Ion V. ION



ENERGIE DIN SURSE REGENERABILE

EDITURA FUNDAŢIEI UNIVERSITARE
„*Dunărea de Jos*”, Galaţi, 2017

Ion V. ION

ENERGIE DIN SURSE REGENERABILE



EDITURA FUNDAŢIEI UNIVERSITARE
„*Dunărea de Jos*”, Galaţi, 2017

UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAŢI
FACULTATEA DE INGINERIE

Editura Fundaţiei Universitare „Dunărea de Jos” din Galaţi
este acreditată de CNCSIS

Referenţi ştiinţifici: Prof.univ.dr.ing. Florin POPESCU
Prof.univ.dr.ing. Viorel POPA

© Toate drepturile asupra acestei lucrări aparţin autorului.
Reproducerea integrală sau parţială, prin orice mijloc mecanic sau electronic, fără acordul scris al autorului, este interzisă.

©Editura Fundaţiei Universitare **www.editura.ugal.ro**
“Dunărea de Jos”, Galaţi **editura@ugal.ro**
ISBN 978-973-627-595-1
Director editură: Prof. univ. emerit dr. Tudose COSMA

Cuprins

1. Introducere
   1.1. Stadiul actual al producerii şi utilizării energiei
   1.2. Sursele de energie regenerabilă
   1.3. Tehnologii pentru conversia energiei primare regenerabile
   1.4. Utilizări ale resurselor regenerabile de energie
   Bibliografie
2. Energia solară
   2.1. Radiaţia solară
      2.1.1. Constanta solară
      2.1.2. Distribuţia spectrală a radiaţiei solare
      2.1.3. Variaţia radiaţiei extraterestre
      2.1.4. Caracteristicile radiaţiei solare la nivelul solului
      2.1.5. Raportul dintre radiaţia incidentă pe o suprafaţă înclinată şi una orizontală
   2.2. Măsurarea iradianţei solare
   2.3. Baze de date cu iradiaţia solară
   2.4. Estimarea radiaţiei solare
   2.5. Utilizări ale energiei solare
   2.6. Colectoare solare
      2.6.1. Tipuri de colectoare solare
      2.6.2. Colectorul cu tuburi vidate
      2.6.3. Colectoare cu concentrarea radiaţiei şi sisteme de urmărire
   2.7. Analiza termică a colectoarelor solare
      2.7.1. Performanţele unui colector solar plan cu lichid
      2.7.2. Factorul de eficienţă a colectorului
      2.7.3. Factorul de extragere a căldurii
      2.7.4. Performanţele unui colector solar cu concentrarea radiaţiei
   2.8. Aplicaţii ale colectoarelor solare
      2.8.1. Încălzirea şi răcirea cu energie solară
      2.8.2. Distilarea apei
      2.8.3. Instalaţie solară de pompare a apei
      2.8.4. Centrale electrice solare
   2.9. Conversia directă a energiei solare în energie electrică
      2.9.1. Generatoarelor termoelectrice
      2.9.2. Generatoare fotovoltaice
   2.10. Turnul solar
   Bibliografie

3. Energia eoliană
3.1. Potențialul eolian
3.2. Energia conținută de vânt
3.3. Conversia energiei în palele turbinei eoliene
3.4. Raportul vitezelor la vârful palei
3.5. Randamentul convertoarelor eoliene
3.6. Tipuri de turbine eoliene
3.6.1. Turbine eoliene cu ax orizontal
3.6.2. Turbine eoliene cu ax vertical
3.7. Conversia energiei și caracteristica de putere
3.8. Utilizări ale turbinelor eoliene
3.8.1. Parcurile eoliene
3.8.2. Turbine independente
Bibliografie
4. Energie din biomasă
4.1. Introducere
4.2. Resursele de biomasă
4.2.1. Potenţial şi disponibilitate
4.3. Conversia biomasei în energie și combustibili
4.3.1. Procese termochimice de conversie a biomasei
4.3.1.1. Arderea biomasei
4.3.1.2. Gazeificarea biomasei
4.3.1.3. Estimarea compoziţiei gazului rezultat din gazeificarea biomasei
4.3.1.4. Piroliza biomasei
4.3.2. Procese biochimice de conversie a biomasei
4.3.3. Estimarea compoziției și producției de biogaz
4.4. Biocombustibili pentru transporturi
Bibliografie
5. Energia geotermală
5.1. Introducere
5.2. Zăcăminte geotermale
5.4.1. Centrale electrice geotermale cu abur saturat uscat
5.4.2. Utilizarea aburului umed cu o separare
5.4.3. Utilizarea aburului saturat umed cu două separări
5.4.4. Centrale electrice cu fluid secundar
5.4.5. Separatoare bifazice rotative
5.5. Caracteristicile sistemelor energetice geotermale
Bibliografie
6. Energia hidraulică
6.1. Introducere
6.2. Tipuri de amenajări hidroenergetice

