

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA  
BIBLIOTECA CENTRALĂ

nr. Inv.: 568-159

volap: 125 Lit: 6

UNIVERSITATEA TEHNICA TIMISOARA

FAKULTATEA DE ELECTROTEHNICA

# TEZA DE DOCTORAT

ING. VIOREL MAIOGAN

CONDUCATOR ȘTIINTIFIC :

PROF.DR.ING COLETA DE SABATA

**ASUPRA POSIBILITATII DE ASIGURARE  
A INDEPENDENTEI ENERGETICE A UNEI  
LOCALITATI FOLOSIND ENERGIA SOLARA**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMISOARA

FAMILIAR MERE,

## INTRODUCERE

Problema incalzirii solare ca si a realizarii altor utilitati folosind energia solara, desi studiata inca din antichitate, nu a cunoscut un interes real decit dupa interventia primei crize a petrolului, din anul 1973.

Pina la acea data existau atit cercetari cit si realizari practice in anumite tari dar opozitia din partea arhitectilor, marimea investitiilor suplimentare si, nu in ultimul rind, inertia proiectantilor s-a opus unor aplicatii semnificative.

Este interesant de remarcat faptul ca tarile bogate au fost primele dispuse sa faca investitii insemnate atit in cercetari cit si in aplicatiile practice, politica fiscala fiind de mare ajutor in promovarea utilizarii energiei solare in producerea apei calde menajere si in climatizarea locuintelor; la loc de frunte in dezvoltarea acestor utilitati se afla SUA, Germania, Japonia, s.a, iar in Israel este interzisa prepararea apei calde menajere altfel decit folosind energia solara.

In Romania, folosirea energiei solare la prepararea apei calde menajere a fost incurajata prin investitii destul de mari, dar, din pacate, s-a mers pe ideea sistemelor gigant al caror randament este extrem de redus datorita pierderilor de caldura in cazul transportului apei calde la distante mari; adaugind la aceasta lipsa de interes a consumatorilor, intretinerea de slaba calitate, inexistenta unor masuri fiscale corespunzatoare, sistemele nu au dat decit arareori satisfactie, iar in ultimii doi ani au fost parasite.

In lucrare ne-am propus sa studiem posibilitatea acoperirii cu energie solara a necesitatilor unei localitati -atit in ceea ce priveste utilizarea caldurii cit si a energiei electrice in aplicatiile casnice - stiut fiind ca atit in Iugoslavia cit si in Romania exista conditii incurajatoare, cele doua tari fiind situate pe paralela  $45^{\circ}\text{N}$ , cu o insolatie ce poate atinge valori de  $800-900 \text{ W/m}^2$  in lunile de vara si o durata medie de insolatie de 2000-2100 ore/an; in plus, ambele tari nu au resurse energetice mari si problema importurilor de energie se afla la ordinea zilei.

Un alt aspect favorizant se refera la faptul ca in Iugoslavia exista multe case de vacanta, vile, cabane situate departe de sursele clasice de alimentare cu energie electrica si aducerea unor linii cu tensiunea de cel putin 6 kV ar necesita investitii absolut prohibitive pentru un consumator izolat; in aceeași situație se afla unele insule de la Marea Adriatica folosite numai pe perioada de vacanta, un numar limitat de ore pe an, vara, si in care nu se necesita instalatii de forta. Transportul combustibilului pentru alte tipuri de generatoare electrice este scump si nerentabil la puteri mici cerute de iluminat, frigidere, statii radio si telefonie precum si televizoare.

Climatizarea locuintelor in perioadele de trecere - primavara si toamna - reprezinta o alta preocupare de interes, mai ales in Iugoslavia unde surplusul de caldura necesar asigurarii confortului este adesea preluat de la rețeaua electrica a localitatii fiind folosite de preferinta corpuri de incalzit, cu acumulare de caldura. Elementele pe care ni le-am propus a fi studiate in teza se refera la:

- studii sistematice asupra disponibilitatii de energie solara, a puterilor ce se pot obtine, a numarului de ore de insolatie, a temperaturilor exterioare in diversele perioade ale anului;

- analiza metodelor de captare a energiei solare, a randamentelor, a aspectului economic, a investitiilor necesare;

- studiul suprapunerii cererii si a ofertei de energie, a posibilitatii de stocare, a metodelor celor mai convenabile, a investitiilor necesare; randamentele implicate, dificultatile tehnologice, problemele constructive, aspectele economice.

In teza s-a acordat o atentie deosebita: bazelor fizice ale fenomenelor implicate, valorificarii rezultatelor experimentale prin utilizarea unui aparat matematic corespunzator, utilizarea metodelor moderne de calcul prin programe realizate pe calculator, separarii elementelor de captare, conversie, stocare, utilizare, cu legile lor specifice in vederea analizei randamentelor respective si a contributiei fiecarui element in parte la utilizarea finala.

Teza contine trei parti mari care se refera la:

- elementele generale ce caracterizeaza energia solara, interactia cu atmosfera, legi fizice de baza,

- sisteme de captare si conversie a energiei solare cu transformarea ei in caldura; metode de stocare; utilizari;
- conversia energiei solare in energie electrica, stocare si utilizari.

Baza experimentală de care am dispus la UTT ne-a permis studiul experimental al fiecarui tronșon menționat mai sus, avind astfel posibilitatea de a aduce contribuții la cunoașterea fenomenelor fizice care determină funcționarea convenabilă și la randamentele corespunzătoare a acestor instalații. Deși randamentele globale ale instalațiilor sînt relativ scăzute, faptul că energia primară este gratuită conduce la concluzia că acest tip de instalații pot fi competitive mai ales în anumite situații ce se întîlnesc atît în România cît și în Iugoslavia. Creșterea producției mondiale de celule fotovoltaice, mărirea randamentelor și reducerea pretului, precum și crearea de aparataj special pentru tensiune continuă și la valori relativ mici (24 V) va determina un interes sporit în următorii ani.

Pe baza cercetărilor efectuate putem conchide că o parte însemnată din energia necesară unei localități poate fi asigurată cu ajutorul energiei solare, atît la construcțiile existente cît mai ales la clădirile noi ce se vor construi după alte precepte de bază; în cazul unor localități mici, izolate sau unde se locuiește numai un timp limitat, în cazul caselor de vacanță, a refugiilor din munți, a unor mici insule locuite numai vara, a caselor situate în văi, a casutelor de week-end, utilizarea energiei solare poate asigura în întregime necesarul de caldura, de apă caldă și de energie electrică.

Energia solară nu poate înlocui celelalte forme de energie utilizate astăzi, ea este o energie alternativă, de completare, dar faptul că este gratuită, nepoluantă și independentă de parteneri străini îi conferă calități deloc de neglijate. Reducerea consumului de combustibili clasici—scumpi și poluanți—este astăzi posibilă cu efecte benefice asupra economiei și a mediului ambiant.

Soluția pe care o preconizăm, în baza experienței dobîndite în cadrul acestei cercetări, este cea a unor instalații mici, pentru case familiale sau chiar de apartament, în care caz atenția celui care o folosește asigură o fiabilitate ridicată intrucît problema

cea mai mare care se ridică este cea a unei bune exploatare și întrețineri, fără a necesita însă cunoștințe de specialitate.

Casele viitorului trebuie să difere esențial de casele construite în ultimela decenii prin mărirea gradului de izolație termică, prevederea unor pereți de tip Trombe-Michel, asigurarea cu mici sere sau cu logii vitrate, realizarea apei calde menajere cu ajutorul panourilor amplasate pe acoperiș și asigurarea caldurii în încăperi folosind sisteme de stocare a caldurii solare cel puțin în sezoanele de trecere și parțial chiar și iarnă.

În încheiere doresc să aduc mulțumiri conducătorului științific doamnei prof.dr.ing.Coleta de Sabata care m-a îndrumat, sfătuit și ajutat în elucidarea problemelor teoretice și experimentale întâlnite în activitatea de pregătire a examenelor și referatelor cit și de elaborare a tezei de doctorat, domnului prof.dr. Marcu Cristian pentru sprijinul acordat în această perioadă, șef lucrări ing.Tamășdan Corin, și Luminosu Ioan cu care am colaborat în decursul studiului și cercetărilor experimentale, precum și prestigiosului colectiv al Catedrei de Fizica de la UTT care a inițiat și a dezvoltat cercetări în domeniul energiei solare încă din anul 1976 având numeroase realizări teoretice, experimentale și aplicative.

Tot pe această cale aduc mulțumiri domnului prof. Gilbert Menguy de la "Laboratoarele de studii termice și solare" din cadrul Universității Claude Bernard și familiei Ninku Pierre junior din Lyon pentru sprijinul acordat în perioada în care am fost în Franța pentru cercetare și documentare științifică.

Doresc să mulțumesc conducerii UTT care mi-a permis să-mi desăvîrșesc pregătirea profesională prin doctorat punându-mi la dispoziție tot ce mi-a fost necesar; mulțumirile mele se îndreaptă de asemenea către Statul Român care, în baza acordului de colaborare tehnico-științifică și culturale existent între România și Iugoslavia m-a ajutat să realizez o cercetare științifică ce va fi utilă ambelor țări.

