surse, de exemplu există mari resurse solare, dar nu există rețele electrice. De exemplu, în Bangladesh două din trei locuințe nu sunt racordate la rețea. 80000 case au un panou solar care produce 50 W. Deși soluția, care include baterii pentru stocare, nu este ieftină, este o opțiune valabilă.

### **1.3.5. Hidroenergia – mari amenajări**

*Acceptabilitatea: acceptabilitatea depinde mult de condițiile locale.*

Acceptabilitatea amenajărilor hidroenergetice mari depinde de o serie de condiții. În multe țări dezvoltate, potențialul acceptabil pentru mediu a fost deja exploatat mai mult sau mai puțin. Există probleme majore privind impactul asupra vieții acvatice și, în unele cazuri întrebări despre emisia gazelor cu efect de seră de la vegetația în putrefacție reținută de baraje. În țările în curs de dezvoltare, mai există un potențial important pentru mari amenajări hidroelectrice, deși pe lângă impactul ecologic direct pot fi probleme sociale datorate mutării populației din arealul lacului de acumulare.

*Disponibilitatea: o resursă larg răspândită, dar limitată.*

Hidroenergia este sursa regenerabilă cea mai importantă, producând cca. 17% din totalul electricității la nivel mondial. Producția ar putea crește de 2-3 ori. Astfel se aduce o mare contribuție la disponibilitate, care însă nu va crește semnificativ pentru că și consumul global crește. Riscul anilor secetoși limitează,



de asemenea, creșterea disponibilității. Unele state precum Brazilia, Portugalia și Suedia s-au confruntat recent cu această problemă.

*Accesibilitatea: în general, o resursă ieftină, deși nu este o opțiune pentru toate țările.*

Hydroenergia este o sursă relativ ieftină (amenajările existente produc la un preț de cca. 2c/kWh, deși locația are o mare influență). Totuși, datorită problemelor de acceptabilitate și disponibilitate menționate și a faptului că multe țări nu dispun de un relief adecvat amenajărilor hidroelectrice, nu poate avea o contribuție majoră la reducerea viitoare a emisiilor.

### 1.3.6. Microhidrocentrale

*Acceptabilitatea: în general, o sursă foarte acceptabilă.*

Micile amenajări hidroenergetice sunt în general acceptabile și constituie o parte a programelor privind schimbarea climatică în toată lumea. Aceasta nu înseamnă că aceste amenajări sunt lipsite de impact la mediu. Poate fi necesară o capacitate mare de transport a electricității din amplasamente foarte dispersate.

*Disponibilitatea: o sursă relativ mică, dar care poate aduce o contribuție utilă în locurile unde este disponibilă.*

Deși sunt atractive, micro-hidrocentralele au doar o mică contribuție la totalul producției din surse hidro (sub 5%), astfel încât contribuția la disponibilitate rămâne limitată. Totuși, ele reprezintă o sursă economică și practică pentru zone izolate, resursele fiind dispersate, iar dimensiunea amenajării este elastică.

*Accesibilitatea: o sursă utilă, mai ales pentru mărirea accesibilității în zone izolate.*

Acolo unde este disponibilă, micro-resursa hidro poate avea o contribuție importantă privind accesibilitatea.

### 1.3.7. Energia mareelor

*Acceptabilitatea: există numai puține locuri potrivite; fiecare trebuie evaluat distinct în privința acceptabilității.*

*Disponibilitatea: nu este o resursă foarte răspândită, dar acolo unde este disponibilă este fiabilă și predictibilă.*

*Accesibilitatea: în locurile potrivite costurile pot fi acceptabile, dar în cele mai multe țări potențialul este limitat.*

### 1.3.8. Energia geotermală

*Acceptabilitatea: deplin acceptabilă, în general, deși extinderea ar necesita utilizarea unor amplasamente mai puțin favorabile.*

*Disponibilitatea: o resursă foarte utilă, dar numai acolo unde este disponibilă.*

*Accesibilitatea: costurile sunt, în general acceptabile, dar resursa nu este disponibilă în toate țările.*