6.2.1. Centralele pe râu
6.2.2. Centrale hidroenergetice cu baraj şi lac de acumulare
6.2.3. Centrale hidroenergetice cu acumulare prin pompare
6.2.4. Centrale hidroenergetice oceanice
6.3. Clasificarea centralele hidroelectrice după capacitate
6.4. Componentele unei centrale hidroelectrice
6.5. Valorificarea energiei hidraulice
6.6. Turbine hidraulice
6.7. Selecția tipului de turbină hidraulică
Bibliografie

INTRODUCERE

Cuprins

1.1. Stadiul actual al producerii şi utilizării energiei 2
1.2. Sursele de energie regenerabilă 4
1.3. Tehnologii pentru conversia energiei primare regenerabile 6
1.4. Utilizări ale resurselor regenerabile de energie 7
Bibliografie 9

şi utilizarea eficientă a energiei permite surselor de energie mai curate şi mai durabile să primească locul bine-meritat de lideri pe piaţa energiei.

Sistemele energetice regenerabile folosesc resurse care sunt constant înlocuite şi sunt mai puţin poluante. Aproape toate sursele de energie regenerabilă: energia solară, energia hidraulică, energia din biomasă şi energia eoliană îşi au originea în activitatea Soarelui. Energia geotermală reprezintă căldura generată şi stocată în straturile Pământului.

Energia regenerabila este o sursă care are potenţialul de a oferi securitate completă în alimentarea cu energie. Sursele de energie regenerabilă sunt virtual neîntreruptibile şi au o disponibilitate infinită datorita răspândirii largi a tehnologiilor complementare, încadrându-se astfel foarte bine în politica de diversificare a alimentării cu energie.

Resursele regenerabile sunt recunoscute ca o bună modalitate de protejare a economiei împotriva fluctuaţiilor de preţ şi împotriva viitoarelor costuri de mediu. Tehnologiile bazate pe surse regenerabile sunt nepoluante, au zero emisii de gaze cu efect de sera, nu produc deşeuri nucleare si astfel se încadrează bine în politicile de protejare a mediului, construind un mediu mai bun şi o dezvoltare durabilă.

În funcţie de etapele de conversie şi utilizare, energia are următoarele forme [1, 2] (Fig. 1.1):

- energie primară, care poate fi finită sau regenerabilă. Este energia recuperată din natură;
- energie secundară, care este definită ca forma de energie obţinută prin conversia energiei primare şi care poate fi folosită într-o gamă largă de aplicaţii (ex.: energia electrică, benzina, mangalul, cărbunele sortat şi de calitate superioară, lemnele de foc);
- energia finală, adică energia obţinută prin conversia energiei secundare într-un motor, cazan, sobă, calculator, bec de iluminat;
- energie utilă este energia obţinută prin conversia energiei finale. Este energia efectiv înmagazinată într-un produs sau utilizată pentru un anumit serviciu.

Conversia energiei dintr-o formă în alta are loc întotdeauna cu pierderi, iar transportul de la locul de producere la consumator este însoţit întotdeauna de pierderi de transmitere.

Sursele de energie primară pot fi grupate astfel:

- surse convenţionale sau clasice (care s-au impus prin folosire îndelungată):
    - combustibili fosili;
    - deşeuri combustibile.
- surse neconvenţionale (care nu au o folosire îndelungată):
    - energia nucleară/uraniu;
    - energie primară regenerabilă:
        - energia solară;
        - energia geotermală;
        - energia dată de mişcarea planetelor.

Înainte de Revoluţia industrială, energia regenerabilă era singura sursă de energie disponibilă: lemnele de foc pentru furnizarea de căldură; biomasa pentru alimente, pentru cai şi alte animale folosite la tractarea vehiculelor de transport; vântul pentru propulsarea ambarcaţiunilor de navigaţie; puterea vântului şi a apei pentru acţionarea morilor şi gaterelor.