Deasemenea aduc mulțumiri familiei mele, care m-a înțeles și sprijinit în realizarea cercetării științifice concretizată prin această teză de doctorat.

## CAPITOLUL 2 SURSE ENERGETICE

### 2.1 CLASIFICARI

Dupa gradul de integrare a surselor energetice in satisfacerea nevoilor economice deosebim [24]:

a) surse conventionale, cele care participa la obtinerea energiei in mod predominant (sursele "clasice"):

- lemnul
- carbunii
- hidrocarburile
- combustibilii nucleari
- energia hidraulica

b) surse neconventionale, cu o participare deocamdata mai modesta in balanta energetica, dar cu reale posibilitati de dezvoltare in viitorul apropiat:

- energie solara
- energia eoliana
- energia geoterma
- energia oceanelor

c) alte surse aflate in faza de incercari de laborator si in statii pilot bazate pe tehnologii fizice si chimice, unele foarte promitatoare

#### a) Surse energetice conventionale

Aceasta categorie de surse energetice a intrat in folosirea curenta in mod succesiv.

##### Lemnul

Folosirea lemnului ca sursa energetica a inceput odata cu descoperirea focului. Consumul de masa lemnoasa a crescut pe masura ce aceasta a fost necesara in constructii si pentru prelucrarea altor materii prime naturale.

Padurile sint raspindite pe mari intinderi, dar inegal, acoperind circa 1/3 din suprafata terestra, circa 4.094 milioane ha. Se apreciaza ca in padurile de astazi, exista aproximativ 238.000 milioane m<sup>3</sup> masa lemnoasa.

Ritmul anual al despaduririlor este de 11.300.000 ha/an.



La nivelul anului 2000 se prevede o crestere a consumului de lemn pina la 5 mil. m<sup>3</sup>. Pe plan mondial, suprafata padurilor este in scadere si acest proces va continua inca, mai ales in tarile subdezvoltate si in unele in curs de dezvoltare.

Prin organisme ale ONU s-au constituit colective care au scop studiul si proiectarea unor activitati care sa frineze aceasta scadere a suprafetei impadurite si sa dea o desfasurare dirijata in economisirea fondului forestier mondial.

### Carbunele

Arheologii au gasit dovezi privind folosirea carbunelui de catre om inca de la inceputul comunei primitive, in vetrele unor asezari omenesti pe teritoriul Chinei.

Aristotel (384-322 i.e.n) a lasat dovezi scrise despre intrebuintarea carbunelui in timpul mileniilor II si I i.e.n. de catre egipteni, greci si romani. Georg Agricola (Bauer) (1494-1555) face cea dintii clasificare a carbunilor. Klein Baltazar in 1598 a studiat si a descifrat structura carbunilor.

In secolul al XIX-lea studiul si exploatarea carbunilor iau avint, folosindu-se pe scara tot mai larga in industrie.

Se disting trei grupe genetice de carbuni:

- carbuni humici
- sapropelici combustibili
- liptobioliti

Carbunii care intereseaza sub aspect energetic apartin categoriei carbunilor humici.

Conform WEC (Conferinta mondiala de energie) 1978 [28], resursele mondiale de carbune sint estimate la 10.126 miliarde tone carbune echivalent. Cifrele WEC pentru rezervele mondiale de carbune sint nesigure, astfel, rezervele de carbune estimate actualmente ca fiind tehnic si economic recuperabile se ridica la 637 mld t<sub>ce</sub>.

Consumul de carbune a variat in dependenta de ritmul de dezvoltare economic si industrial. Ponderea carbunelui in balanta energetica mondiala de 90 % la inceputul secolului al XX-lea a scazut la 47 % in 1960 si 22 % in anul 1990 [25].

Scaderea productiei de carbune s-a manifestat mai ales in cadrul Comunitatii Economice Europene datorita reprofilarii industriei pe hidrocarburi.

## Titeiul

Cele mai vechi date referitoare la cunoașterea și folosirea titeiului și mai ales a bitumenului, le avem din Orientul Mijlociu (teritoriul cuprins între Caucaz, Regiunea Golfului și Egipt) unde vechile popoare (egiptenii, babilonienii, persi, asirieni, sumerieni) foloseau titeiul în milenii VI-IV î.e.n. la construcții de drumuri, la impregnarea corabiilor de lemn, la prepararea muștilor, în medicina empirică.

Titeiul și celelalte substanțe inflamabile asemănătoare lui, pe care le adăpostesc scoarta terestră sunt cuprinse în stratele sedimentare în care s-au format sau în care au emigrat, constituind zăcămintele exploatabile. Titeiul s-a format din materia organică a vietuitoarelor care au trăit pe fundul apelor dulci, sălășturi și sărate.

Condiția principală pentru asigurarea unui start petroligen este ca materia organică depusă să fie incorporată în sedimente fine, care să o izoleze de contactul cu oxigenul. Mediul astfel format, lipsit de oxigen, se numește mediu euximic sau anoxic (G.I. Demaison, G.T. Moore, 1980); este un mediu reductor în care bacteriile reductoare descompun materia organică complexă în substanțe mai simple, până la hidrocarburi.

În zonele petro-gazifere, titeiul este predominant până la adâncimea 3000-3500 m. În zone sub 3500-4000 m titeiul și gazele sunt prezente în cantități optime în ceea ce privește proporția structurilor purtătoare.

La adâncimi mari, temperatura corespunzătoare treptei geotermice a produs transformarea hidrocarburilor lichide și solide în gaze naturale (hidrocarburi gazeoase).

În ultimii 50 de ani s-au făcut aproximativ 30 de estimări privind resursele și rezervele mondiale de petrol maxim recuperabile. Amintim estimările făcute de: King Hubbert, Moody (de la Mobil Oil Company, Statele Unite) Weeks (de la Weeks Natural Resources, Statele Unite) Klemens (de la Weeks Natural Resources Statele Unite). Aceste estimări, în timp, au arătat o tendință generală către valori crescătoare [27].

O evaluare de anvergură a resurselor de petrol a fost făcută de un grup condus de Despraires (1977) subventionată de WEC. Prima

data, pentru evaluarea resurselor de titei, s-a recurs la metoda Delphi, metoda ce constituie una din cele mai bune surse de informatii. Referitor la evaluarea resurselor de petrol, acestea au acoperit o gama larga de la 173 mld  $t_{ep}$ , la 950 mld  $t_{ep}$ , dar majoritatea au estimat resursele exploatabile cu mijloace tehnice actuale intre 225-300 mld  $t_{ep}$ , dintre care 90-100 mld  $t_{ep}$  rezerve sigure pe care se poate baza in prezent economia.

Interesul pentru gazele naturale a fost mult mai mic, manifestandu-se mult mai tirziu decit cel pentru resursele de petrol. In ultimile decenii consumul de gaze a crescut rapid.

Exista un consens puternic intre expertii in petrol din lume asupra parerii ca productia si consumul de gaze in lumea intreaga vor continua sa creasca, posibil pina la inceputul secolului viitor datorita proprietatilor atractive ale utilizarii gazelor naturale.

Valoarea rezervelor de gaze adoptata de WEC si de America Gas Association dupa o evaluare facuta de IGT (Institutul American pentru Tehnologia Gazelor) este de aproximativ 280.000 mld  $m^3$ .

### Combustibili nucleari

Cea dintii centrala nucleara electrica a fost pusa in functiune la 27 iunie 1954 la Obinsk (URSS) cu o putere instalata de 5 MWe, a urmat apoi cea de la Calder Hall (Marea Britanie) in 1956 cu o putere instalata de 48 MWe si cea de la Shippingport (SUA) in 1957 cu o putere instalata de 100 MWe [24].

In anul 1965 functionau in lume 58 centrale nucleare-electrice cu o putere instalata de 6000 MWe, iar in anul 1973, 120 centrale nucleare-electrice de 38.100 MWe.

La inceputul anului 1979 erau in constructie si proiectare 300 centrale nucleare electrice de putere instalata de 200.000 MWe.

La inceputul anului 1984 erau in functiune peste 300 reactoare in 25 de tari, cu participare de 10% in balanta energetica mondiala

Astazi, din productia de energie electrica in centrale nucleare se obtine: 40% in Franta si Finlanda, 36% in Suedia, 22% in Belgia, 20% in Japonia si Germania, 12% in URSS, SUA, Marea Britanie

Centralele nucleare-electrice folosesc mai multe tipuri de reactoare:

- cu apa usoara (LWR);

- cu apa sub presiune (PWR);
- cu apa grea (HWR);
- racire cu gaze (AGR)

In anii 1975-1976, datele asupra rezervelor de pechblenda, cel mai important minereu de uraniu, mentionau 1.500.000 t resurse si 1.200.000 t rezerve industriale.

In raportul Grupului pentru Programul Sistemelor de energie al Institutului International pentru Analiza Sistemelor Aplicate este data cifra de 24.500.000 t.

Cantitati de uraniu evaluate la 5 mld t, se gasesc in apa oceanelor la o concentratie de  $0,0015 \text{ g/m}^3$  apa.

Gradul de asigurare al energeticii cu combustibili nucleari este hotarit de structura si tipul reactoarelor.