Energia geotermală poate fi exploatată în multe feluri. Cel mai simplu mod, deși posibil numai acolo unde condițiile geologice sunt favorabile, este folosirea directă a apei izvoarelor fierbinți. Aceasta este o resursă importantă în țări precum Noua Zeelandă și Islanda. Alte abordări includ “roci fierbinți și uscate”, un strat de roci subterane fierbinți. Prin pomparea apei și extragerea aburilor prin sonde separate se poate genera apoi electricitate sau se alimentează sisteme de încălzire. În condiții prielnice, costul energiei geotermale este relativ scăzut, în jur de 2c/kWh (costul electricității în SUA fiind de 5-6 c/kWh). Potențialul este mare (peste 1000 TWh/an), dar nu este nelimitat. Pot exista probleme de mediu și de sustenabilitate (de exemplu dacă căldura este extrasă mai rapid decât se regenerează). Altă opțiune este folosirea pompelor de căldură pentru a transfera căldura din sol pentru utilizare rezidențială sau industrială.

### 1.3.9. Energia nucleară

*Acceptabilitatea: energia nucleară este controversată, dar potențialul acesteia în privința reducerii emisiilor este imens. Aceia care refuză această opțiune trebuie să fie siguri că dispun de surse alternative.*

Problema cheie pentru energetica nucleară este acceptabilitatea. Nu există un consens global asupra acestui aspect. Mulți afirmă că este capabilă să acopere cererea de energie și nefiind o resursă fosilă, nu emite gaze cu efect de seră astfel că este cea mai acceptabilă sursă. Oponenții accentuează problemele economice, de securitate, de management al deșeurilor radioactive, de proliferare, inclusiv vulnerabilitatea la atacuri teroriste. Toate guvernele trebuie să ia serios în considerare filiera nucleară în vederea reducerii emisiilor în atmosferă, dar și să crească acceptabilitatea prin ameliorarea aspectelor negative.

*Disponibilitatea: poate aduce o contribuție majoră la securitatea și fiabilitatea energetică.*

Centralele nucleare sunt fiabile și, în mod normal, nu depind de fenomene naturale particulare. Combustibilul poate fi stocat lesne. Uraniul este o sursă de energie foarte concentrată în raport cu combustibilii. Dezvoltarea tehnologică conduce la creșterea eficienței folosirii combustibilului și deschide calea ciclurilor de combustibil alternativ (toriu). Există limitări: de exemplu rezervele sigure de uraniu sunt suficiente, pentru modul de utilizare actual, pentru mai puțin de un secol. Totuși, disponibilitatea poate fi limitată mai ales de acceptul publicului, datorită legăturii cu folosința nucleară.

*Accesibilitatea: datorită costurilor, poate să nu fie o opțiune potrivită pentru toate țările.*

Aspectele economice ale energiei nucleare sunt dezbătute aprins. Unii consideră că este o opțiune scumpă (SUA, Anglia). Piața liberă este reținută în a investi fără suport guvernamental, datorită riscurilor. Alte țări, care au optat pentru nuclear, apreciază prețul redus al electricității. Alte țări, cu mari creșteri ale cererii de energie electrică (China, India) folosesc activ această opțiune. Este clar că investiția în centrale nucleare este mare, cel puțin 1500 USD/kW, față de 1000 USD/kW pentru termocentrale pe cărbuni sau 500 USD/kW pentru termocentrale pe gaze naturale. De asemenea, până când gabaritul centralelor nucleare nu va deveni mai elastic, este foarte greu ca acestea să fie integrate în sistemele energetice mici. Unele variante de reactoare ar fi viabile la dimensiuni mai mici (PBMR-pebble bed modular reactor), dar chiar și reactoarele mici necesită tehnologii complexe ca și măsuri de securitate și întreținere, care le fac deocamdată inaccesibile tuturor țărilor.

În concluzie la aceste analize, se poate afirma doar că nu există soluții miraculoase pentru acoperirea cererii de energie fără a împieta asupra programelor de dezvoltare, a accesului întregii populații și mai ales fără a dăuna mediului natural. Toate variantele au părți pozitive și negative, depinzând de numeroși factori, iar alegerea optimă poate fi diferită de la o zonă la alta. Totuși, cerința cea mai importantă recunoscută în prezent este conservarea mediului natural.