Debutul industrializării a provocat o creştere extrem de rapidă a cererii de energie şi o lipsă severă de lemne de foc în multe ţări. Combustibilii fosili au devenit în curând sursa dominantă de energie primară. Disponibilitatea abundentă şi constantă a combustibililor fosili şi în special costul lor scăzut a satisfăcut cererea suplimentară de energie din ce în ce mai mare (căldură, energie electrică şi carburanţi pentru propulsie în sectorul transporturilor).

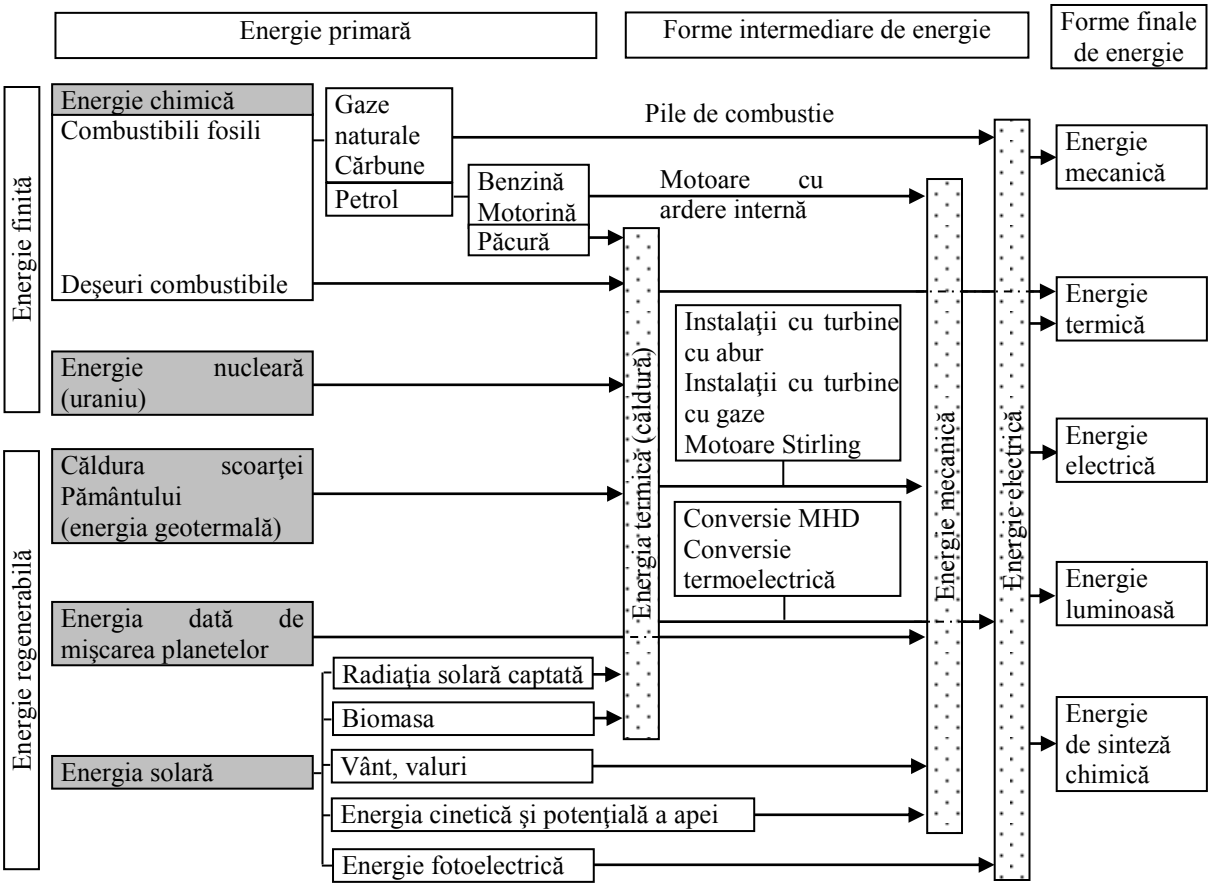


Fig. 1.1. Principalele forme de energie.