### Energia hidraulica

Pe Pamint se gaseste un volum de apa de  $13,7 \text{ mld km}^3$  din care 98% formeaza apa marilor si oceanelor si acopera cca. 70% din suprafata planetei. Apa dulce reprezinta 2% [24].

In atmosfera se gaseste o cantitate de aproximativ  $12.300 \text{ km}^3$  de apa sub forma de vapori. In sol si in stratele acvifere subterane se apreciaza o cantitate de apa de 7-10 mil. $\text{km}^3$ . Potentialul stabil al apelor curgatoare, apreciat intre 20.000 si 30.000  $\text{km}^3$ , intereseaza din punct de vedere energetic.

In circuitul exterior al apei (evaporare → condensare → precipitatii → curgeri → infiltratii → colectare → evaporare) apa este sub influenta directa a energiei solare, avind valori cuprinse intre  $0,1-0,2 \text{ kW/m}^2$  si cu posibilitatea de a evapora la suprafata terestra un strat de apa de 1,30 - 1,60 m grosime. Cantitatea de apa in atmosfera nu este mare, dar ciclul evaporare → condensare → precipitatii → se repeta des.

Valoarea potentialului energetic tehnic amenajabil se ridica la 1700-2300 mil.kW, iar economic amenajabil este de 800 mil.kW ceea ce ar duce la o productie de 4200 mld kWh.

In prezent media mondiala de utilizare a potentialului hidroenergetic este de 20%, productia de energie electrica mondiala obtinuta in centrale hidroelectrice reprezentind 4-6% [25].

## b) Surse energetice neconventionale

Unele din aceste surse au fost folosite de om inca din antichitate, altele in ultimele doua secole:

- energia solara
- energia eoliana
- energia geotermica
- energia oceanelor

### Energia solara

Privit ca sursa energetica, Soarele transmite anual pamintului o energie considerabila de cca. 450.000 mld  $t_{cc}$  [26]. Din aceasta echivalent a:

180.000 mld  $t_{cc}$  se reflecta la nivelul straturilor superioare ale atmosferei si marilor

45.000 mld  $t_{cc}$  se reflecta la nivelul solului

75.000 mld  $t_{cc}$  se absoarbe de catre atmosfera (din care cca. 20.000 mld  $t_{cc}$  genereaza vintul)

80.000 mld  $t_{cc}$  produce evaporarea apelor

75.000 mld  $t_{cc}$  reprezinta energia solara incidenta la suprafata pamintului (incluzind si procesele de fotosinteza), de 3000 ori consumul energetic al omenirii in anul 2000.

La nivelul solului in jurul paralelei  $45^\circ$ , pe  $1 m^2$  de suprafata se pot capta anual  $(500-700) \times 10^9$  kcal, ceea ce reprezinta cca. 75-100  $kg_{cc}$  echivalent cu 75-100 kg carbune de calitate superioara, sau 200-250 kg lignit sau 50-80  $m^3$  gaze naturale sau 45-70 kg petrol [4].

In cazul conversiei in energie electrica, din energia medie anuala, disponibila la suprafata solului care este de 800-1500  $kWh/m^2/an$  se pot capta in functie de solutiile tehnice utilizate 80-150  $kWh/m^2/an$ .

Prognozele energetice estimeaza pentru anul 2000 un aport solar de 2-10% din necesarul de energie primara al omenirii, in dependenta de disponibilitatile de combustibili clasici, de posibilitatile tehnologice si financiare [26].

## Energia eoliana

Energia eoliana a inceput sa fie utilizata in antichitate in Persia, Regiunea Golfului si Orientul Apropiat. In Europa, cei dintii care au aplicat energia eoliana la morile de vint pentru drenarea locurilor, au fost olandezii, in secolele XIII-XIV. Morile de vint au fost extinse si in restul Europei, iar in secolul al XIX-lea s-au extins si in America [24].

Vintul reprezinta o sursa considerabila de energie cu o distributie neuniforma pe glob, atat in plan orizontal, cit si in plan vertical.

Multitudinea de forme geografice, a creat zone cu vinturi intense (uragane), medii, precum si zone lipsite de vint. Dupa unele estimari generale [24] potentialul energetic are urmatoarele valori:

- pentru intreg globul:  $(13-15) \times 10^{12}$  MWh/an
- pentru suprafata uscatului  $1,7 \times 10^{12}$  MWh/an

La nivelul actualelor posibilitati tehnologice se poate afirma ca potentialul energetic amenajabil este cel al zonelor cu vint mediu sub 40 m/s si al primilor 100 m deasupra solului, numai intre latitudinile de  $50^{\circ}$  nord si sud. Folosirea energiei eoliene este rentabila daca viteza vintului depaseste 14 km/h ( $\cong 4$  m/s).

Pina in zilele noastre, domeniul de utilizare al energiei eoliene era cel al aerogregatelor de puteri mici folosite pentru obtinerea energiei mecanice in mica industrie.

Crisa energiei a pus in evidenta problema agregatelor mari care sa intervina sensibil in balanta de energie a tarilor. Ca urmare a acestor imperative, pina in prezent, au fost realizate aerogeneratoare electrice de putere intre 1-10 MW. Concurenta este intre turbinele cu ax vertical de tip Darieux si cele cu ax orizontal sau bipale.

Un pas mare in domeniul utilizarii energiei vintului s-a facut prin construirea de catre Germania si URSS a primelor nave maritime mari cu pinze, ale secolului XX, comandate evident de calculator.

### Energia geotermica

Incalzirea Pamintului, ca eveniment unic, s-a petrecut in urma cu 4,5 miliarde de ani, caldura originara rezultind din impactul particulelor cosmice. Incalzirea ulterioara s-a produs si se produce si astazi prin radioactivitatea izotopilor cu viata lunga, raspinditi pina la 200 km sub suprafata planetei. Energia radiogena a acestora, intretine fluxul energetic care ajunge la suprafata si se disipeaza in spatiul inconjurator la o valoare de  $10^{21}$  J [24].

Pe suprafata terestra, cele mai raspindite arii si zacaminte dupa valoarea geotermica - sint cele cu un flux de caldura si gradient geotermic de 10-40 °C pe adincimea de un km, numite arii netermale.

Ariile cu valori de 40-70 °C sint arii semitermale, iar cu valori mai mari de 70 °C sint arii hipertermale. In ariile hipertermale se gasesc si cele mai frecvente structuri hidrogeotermice in care se acumuleaza "sursa geotermica" adica zacamintele de apa geotermala, fiind de un mare interes hidroenergetic si geotermic.

Apele termale au fost folosite la incalzirea locuintelor si pentru bai pe timpul romanilor. Apele gheizerilor din Islanda au fost utilizate la incalzirea serelor si a locuintelor.

In SUA, incepind cu 1960, functioneaza o uzina electrica de 58 MW actionata de vaporii unui gheizer din regiunea San Francisco

Drasul japonez Marioka si localitatile din apropiere au fost printre primele alimentate cu energie electrica produsa de o centrala geotermica de putere de 20 MW.

Vulcanii Wairakei si Tanpo din Noua Zeelanda, degaja continuu vapori, captati de multe secole.

Conferinta Mondiala de energie preconiza o productie mondiala de energie electrogeotermica de 100.000 MW in anul 2000.

### Energia oceanelor

Oceanele inmagazineaza cantitati enorme de energie solara, estimata la un echivalent energetic de aproximativ 100 mld  $t_{ep}$ /an manifestindu-se in:

- energie mareotermica
- curenti oceanici
- valuri

Energia mareotermica se poate capta prin aplicarea principiului folosirii unor fluide cu punct de fierbere la un nivel scazut ca freonul, amoniacul, propanul.

Curentii oceanici pot actiona paletetele turbinelor hidraulice care apoi pot pune in miscare generatoare de curent alternativ.

Valurile oceanice ca potential energetic au fost obiectul numeroaselor studii si cercetari. Puterea unui val oceanic variaza intre 8-50 kW/m de front maritim amenajabil. Rezultate bune au fost obtinute in Atlanticul de Nord.

### Bioconversia energiei solare. Fotosinteza. Biomasa

Bioconversia este transformarea energiei solare in potentialul chimic care alcatuieste corpul vietuitoarelor, fiind un proces al conversiei energiei solare la temperaturi joase efectuat de clorofila; procesul de fotosinteza este fenomenul creator al biomasei actuale si de totdeauna, al combustibililor fosili.

Randamentul conversiei energiei solare prin fotosinteza este cuprins intre 0,25 si 5% .

Biomasa, cu un potential energetic de 100 TW an/an se distribuie (E.Botin, 1979) [24]:

- 23 TW an/an in biomasa mlastinilor, pasunilor si tundrelor
- 29 TW an/an in paduri
- 10 TW an/an in terenuri cultivate
- 38 TW an/an in algele oceanice

Potentialul chimic al biomasei prin fenomene biotice si prin diferite tehnologii poate fi convertit in produse energetice.

Cercetarile efectuate au dus la concluzia ca unele specii vegetale pot fi cultivate numai pentru valoarea lor energetica. Amintim astfel familia Euphorbiaceae cu speciile Euphorbia lathyris si Euphorbia trucalli care cresc in Brazilia pe terenuri sarace intre tropice.

Biomasa se utilizeaza pe diferite filiere fie pe filiera termica brichetand frunze, aschii si alte deseuri lemnoase si arzindu-le, fie pe filiera producerii de inlocuitori ai benzinei sau motorinei, in principal etanol.



Etanolul (alcoolul etilic) este principalul produs al prelucrării biomasei în scopuri energetice. A fost folosit drept carburant pentru automobile încă de la începutul acestui secol de către Henry Ford, dar a fost înlocuit repede de benzină.

În Brazilia programul etanolului combustibil (proalcool) a fost lansat în anul 1975. În anul 1980, în această țară 20 % din totalul consumului de carburanți a fost asigurat pe baza de etanol (majoritatea în amestec).

Folosirea unor alge care furnizează direct metan, putând produce până la 75 t metan la hectar, apare ca foarte rentabilă. Acest gen de alge de origine tropicală dețin recorduri de creștere de 30 cm/zi, atingând 50 m lungime în mai puțin de un trimestru.

Utilizarea carburanților produși din fitomasă, poate conduce la stabilirea asigurării carburanților pentru temperaturi și agricultură. Acești carburanți, prin calitățile pe care le posedă, se apropie de combustibilul ideal al viitorului:

- au o distribuție globală care reflectă repartitia populației pe glob;
- sînt reînnoibili, ceea ce constituie cea mai importantă caracteristică a lor;
- producerea lor se face pe baza unor tehnologii nepretentioase

## 2.2 ENERGII PRIMARE. PROGNOZE

Etapele de conversie și utilizare a energiei determină diferențierea acesteia în [32]:

- energie primară, reprezentînd energia recuperată din natură - apă la un baraj, cărbunele extras, petrolul, gazele naturale, uraniul natural, energia solară;

- energia secundară, reprezentînd energia ce poate fi folosită într-o gamă largă de aplicații: energia electrică, benzină.

Energia primară este transformată în energie secundară în diferite moduri, cu pierderi de conversie în trecerea de la energia primară la energia secundară și cu pierderi de transmitere de la locul de producere a acesteia la consumator.

Etapele finale sînt conversia energiei secundare în energie finală (energia într-un motor, într-o sobă, un calculator) și

conversia energiei finale in energie utila (energie efectiv inmagazinata intr-un produs).

Caracterul contradictoriu dintre tendinta realizarii unui consum de energie in continua crestere si disponibilitatile resurselor energetice, la un moment dat considerate inepuizabile, reprezinta factorul dinamizator al transpunerii consumului de energie pe fluxul energetic continuu, asigurat pe toata perioada de existenta a societatii umane.

In succesiunea lor, etapele combustibilului vegetal, carbunelui, petrolului, energiei nucleare, energiilor regenerabile etc., nu s-au dezvoltat in fiecare etapa in concordanta cu cerintele societatii si cu suficient avans de declinul etapelor anterioare energetice. Aceste necorelari au condus la crize energetice.

In exploatarea combustibililor fosili si minerali va interveni un prag economic, glisant in timp, in functie de tehnologiile folosite peste care nu mai este economica extractia de combustibil. Aceasta constatare contrazice conceptia epuizarii fizice a combustibililor fosili si minerali, afirmind importanta factorilor economici in rezolvarea problemelor energetice. Astfel, intervin restrictii ecologice care fixeaza plafoane pentru extractia combustibililor fosili si minerali.

Oamenii de stiinta sint unanimi in opinie ca, in cazul in care se continua arderea combustibililor fosili in ritmurile actuale, degajarile de bioxid de carbon vor cauza in cca. 200 de ani modificari climaterice importante, iar consumul de oxigen, in cca. 100 de ani, va scadea cantitatea oxigenului din atmosfera sub nivelul critic de mentinere a vietii pe pamint. Deci pragurile economice si ecologice vor trebui sa actioneze mult mai ferm in stabilirea politicilor energetice, in alegerea structurilor economice viitoare

Evolutia situatiei energetice mondiale si numeroasele studii elaborate de institutii specializate sau de oameni de stiinta din diferite tari se integreaza in orientarile mentionate mai sus. Astfel se constata [27]:

- reducerea ritmurilor de dezvoltare a bazei energetice si a producerii de energie primara. Intr-un studiu efectuat de Esse Europe ("Energy demand to 2000, Gaz Eng and Manag. 1983, 23, No 6) pentru 17 tari vesteuropene se arata ca la sfirsitul secolului

cererea de energie va creste cu 1,3 % pe an ceea ce va fi de doua ori mai mica decat cresterea medie din perioada 1960-1990 care a fost de 3,5 % .

La nivel mondial se prognozeaza ca fata de un consum de 5,5 mld t<sub>cc</sub> in anul 1965 si 11,25 in 1980, consumul de energie primara sa creasca la 17 mld t<sub>cc</sub> in 2000 fata de 25-30 mld t<sub>cc</sub> cit se prognoza acum 20 de ani (fig.2.1).

- o crestere sensibila a eficientei valorificarii energiei
- o preocupare pentru reevaluarea rezervelor energetice tinind seama de factori economici

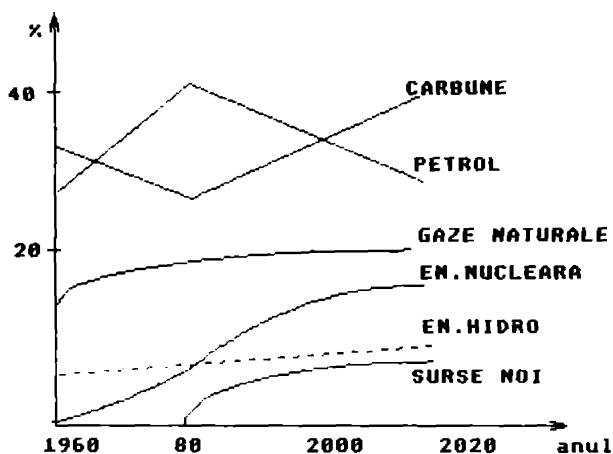


Fig.2.1

- o tendinta de crestere a ponderii energiei nucleare si a energiilor regenerabile

- o transformare a crizei energetice in criza financiara

In ultimii ani situatia energetica a tarilor in curs de dezvoltare a continuat sa se agraveze. In 1982 consumurile energetice din aceste tari s-au micorat din lipsa financiara.

In aceste conditii sint tot mai multi adepti pentru o noua ordine energetica care sa se caracterizeze prin stabilizarea pietii combustibililor, instaurarea de mecanisme financiare interna-

tionale, extinderea colaborării energetice, amplificarea dialogului între țările producătoare de energie și țările consumatoare, între țările detinatoare de tehnologii și țările importatoare.

Transformarea crizei energetice în criza financiară a avut la baza creșterile neîntrerupte ale preturilor la titei, deoarece aceste creșteri se resfring atit asupra produselor petroliere, cit și asupra celorlalti combustibili.

Prognoza dezvoltării energeticii la nivel mondial prezentată la sesiunea WEC în anul 1980 [28] se caracterizează prin următoarele (tab.1):

- orizontul prognozei se extinde pînă la anul 2200
- carbunele va atinge 20% în anul 2000, urmînd să descrească pînă la 1 % în anul 2200

TABELUL 1

Tipul combustibilului și energiei	Participarea în procente				
	1800	1900	2000	2100	2200
combustibil vegetal	84,4	40	2,0	-	-
carbune lignit	5,5	56,0	20,0	7,0	1,0
titei și gaze naturale	-	3,0	56,5(48)	1,0	-
energie nucleară	-	-	16,5(25)	36,0	4,0
energie hidro, resurse noi și regenerabile, tehnologii noi	10,1	0,8	5,0	56,0	95,0
Total			100 %		

- titeiul și gazele naturale vor prezenta cca. 55 % în anul 2000 și 1 % în anul 2100;

- energia nucleară va crește de la 15 % în anul 2000 la circa 35 % în anul 2100 urmînd să scadă la circa 4 % în anul 2200;

- energiile regenerabile vor crește de la 5 % în anul 2000 la cca. 50 % în anul 2100 și la 95 % în anul 2200.

Evoluția scenariilor de dezvoltare energetică arată că specialiștii sînt preocupați de variante care conduc la riscuri minime pentru societate, la minimizarea entropiei. Există astfel:

- scenariul de dezvoltare energetică care valorifică în cel mai înalt grad energiile regenerabile, se caracterizează printr-un nivel entropic, respectiv prin factor de risc mai redus, dar și prin performanțe energetice și economice inferioare, aportul lor la balanța energetică a țărilor fiind redus;

- scenariii care acorda o pondere progresiv crescinda energii lor regenerabile avind in vedere noi tehnologii de conversie;

Problemele principale ale energeticii mondiale deriva din caracterul de tranzitie al perioadei pe care o traversam, situandu-ne la mijlocul unei perioade de expansiune numerica a populatiei de la mai putin de 1 mld la peste 10 mld locuitori. Problema generala de baza este de a efectua tranzitia la un ritm satisfactor, compatibil cu diferite restrictii cu care sintem confruntati.