1.2. Sursele de energie regenerabilă

Aproximativ 30% din radiaţia solară primită de Pământ este reflectată înapoi în spaţiu de către nori şi suprafaţa Pământului şi circa 70% este absorbită, ea regăsindu-se în căldura aerului şi a apei (47%), în căldura latentă de evaporare a apei din mări, oceane, râuri şi lacuri (23%) şi în biomasă, înmagazinată în urma procesului de fotosinteză a plantelor (0,5 %) [1, 2, 3]. Căldura absorbită de aer şi apă este remisă în cele din urmă spaţiului sub forma radiaţiei infraroşii (căldurii). Căldura latentă de evaporare a apei este eliberată şi ea prin condensare.

A doua sursă de energie regenerabilă, energia geotermală, produce un flux de energie comparativ mic ($35 \cdot 10^{12}$ Wan/an) dinspre litosferă spre atmosferă şi ocean, prin conducţia căldurii. Din această energie, doar 1% se regăseşte în vulcani sau câmpuri geotermale active.

Mişcarea planetelor din sistemul solar, cea de a treia sursă de energie regenerabilă reprezintă $3 \cdot 10^{12}$ Wan/an disipaţi prin maree în oceane.

Fluxurile de energie generate de radiaţia solară (fluxuri naturale de energie „secundară") şi de celelalte două surse în mediul înconjurător al omului sunt mult mai mici decât fluxurile rezultate prin transferul direct de energie de la lumina solară. Energia potenţială a cursurilor de apă continentale reprezintă $5 \cdot 10^{12}$ Wan/an, vânturile, valurile şi energia cinetică a curenţilor oceanici reprezintă circa $370 \cdot 10^{12}$ Wan/an, iar energia solară absorbită de biomasă prin fotosinteză este de $100 \cdot 10^{12}$ Wan/an [1].

Cele mai importante fluxuri naturale de energie din mediul înconjurător direct al omului ce pot fi exploatate sunt: radiaţia solară absorbită la nivelul suprafeţei terestre ($25000 \cdot 10^{12}$ Wan/an) şi vânturile care transportă aer fierbinte şi umed către poli şi aer rece şi uscat către ecuator cu o energie mecanică de $350 \cdot 10^{12}$ Wan/an [1].

O imagine sugestivă a fluxurilor de energie regenerabilă în atmosferă, hidrosferă, litosferă şi biosferă este dată în Fig. 1.2.