Etapa actuala de dezvoltare a societatii umane se caracterizeaza prin epuizarea treptata a combustibililor fosili, ceea ce genereaza o criza energetica, de materii prime, financiara si politica numita asa cum am precizat anterior, etapa energeticii de tranzitie, avind urmatoarele caracteristici:

1) instabilitate - generata de contradictia dintre cerere si oferta

2) inegalitate - tarile cu potential energetic cu rezerve importante de purtatori de energie primara vor cunoaste o dezvoltare economica rapida in dauna tarilor importatoare

3) incertitudine - solutiile energetice ce urmeaza a fi implementate sint inca in faza testarilor, iar rezolvari sigure ale diverselor probleme energetice nu exista inca.

In momentul de fata se estimeaza ca aceasta perioada a energeticii de tranzitie se va incheia in jurul anilor 2100 - 2200 cind se va ajunge la etapa energeticii stabile prin realizarea unor surse de energie nelimitata.

In perioada energeticii de tranzitie se impune a fi rezolvate:

- supravetuirea sistemului energetic actual prin atragerea de noi zacaminte in circuitul energetic (extragerea petrolului din zacaminte marine)

- realizarea unor noi sisteme de conversie competitive din punct de vedere economic (energia termonucleara, energia solara)

- diversificarea si conservarea resurselor energetice primare si folosirea lor la un randament cit mai ridicat.

Problema de baza pentru urmatoarele citeva decenii va ramine tranzitia de la dependenta acuta fata de hidrocarburi la cea fata de carbune si energia nucleara, intre timp pregatindu-se penetrarea reala, semnificativa, profesionala si necontestata a surselor noi si reînnoibile de energie.

## CAPITOLUL 3. ENERGIA SOLARA. ASPECTE GENERALE. LEGI FIZICE SPECIFICE DOMENIULUI

### 3.1 SCURT ISTORIC

Energia solara este cea mai abundenta, naturala, curata si disponibila forma de energie ce se poate adapta celor mai diferite servicii pe care le cerem de la energie, incadrindu-se in modul nostru de viata. Din momentul in care omenirea a realizat ca energia constituie componenta vitala a existentei sale in conditiile civilizatiei moderne, energia solara a devenit un subiect important in activitatea oamenilor de stiinta.

In multe locuri de pe planeta noastra, Soarele ofera o alternativa posibila in solutionarea crizei de energie, criza ce devine din ce in ce mai accentuata odata cu cresterea populatiei globului si ridicarea standardului de viata simultan cu epuizarea combustibililor fosili si nucleari de fisiune.

Primele utilizari ale energiei solare sint legate de antichitate. In secolul al II-lea i.e.n., Arhimede din Syracuza, a incendiat flota romana utilizind oglinzi pentru a reflecta razele Soarelui, iar Heron din Alexandria in sec.I i.e.n.a construit un dispozitiv pentru pomparea apei care folosea ca sursa primara energia solara [1].

Cunoasterea empirica a fizicii radiatiei solare de catre vechile civilizatii din America, a facut posibila construirea unor obiecte remarcabile dintre care amintim "Castelul lui Montezuma" din jurul anului 700 e.n. Aceasta constructie, ridicata sub o stinca imensa orientata spre sud, era climatizata si vara si iarna. Zidul masiv o umbrea vara cind Soarele are o inaltime mare pe boltă, iar iarna, inmagazinind caldura, o incalzea prin radiatie [1].

In anul 1615 Salomon din Caus a construit o pompa, forta motrice a acesteia fiind furnizata de aerul incalzit de Soare [2]. In anul 1777 Joseph Priestley, prin procesul de concentrare a radiatiei solare pe oxid de mercur descopera oxigenul. Antoine Lavoisier a construit un cuptor solar cu ajutorul unei lentile lichide reusind sa topeasca platina la 1775 °C, iar in 1872 in desertul Atacama din Chile a fost construit un distilator solar de 5000 m<sup>2</sup>.

La inceputul secolului al XX-lea Shuman dezvolta masini solare de citiva cai putere pentru pomparea apei, iar in 1913, impreuna cu Boys, instaleaza in apropiere de Cairo, o masina de 50 cai putere cu cilindri parabolici concentrind radiatia solara, masina ce a fost folosita pentru pomparea apei din Nil in vederea irigarii terenurilor. [2]

O prima incercare de stocaj de energie solara a fost realizata de Harrington in New Mexico in 1930. Radiatia a fost concentrata pe un receptor care a permis functionarea unei masini cu abur. Aceasta masina a pompat apa intr-un rezervor de  $18 \text{ m}^3$  de 6 m inaltime de unde prin cadere a antrenat o turbina avind cuplat un dinam ce alimenta instalatia de iluminat intr-o mina.

In anii urmatoari, in afara de o masina cu abur prezentata de G. Abbot la Conferinta Internationala de energie in anul 1936, nu existau alte mari realizari in domeniul energiei solare. Explicatia este ca aparatele construite pentru obtinerea energiei solare nu au putut concura cu instalatiile in care energia era produsa din combustibili fosili [2].

O dezvoltare timida a aplicatiilor energiei solare apare prin anii 1950. Se fac cercetari asupra stocarii energiei. Astfel la M.I.T. si Universitatea Yale incep studii fundamentale asupra incalzirii caselor, asupra captatorilor plani. Cercetarile se efectueaza si in URSS sub directia lui V.A. Baum cit si in India la New Delhi [2].

Din anii 1950 problema utilizarii energiei solare a fost accentuata la toate simpozioanele si conferintele de energie: UNESCO '54 Tucson 1955, Phoenix (Arizona) 1956, Montlouis 1968, sub directia lui Felix Trombe, Conferinta Natiunilor Unite la Roma in '61, UNESCO '73 la Paris.

Criza de energie din 1973 lanseaza numeroase cercetari in energia solara, astfel ca studiile teoretice intreprinse, cit si realizările de pina in prezent, au contribuit la aparitia sistemelor energetice solare fiabile, de randament imbunatatit, la preturi de cost rezonabile, capabile sa concure economic cu anumite masini existente utilizind energii clasice.

### 3.2 SOARELE CA FURNIZOR DE ENERGIE

In evaluarea posibilitatilor de utilizare a energiei solare trebuie tinut cont de avantajele si dezavantajele acesteia.

Avantajele energiei solare o definesc ca:

inepuizabila; nepoluanta; disponibila pretutindeni; gratuita

Dezavantajele energiei solare:

este dispersa, variabila, depinde de ciclul: zi-noapte, anotimpurilor; de conditiile meteorologice locale, latitudine, altitudine

Aceste dezavantaje nu trebuie sa fie un impediment in optiunea privind dezvoltarea energeticii solare deoarece implementarea oricarei tehnologii in fazele de inceput ridica o serie de obstacole de natura tehnico-economica. Astfel este semnificativ punctul de vedere al savantului Werner von Braun exprimat in mesajul adresat participantilor la congresul "Soarele in slujba omului" tinut in anul 1973 [4] la Paris: "Sint sigur ca energia solara ne va veni in ajutor intr-o mare masura pentru nevoile viitoare de energie, industria solara este inca la primele cautari, cum a fost si industria pentru cucerirea spatiului cosmic, cind eu visam sa lansez rachete pe Luna. Cred ca sintem in zorii unei ere noi, pe care am putea-o numi era solara".

Soarele este o stea de marime mijlocie, situata intr-unul din bratele galaxiei spirale, careia ii apartinem, numita Calea Lactee.

#### 3.2.1 CARACTERISTICI FIZICO-GEOMETRICE (fig.3.1) [2]

- Distanta medie dintre Soare si Pamint este de  $1,5 \cdot 10^8$  km (parcursa in cca. 8 min. cu o viteza de 300.000 km/s)
- Distanta maxima (la 4 iulie, afeliu):  $1,52 \cdot 10^8$  km
- Distanta minima (la 2 ianuarie, periheliu):  $1,47 \cdot 10^8$  km
- Raza Soarelui:  $6,95 \cdot 10^5$  km
- Volumul Soarelui:  $1,42 \cdot 10^{18}$  km<sup>3</sup>
- Densitatea medie a materiei din care este constituit Soarele:  $1,4 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>
- Perioada de rotatie in jurul axei sale: cca. 25 zile
- Masa Soarelui:  $2 \cdot 10^{30}$  kg

Energia furnizata de Soare depinde de felul activitatii Soarelui, iar energia receptionata depinde de altitudinea locului,



de latitudinea geografică, de nebulozitate, de umiditatea atmosferică, deci de un ansamblu de condiții geografice și meteorologice care fie ca nu pot fi schimbate, fie ca scapa controlului nostru.

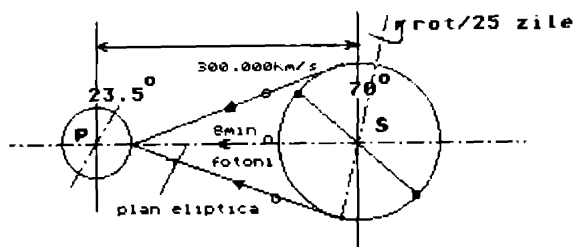


Fig.3.1 Caracteristici geometrice ale sistemului Soare-Pamint

### 3.2.2 REACTII TERMONUCLEARE DE OBTINERE A ENERGIEI SOLARE

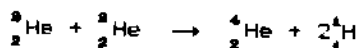
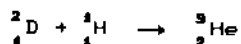
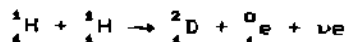
Reacțiile termonucleare de obținere a energiei solare au fost studiate și demonstrate de fizicienii Hans Bethe (1938) și Karl Weizsäcker [8].

Hans Bethe (pentru explicarea procesului de producere a energiei solare obține premiul Nobel) constată că în procesele termonucleare din stele există două cicluri complexe.

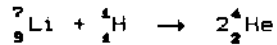
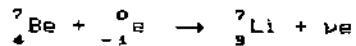
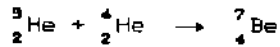
În primul ciclu, ciclul proton-proton, participă doar elementele ușoare până la bor, rolul primordial în procesul de transformare a hidrogenului în heliu avându-l izotopii hidrogenului.

La început protonii prin ciocniri produc deuteroni care prin noi cicluri cu protonii, produc heliu-3.

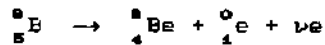
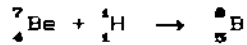
În procesele următoare unde mai participă heliu-4, beriliu-7, litiu-7, bor-8, se obține heliu-4



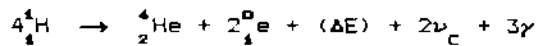
energia eliberată fiind 26,21 MeV, sau



energia eliberata fiind 26,65 MeV, sau

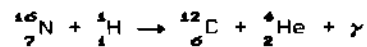
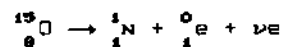
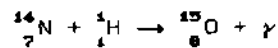
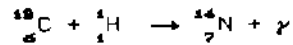
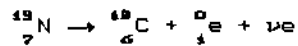
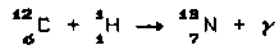


energia eliberata fiind 19,1 MeV.



este forma reactiei sintetice de obtinere a energiei din Soare prin fuziunea hidrogenului in heliu si cu degajarea de energie notata si simbolic prin  $(\Delta E)$ .

Bethe a descris cel de-al doilea ciclu, ciclul carbon-azot prin seria de reactii:



energia eliberata fiind 25,03 MeV.

In acest ciclu, carbonul se regenereaza pina la sfirsitul reactiei de fuziune, jucind rolul de catalizator.

In urma reactiilor termonucleare de transformare a hidrogenului in heliu care au loc in Soare la o temperatura de cca  $20 \cdot 10^6$  °C in mod continuu in spatiul cosmic se degaja un flux de energie radianta suficienta pentru mentinerea unei temperaturi ridicate. Masa Soarelui fiind  $2 \cdot 10^{30}$  kg, contine cca. 30 % hidrogen, fie  $0,6 \cdot 10^{29}$  molecule [2]. In cazul in care hidrogenul solar este transformat integral in heliu se obtine o productie de energie:

$$\frac{1}{4} \times 2,5 \cdot 10^{12} \times 6 \cdot 10^{32} = 3,75 \cdot 10^{44} \text{ J}$$

Pamintul receptioneaza o putere de  $1,35 \text{ kW/m}^2$ , distanta medie fata de Soare fiind  $1,5 \cdot 10^{11}$  m. Soarele radiaza:

$$4\pi(1,5 \cdot 10^{11})^2 \times 1350 \approx 3,8 \cdot 10^{26} \text{ J/s}$$

In aceste conditii Soarele poate furniza energie

$$\frac{3,75 \cdot 10^{44}}{3,8 \cdot 10^{26}} = 9,87 \cdot 10^{17} \text{ s} = 3,13 \cdot 10^{10} \text{ ani,}$$

ceea ce inseamna aproximativ 30 miliarde ani.

Se considera ca activitatea Soarelui se poate mentine la nivelul actual inca 5 miliarde ani, perioada in care masa solara acumulata din hidrogen in proportie de cca. 30 % se va transforma in heliu. Dupa epuizarea principalelor rezerve conform evolutiei generale a stelelor se va produce o contractie gravitica, prin care hidrogenul din partile marginale va fi tras in centrul stelei, unde temperatura va creste, iar fuziunea hidrogenului in heliu va continua. In aceste conditii regiunile marginale se dilata, steaua devine mai rece spre exterior, transformindu-se intr-un "gigant rosu". In stadiul urmat echilibrul devine delicat, se poate produce o explozie a stelei ce duce la aparitia de supernove [1].

Cantitatea de energie care vine de la Soare si cade in unitatea de timp pe o suprafata unitara dispusa perpendicular pe razele solare la distanta de o unitate astronomica ( $1,4945 \cdot 10^8$  km) de la centrul Soarelui se numeste constanta solara.

Pina recent determinarea valorii constantei solare se facea prin extrapolarea rezultatelor masurarilor efectuate la nivelul solului (pe munti inalti) luind in considerare transmisivitatea atmosferei. Prin astfel de determinari C.G. Abbot a stabilit valoarea constantei solare  $E_0 = 1322 \text{ W/m}^2$ . Ulterior aceste rezultate au fost completate cu masuratori efectuate din rachete si in anul 1954, Johnson a propus valoarea  $E_0 = 1395 \text{ W/m}^2$ . Ca urmare a cercetarilor intreprinse cu ajutorul avioanelor de mare altitudine, a fost realizata masurarea directa a intensitatii radiatiei solare in afara atmosferei terestre, astfel a fost propusa o noua valoare standard pentru constanta solara  $E_0 = 1353 \text{ W/m}^2$  de catre Thekaekara si Drummond [4].

### 3.3 FENOMENE FIZICE DE BAZA PRIVIND ENERGIA FURNIZATA DE SOARE

Fenomenele electrostatice si magnetostatice studiate in sec. XVIII-XIX au fost incadrate in modelul mecanicii newtoniene.

Faraday constata ca fenomenele electromagnetice nu pot fi incadrate in sistemul newtonian introducind notiunea de cimp ca stare speciala a materiei caracterizata prin linii de forta care permit transmiterea actiunilor din aproape in aproape. Astfel au fost puse bazele teoriei clasice fenomenologice macroscopice a electricitatii si magnetismului numite teoria lui Maxwell (respectiv teoria lui Maxwell si Hertz cind se aplica corpurilor mobile). Maxwell stabileste interdependenta fenomenelor electrice si magnetice cind cimpul electric variaza in timp si spatiu cu viteza finita, considerind cimpul ca notiune primara.

Tinind seama de structura atomica discontinua a corpurilor, Lorentz elaboreaza teoria microscopica a fenomenelor electromagnetice. Cimpul este considerat ca purtator de energie, impuls si moment cinetic existind si in vid.

In studiul fenomenelor electromagnetice succesiv au fost introduse teoria relativitatii si mecanica cuantica.

Prezentam in continuare, succint, fenomenele fizice de baza implicate in captarea, stocarea si utilizarea energiei solare.

### 3.3.1 ECUATIILE MAXWELL ALE CIMPULUI ELECTROMAGNETIC

Cimpul electromagnetic ca forma de existenta a materiei consta din cimpul electric si cimpul magnetic care se conditioneaza reciproc.

In cazul sarcinilor electrice in repaus, intensitatea cimpului electric  $\vec{E}$ , intr-un mediu omogen si izotrop, este data de distributia acestor sarcini electrice prin relatia [22]:

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0 \epsilon_r} \quad (3.1)$$

iar sarcina electrica

$$q = \iiint_V \rho \, dV = \epsilon_0 \epsilon_r \iiint_V \operatorname{div} \vec{E} \, dV = \epsilon_0 \epsilon_r \iint_S \vec{E} \, dS \quad (3.2)$$

Daca sarcinile electrice se afla in miscare apare un curent electric, iar conservarea sarcinii electrice conduce la ecuatia de continuitate

$$\operatorname{div} \vec{j} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.3)$$

Un curent stationar de densitate  $\vec{j}$  genereaza un cimp magnetic

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} \quad (3.4)$$

Ecuatia de continuitate poate fi scrisa sub forma

$$\operatorname{div} \operatorname{rot} \vec{H} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.5)$$

Aceasta relatie nu este valabila daca  $\rho = \rho(r, t)$ , adica daca:

$$- \frac{\partial \rho}{\partial t} \neq 0 \quad (3.6)$$

deoarece divergenta unui rotor este totdeauna zero. Deci relatia (3.4) nu poate fi valabila in cazul in care densitatea volumica de sarcina electrica depinde de timp, fiind incompleta.