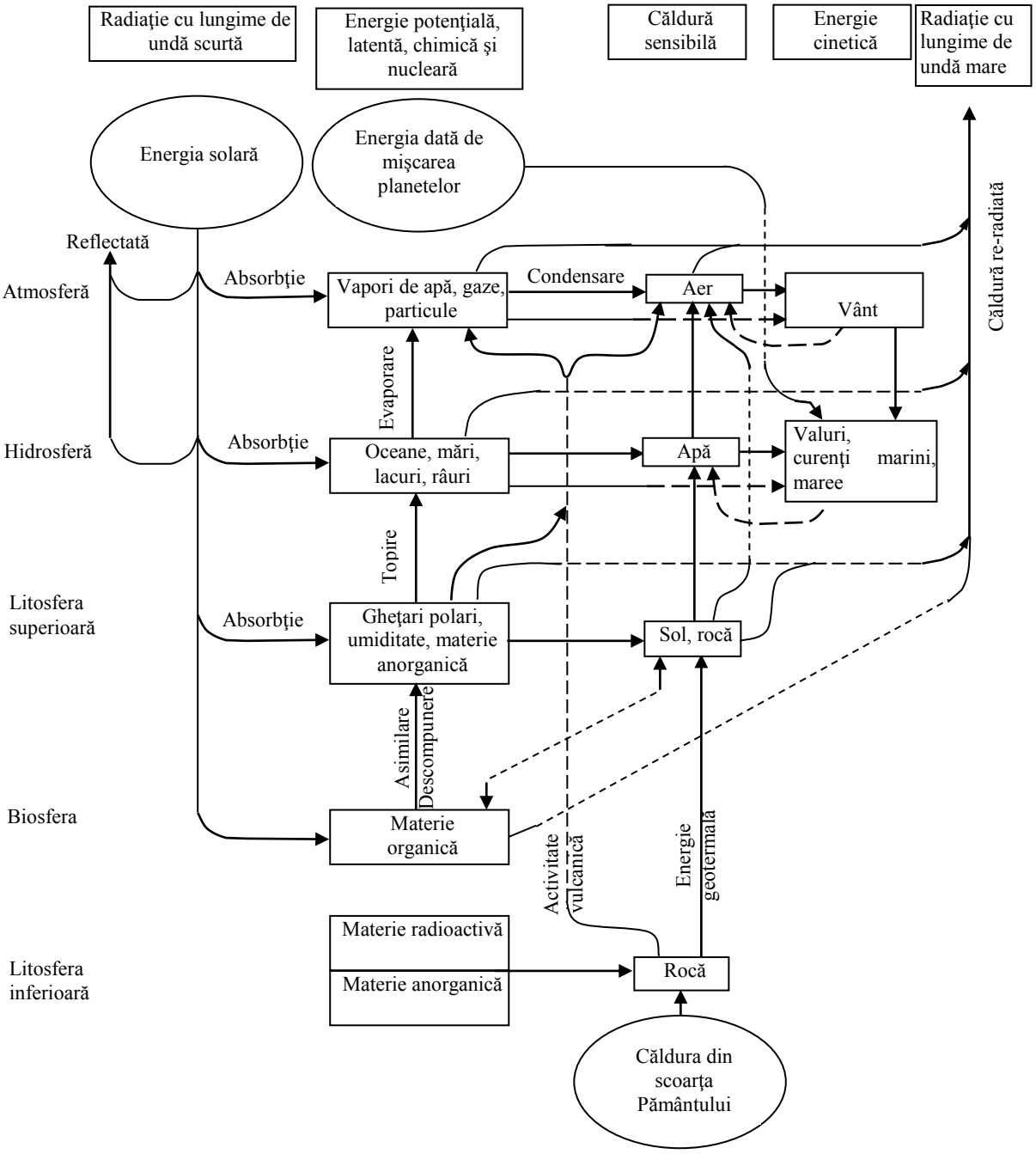


Fig. 1.2. Originea fluxurilor de energie regenerabilă [1].

În evaluarea resurselor de energie regenerabilă se utilizează următoarele definiţii [3]:
- potenţialul teoretic: potenţialul total disponibil în natură, încorporat în toate tipurile de procese naturale şi cicluri în cadrul biosferei;

- potențialul tehnic: o parte restricționată a potențialului teoretic care ar putea fi, cel puțin în principiu, folosite de omenire cu tehnologii energetice adecvate pentru a-și satisface cererea de energie (fără a se acorda atenție costului tehnologiilor relevante);
- potențialul economic: o parte restrânsă a potențialului tehnic care poate fi realizată din punct de vedere economic în concurență cu utilizarea altor surse de energie, cum ar fi combustibilii fosili.

Energia regenerabilă contribuie în prezent doar în mică parte la satisfacerea cererii totale de energie. Partea majoră a cererii actuale de energie este satisfăcută de energia fosilă - cărbune, petrol și gaze naturale - datorită disponibilității lor ample, stabile și relativ ieftine, depozitării lor ușoare și distribuției ușoare.

Potențialul tehnic al energiei regenerabile ar permite mărirea contribuției la cererea tot mai mare pe plan mondial de energie, dar, în multe cazuri, costul, în special costul de investiție al tehnologiilor energetice relevante, este semnificativ mai mare decât costul actual pentru furnizarea de energie electrică, termică și combustibili pentru sectorul transporturilor prin utilizarea combustibililor fosili.

De exemplu, producerea de energie în centralele fotovoltaice este împiedicată de disponibilitatea mai mult sau mai puțin fluctuantă zilnică și sezonieră. Pentru a compensa în continuare aceste restricții și fluctuații, trebuie furnizate tehnologii energetice mai puțin costisitoare, fie pentru a stoca energia electrică, fie pentru a umple golurile de putere prin intermediul altor sisteme care pot fi pornite și oprite suficient de repede.

În ceea ce privește biomasa, o utilizare ulterioară a acesteia în mare măsură ca sursă de energie (de exemplu pentru a produce biocombustibili pentru sectorul transporturi) ar putea fi strict restricționată de cererea tot mai mare de biomasă primară pentru a furniza alimente suficiente populației mondiale în continuă creștere.

Dintre toate tipurile de energie regenerabilă, pentru a satisface cererea de energie în viitor, lumina soarelui este cea mai bogată sursă de energie.