Din legea inductiei electromagnetice se stie ca variatia inductiei cimpului magnetic  $\vec{B}$  este legata de aparitia unui cimp electric a carei intensitate se determina din relatia:

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3.7)$$

Daca se respecta simetria vectorilor  $\vec{E}$  si  $\vec{B}$  si in cazul vectorilor  $\vec{D}$  si  $\vec{H}$ , ar trebui sa avem o relatie de forma:

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.8)$$

Maxwell a considerat ca acesta este termenul care lipsea in relatia anterioara, deci trebuie sa scriem:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.9)$$

Daca luam divergenta in relatia (3.9) obtinem:

$$\text{div}(\text{rot } \vec{H}) = \text{div } \vec{j} + \text{div} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = 0 \quad (3.10)$$

sau

$$\text{div } \vec{j} + \frac{\partial}{\partial t} \text{div } \vec{D} = 0 \quad (3.11)$$

dar  $\text{div } \vec{D} = \rho$

Astfel obtinem ecuatia de continuitate

$$\text{div } \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (3.12)$$

Termenul  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$  introdus este numit de catre Maxwell densitatea curentului de deplasare

$$\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.13)$$

si

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \vec{j}_d \quad (3.14)$$

Deci, noul termen introdus de Maxwell, densitatea curentului de deplasare este necesar pentru ca expresia care leaga cimpul magnetic de curentul electric sa fie compatibila cu ecuatia de continuitate si in cazul in care curentii de conductie variaza in timp.

Legile experimentale ale cimpului electromagnetic, completate cu cele mentionate anterior formeaza sistemul de ecuatii Maxwell:

$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad \text{rot } \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\
 \text{(II)} \quad \text{rot } \vec{E} &= - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\
 \text{(III)} \quad \text{div } \vec{B} &= 0 \\
 \text{(IV)} \quad \text{div } \vec{D} &= \rho
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

Aceste ecuatii trebuie completate cu ecuatiile de material, care in cazul unui mediu ideal linear omogen si izotrop au forma:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} ; \quad \vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} ; \quad \vec{j} = \gamma \vec{E}
 \tag{3.16}$$

Ecuatiile (3.15) si (3.16) sint valabile in urmatoarele conditii:

- corpurile materiale aflate in cimpul electromagnetic se afla in repaus
- marimile  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  si  $\gamma$  care caracterizeaza proprietatile de material ale mediului nu depind de timp si nici de intensitatea cimpurilor
- in cimpurile studiate nu se afla magneti permanenti si substante feromagnetice.

### 3.3.2 ASPECTE CUANTICE

Teoria electromagnetica a luminii, dezvoltata pe baza ecuatiilor lui Maxwell a permis intelegerea si explicarea fenomenelor de difractie, interferenta si polarizarea luminii, dar pentru intelegerea unor fenomene de interactiune a undelor electromagnetice cu unele microparticule a fost necesar sa se admita ipoteza ca undele electromagnetice reprezinta un flux de fotoni cu energia [7]:

$$\epsilon = h\nu = \hbar\omega
 \tag{3.17}$$

Einstein afirma ca in afara energiei  $\epsilon$ , fotonului trebuie sa i se atribuie si un impuls  $\vec{p}$  care se obtine din relatia relativista

$$\epsilon = c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} \quad (3.18)$$

Fotonul neavind masa de repaus ( $m_0 = 0$ ) se obtine

$$p = \frac{\epsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h\omega}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (3.19)$$

sau vectorial

$$p = h\vec{k}$$

unde  $k$  este modulul vectorului de unda  $\vec{k}$ .

Pentru descrierea interactiunilor dintre radiatii electromagnetice si micro sisteme, in cadrul carora sint generate sau absorbite cuante electromagnetice de energie  $\epsilon = h\omega$  si impuls  $p = h\vec{k}$ , pot fi utilizate modele ale radiatiilor electromagnetice ca fiind constituite din particule (fotoni) cu energia  $h\omega$  si impulsul  $h\vec{k}$ . Schimbul de energie si de impuls dintre micro sisteme si undele electromagnetice se face prin generarea unor fotoni si absorbtia altor fotoni caracterizati de energia  $\epsilon = h\omega$  si impulsul  $h\vec{k}$ .

Caracteristicile corpusculare ale fotonului cu energia  $\epsilon$  si impulsul  $\vec{p}$  se exprima prin pulsatia  $\omega$  si vectorul de unda  $\vec{k}$ , specifice unor fenomene ondulatorii.

Legea lui Planck stabileste dependenta dintre intensitatea radiatiei emisa de un corp, temperatura acestuia si lungimea de unda pe care are loc emisiunea [33].

Se considera ca cele ( $n$ ) oscilatoare care alcatuiesc suprafata de radiatie se gasesc in volumul  $\Delta V$  mentinut la temperatura  $T$ , constanta. Se mai considera ca oscilatoarele emit radiatii in banda elementara  $\nu + (\nu + \Delta\nu)$ .

Energia totala a celor ( $n$ ) oscilatoare poate fi exprimata prin seria:

$$E = n_0 \cdot 0 + n_1 \cdot \epsilon + n_2 \cdot 2\epsilon + \dots + n_n \cdot n\epsilon + \dots \quad (3.20)$$

in care  $n_0$  este numarul oscilatoarelor lipsite de energie, iar  $n_1, n_2, \dots, n_n, \dots$  numarul oscilatoarelor de nivele energetice  $\epsilon, 2\epsilon, \dots$



Planck a stabilit ca nivelele energetice ale oscilatoarelor sint multiplu de  $\epsilon$ .

In privinta numarului oscilatoarelor ce ocupa diverse nivele energetice,  $n_1, n_2, \dots, n_n, \dots$  acestea se pot exprima in functie de numarul oscilatoarelor care sint in starea fundamentala ( $n_0$ ) cu ajutorul relatiei:

$$n_i = e^{-\epsilon_i / kT} \quad (3.21)$$

dedusa in mecanica cuantica.

Daca se noteaza:

$$e^{-\epsilon/kT} = x \quad (3.22)$$

relatia (3.20) devine:

$$E = n_0 \epsilon (0 + x + 2x^2 + 3x^3 + \dots) \quad (3.23)$$

Pe de alta parte numarul total al oscilatoarelor este

$$N = n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_i = n_0 (1 + x + x^2 \dots) \quad (3.24)$$

Energia medie a oscilatorului se obtine impartind (3.24) cu (3.23)

$$\bar{\epsilon} = \frac{E}{N} = \frac{(0 + x + 2x^2 + \dots)}{1 + x + x^2 + \dots} \quad \text{sau} \quad \bar{\epsilon} = \frac{\epsilon}{e^x - 1} = \frac{\epsilon}{e^{\epsilon/kT} - 1} \quad (3.25)$$

Experimental s-a constatat ca intensitatea de radiatie  $I_\lambda$  a energiei de radiatie cuprinsa in domeniul  $\lambda$  si  $\lambda + \Delta\lambda$  este proportionala cu energia medie de radiatie a oscilatoarelor si este invers proportionala cu lungimea de unda la puterea a patra.

$$I_\lambda = c \frac{\bar{\epsilon}}{\lambda^4} \quad (3.26)$$

unde  $c$  este viteza luminii in vid.

$$\text{Dar} \quad \epsilon = h\nu = \frac{h}{\lambda} E$$

Rezultata:

$$I_{\lambda} = \frac{h c^2 \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda k T} - 1}} \quad (3.27)$$

Cu notatiile

$$hc^2 = c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \quad [W \cdot m^2]$$

$$\frac{hc}{k} = c_2 = 1,438 \cdot 10^{-2} \quad [m \cdot K]$$

relatia (3.27) devine

$$I_{\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T} - 1}} \quad [W/m^2] \quad (3.28)$$

Potrivit reprezentarii relatiei (3.28) ce exprima legea lui Planck in diagrama din fig.3.2 pentru o anumita temperatura intensitatea radiatiei creste la inceput cu  $\lambda$ , atinge o valoare maxima dupa care incepe sa scada. Prin cresterea temperaturii, la aceeasi lungime de unda se maresc intensitatea radiatiei.

Legea lui Wien exprima legatura dintre lungimea de unda pentru care se inregistreaza valoarea maxima a intensitatii de radiatie  $I_{\lambda}$  si temperatura la care are loc emisia:

$$\lambda_m T = 2,896 \quad mm \cdot K \quad (3.29)$$

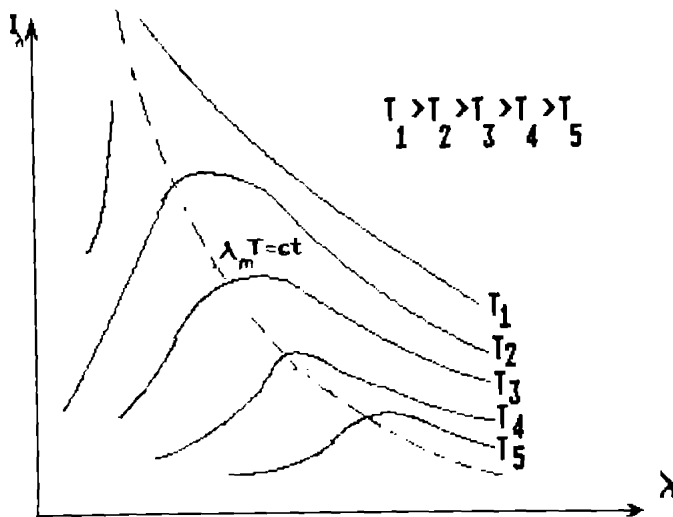


Fig.3.2 Ilustrarea legilor lui Planck si Wien

Alura acestei dependente este reprezentata in fig.3.2 cu linie intrerupta.