1.3. Tehnologii pentru conversia energiei primare regenerabile

Tehnologiile energetice disponibile deja și cele în curs de dezvoltare pot oferi o varietate largă de posibilități pentru a transforma cele mai multe tipuri de energie regenerabilă în energie electrică, o varietate decentă pentru a transforma anumite tipuri de energie regenerabilă în căldură și posibilități limitate de a transforma energia din surse regenerabile direct în combustibili lichizi pentru sectorul transporturi [3].

Tehnologiile energetice care urmează să fie dezvoltate și aplicate sunt [3]:
- panourile fotovoltaice cu costuri reduse (costul investiției de 0,5 USD/W și costul energiei electrice de câțiva cenți/kWh);
- producția de hidrogen cu costuri reduse, eventual, prin disocierea fotochimică, fotobiologică sau termochimică (solară) a apei (cu costul combustibilului H_2 de 1 USD/10 kWh, adică prețul similar unui litru de benzină);
- baterii cu cost redus pentru a stoca energia electrică (cu o densitate de stocare de 1 kWh/kg și cu un cost de investiție de 5 USD/kg de baterie). Realizarea acestui obiectiv ar permite echiparea centralelor eoliene și fotovoltaice cu producția lor discontinuă de energie și transformarea în sisteme autonome de furnizare continuă de energie electrică;
- conversia hidrogenului (cu costuri reduse) în metanol sintetic pentru a fi folosit drept combustibil în sectorul transporturi (poate fi ușor depozitat, distribuit și păstrat la bordul vehiculului);

- pile de combustie cu costuri reduse (costuri de investiții de 500-1000 USD/kWe pentru producția de energie electrică staționară și de 100 până la 200 USD/kWe pentru producția de energie la bordul vehiculelor);
- desalinizarea ieftină și purificarea apei (cu costul de 1 USD/tonă de apă) pentru a permite creșterea sporită a biomasei pentru alimente și combustibil prin irigarea artificială.

Potențialul economic al energiei regenerabile realizat până în prezent este relativ redus, datorită atât disponibilității limitate (fluctuația radiației solare, vântului), cât și costului mai mult sau mai puțin ridicat al tehnologiilor relevante comparativ cu al celor care utilizează combustibili fosili. Potențialul va crește în viitor prin dezvoltarea de noi tehnologii energetice, așa cum sunt cele enumerate în Tab. 1.1.

Tab. 1.1. Tehnologii pentru conversia energiei regenerabile în energie finală [3].

Sursa de energie	Tehnologia de conversie	Energia finală			
		Electricitate	Combustibil	Căldură de nivel termic ridicat	Căldură de nivel termic redus
Hidraulică	Centrală electrică cu lac de acumulare	■			
	Centrală electrică pe firul apei	■			
	Centrală mareomotrice				
	Centrală electrică acționată de valuri	■ □			
	Centrală electrică acționată de curenți marini	□			
Eoliană	Turbină eoliană	■			
Solară	Fără concentrarea radiației:				
	- conversia în căldură				■
	- desalinizarea apei				
	- panouri fotovoltaice	■□			
	- descompunerea fotochimică a apei		□ H_2		
	- descompunerea fotobiologică a apei		□ H_2		
	- descompunerea termochimică a apei		□ H_2		
	Cu concentrarea radiației:				
	- centrale termosolare	■			
	- absorbția luminii solare în reacții chimice			□	■
Biomasă	- reziduuri, deșeuri	■		■	■
	- plante și copaci	■	■	■	■
Energia geotermală	- puțuri naturale	■			■
	- puțuri forate	□			■
Căldura aerului, solului, apei	Pompe de căldură				■

1.4. Utilizări ale resurselor regenerabile de energie

Din potențialul enorm al vântului care suflă mai mult sau mai puțin în mod constant pe tot globul, doar o mică parte, în principal în regiunile de coastă, pe uscat și mare/ocean până la o înălțime de aproximativ 100 m, este accesibil pentru a fi utilizat pentru generarea energiei electrice. Principalul obstacol în utilizarea energiei eoliene este disponibilitatea intermitentă: în majoritatea cazurilor, disponibilitatea temporară a energiei eoliene în regiunile de coastă este limitată pe țărm la aproximativ 20% din timpul total, iar în afara țărmului până la

aproximativ 40% din timpul total. O eventuală stocare directă sau indirectă (hidrogen, stocarea apei de pompare) a energiei electrice poate fi realizată numai în cantități reduse și la un cost relativ ridicat [3].

Aproximativ 10% din apa care se scurge de pe continente în oceane ar putea fi utilizată pentru generarea de energie electrică și deja jumătate din acest potențial este utilizat. Utilizarea și mai mult a acestui potențial trebuie analizat cu atenție impactul său pozitiv și negativ asupra mediului. Alte posibilități ale energiei hidroelectrice sunt puterea mareelor, valurile și curenții oceanici. Energia mareelor oferă un potențial destul de limitat în ceea ce privește mărimea și locația și este limitat de costul ridicat al investiției. Valurile și curenții oceanici oferă în principal un potențial uriaș, dar au o densitate a energiei destul de redusă [3]. Radiația solară oferă cel mai mare potențial de utilizare a energiei din surse regenerabile pentru producerea de căldură, energie electrică și combustibili. Aceasta se caracterizează prin densitatea fluxului radiant relativ scăzut (cel mult 1 kW/m^2), intermitența temporală. Folosirea radiației solare pentru producerea căldurii, a energiei electrice și a combustibililor necesită stocarea energiei, ceea ce scumpește investiția [3].

Biomasa este destul de atrăgătoare ca sursă de energie primară, mai mult sau mai puțin disponibilă peste tot și ușor de stocat. Potențialul biomasei ca sursă de energie primară este puternic limitat de faptul că întreaga suprafață verde este utilizat aproape în întregime de către omenire pentru a furniza alimente din pășuni/agricultură și lemn, celuloză și lemne de foc din păduri. Din cauza schimbărilor climatice, a gestionării nesustenabile și a utilizării excesive, dimensiunea disponibilă a suprafeței verzi este de așteptat să se micșoreze și mai mult în viitorul apropiat. Având în vedere cererea crescândă de produse alimentare și produse din lemn de către o populație mondială aflată în continuă creștere, biomasa nu poate deveni decât o sursă de energie primară în creștere în cazul în care actuala creștere a deșertificării "pământului verde" este oprită, iar zonele aride sunt acum recultivate. Potențialul biomasei ca sursă de energie primară disponibil în prezent este limitat în principal la deșeurile biologice și resturile din silvicultură, din industria lemnului, din agricultură și din industria alimentară, care, în total, pot acoperi aproximativ 10% din cererea actuală de energie primară. Creșterea contribuției cu 10% a biomasei la satisfacerea cererii mondiale actuală de energie primară ar necesita recoltarea biomasei de pe aproximativ 150 până la 300 milioane de hectare de terenuri cultivate. Această zonă este egală cu 10 până la 20% din mărimea actuală a terenurilor cultivate pe plan mondial [3].

Potențialul de căldură produsă și depozitată în crusta de Pământ de aproximativ 10 km grosime este extrem de ridicat. Însă nivelul termic, care crește în medie cu 30°C la 1 km adâncime, este scăzut. Pentru colectarea căldurii la temperaturi de cel puțin (100- 200)°C pentru producerea de energie electrică sunt necesare realizarea de foraje cu adâncimi de mai mulți kilometri. Deoarece acest lucru este costisitor, utilizarea căldurii din interiorul Pământului este încă limitată la puțurile naturale de abur și apă caldă și la colectarea căldurii la temperaturi de până la aproximativ 100°C de la foraje artificiale în straturi acvifere adânci [3].

Căldura conținută în apă, sol și aer, la temperaturi destul de scăzute, de 10 până la 20°C, poate fi colectată și pompată la temperaturi mai ridicate, de 20 până la 40 C (în special pentru încălzirea încăperilor) cu ajutorul pompelor de căldură. Cantitatea totală de căldură furnizată la nivelul temperaturii ridicate este de aproximativ 2 până la 5 ori mai mare decât cantitatea de energie consumată pentru funcționarea pompei de căldură [3].

Bibliografie

[1] Sørensen B., *Renewable Energy. Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects*, Third Edition, Elsevier, 2004.
[2] Kaltschmitt M., Streicher W., Wiese A., *Renewable Energy. Technology, Economics and Environment*, Springer, 2007.
[3] Landolt-Börnstein, *Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology - New Series* (Book 8), Springer, 2006.