Legea Stefan-Boltzmann exprima valoarea energiei radiante emisa de un corp negru avind temperatura T:

$$E_N = \sigma_N T^4 = 5,68 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \quad [ \text{W/m}^2 ] \quad (3.30)$$

Legea lui Kirchhoff stabileste legatura dintre factorul energetic de emisie si factorul energetic de absorbtie pentru un corp cenusiu

$$q_{1,2} = c_{1,2} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( - \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad [ \text{W/m}^2 ] \quad (3.31)$$

si se poate utiliza pentru calculul schimbului de energie prin radiatie intre doua suprafete plan paralele de temperaturi  $T_1$  si  $T_2$ .

Coefficientul  $c_{1,2}$  se numeste "coeficient mutual de radiatie" si are dimensiunea  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ .

Legea lui Lambert determina energia totala radianta, emisa de o suprafata in toate directiile spatiului

$$d(E_1)_\phi = d(E_1)_N \cdot 2\pi \frac{1}{2} = \pi d(E_1)_N \quad (3.32)$$

Legile radiatiei au fost studiate cu ajutorul unui corp negru artificial datorita faptului ca in natura nu exista un corp absolut negru. Ideea realizarii corpului negru artificial se bazeaza pe legile lui Kirchhoff si consta in urmatoarele:

- in peretii unei incinte mentinuta la temperatura constanta T se face o deschidere mica D, (fig.3.3) care se comporta ca un element de suprafata a unui corp negru deoarece radiatia ce intra in incinta este multiplu reflectata de pereti si ramine in interiorul ei.

Pentru studiul radiatiei atat la temperaturi joase cit si la temperaturi ridicate au fost realizate diferite modele de corp negru. Pe fig. 3.4 sint reprezentate curbele obtinute pentru asemenea masuratori [23].

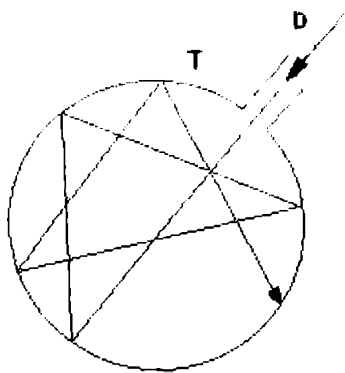


Fig.3.3 Schema corpului negru artificial

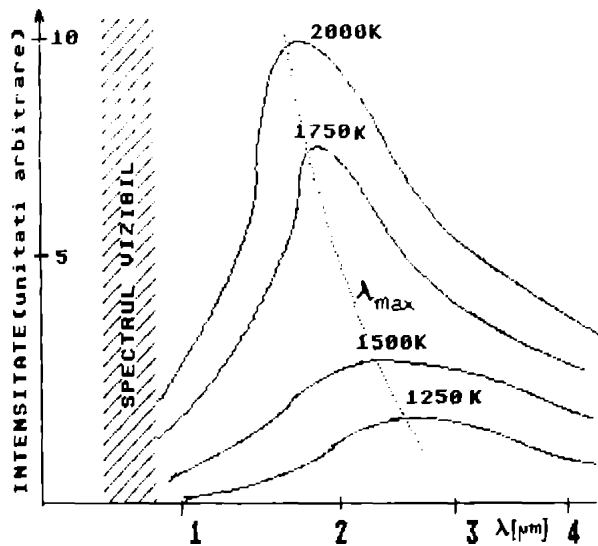


Fig.3.4 Distributia spectrala a energiei radiatiei emise de un corp solid incalzit la diferite temperaturi

Se poate observa ca la temperaturi joase (in jur de 1000 K) solidul incalzit incepe sa emita si in vizibil, dar maximul distributiei spectrale se afla departe, in infrarosu. Cu cresterea temperaturii amplitudinea curbei creste iar maximul se deplaseaza spre lungimile de unda mici, conform legii lui Wien. In cazul surselor obisnuite de lumina maximul curbei se afla deasupra regiunii spectrului vizibil.

In cazul Soarelui, maximul curbei se situeaza in mijlocul vizibilului, iar pentru stelele albe foarte calde maximul este in ultraviolet.

In fizica cuantica radiatia este considerata ca fiind un flux de particule numite fotoni care se propaga cu viteza luminii purtind energia  $h\nu$  (in care  $h = 6,6356 \cdot 10^{-34}$  J - constanta lui Planck;  $\nu$  - frecventa radiatiei). Din intreg spectru de radiatii posibile, pentru cele mai multe aplicatii energetice solare, intereseaza in special radiatia termica.

### 3.3.3 RADIATIA TERMICA

Radiatia termica este o radiatie de natura electromagnetica obtinuta pe seama miscarii de agitatie termica a particulelor corpurilor aflate la o temperatura  $T$  mai mare de  $0$  K. Radiatia termica emisa de un corp aflat la temperatura  $T$  este distribuita pe un domeniu de lungimi de unda  $\Delta\lambda = 0,2 + 1000 \mu\text{m}$ .

Spectrul radiatiei electromagnetice este impartit in zone diferite in dependenta de lungimea de unda, asa cum se prezinta in fig.3.5. Intre lungimea de unda  $\lambda$  si frecventa  $\nu$  exista corelatia:

$$c = \frac{c_0}{n} = \lambda\nu \quad (3.33)$$

unde:

$c$  - viteza luminii

$c_0$  - viteza luminii in vid

$n$  - indicele de refractie al mediului prin care se propaga

Radiatia care intereseaza in aplicatiile energetice solare se plaseaza in ultraviolet si infrarosu apropiat, adica intre lungimile de unda  $(0,2+5) \mu\text{m}$ . Energia solara din afara atmosferei contine cea mai mare parte din energia sa in domeniul lungimilor de unda  $(0,2+4) \mu\text{m}$ , in timp ce energia solara primita la sol este plasata in domeniul  $(0,29+3) \mu\text{m}$  (fig.3.5) [1].

Partea principala a spectrului radiatiei este constituita de o gama de radiatii  $\lambda$  cuprinse intre  $\lambda \in (0,1+24) \mu\text{m}$  reprezentind emisia fotosferei inferioare. Acest spectru este in vecinatatea spectrului unui corp negru la  $5800$  K; radiatii suplimentare sint emise de cromosfera sau coroana [23]:

1) radiatii ultraviolete

2) radiatii  $X$  ( $0,001 \mu\text{m} + 0,01 \mu\text{m}$ ) si unde radio electrice scurte ( $10 \text{ cm} < \lambda < 100 \text{ cm}$ ) provenind din partea foarte calda a coroanei solare, de intensitate variabila in timp.

Energia radiatiilor suplimentare reprezinta doar o fractiune inferioara de  $10^{-5}$  din spectrul radiatiei solare, astfel ca putem preciza ca spectrul radiatiei solare este cuprins intre  $0,1+5 \mu\text{m}$ , corespunzator cu spectrul corpului negru la  $5800$  K pentru  $\lambda > 1,2 \mu\text{m}$

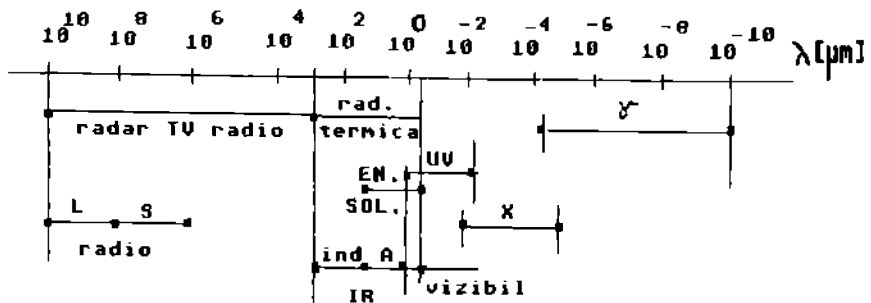


Fig.3.5 Spectrul radiatiei electromagnetice

TABELUL 3.1: REPARTITIA PROCENTUALA A ENERGIEI RADIATIEI PE REGIUNI SPECTRALE IN CAZUL CONSTANTEI SOLARE SI A CORPULUI NEGRU

Energia radiatiei	Repartitia pe regiuni spectrale [%]		
	UV (0,29÷0,40) μm	vizibil (0,40÷0,76)	IR (0,76÷24) μm
constanta solara $I_0 = 1353 \text{ Wm}^{-2}$	9,2	42,4	48,4
corp negru $I' = 1590 \text{ Wm}^{-2}$	14,03	42,53	43,44

Ecartul provine datorita faptului ca o mare parte din ultra-violet emisa de suprafata Soarelui este reabsorbita de atmosfera astrului.

Figura 3.6 prezinta cele doua spectre ale radiatiei solare. In energetica solara este foarte utila cunoasterea distributiei radiatiei solare pe diferite lungimi de unda.

Intre curba de distributie a energiei radiatiei solare in spectrul electromagnetic si constanta solara  $I_0$  exista o legatura strinsa:

$$I_0 = \int I_\lambda d\lambda \quad (3.34)$$

$I_\lambda$  - intensitatea de radiatie corespunzatoare lungimii de unda  $\lambda$  ( $W/cm^2 \cdot \mu m$  sau  $W/m^2 \cdot \mu m$ ).

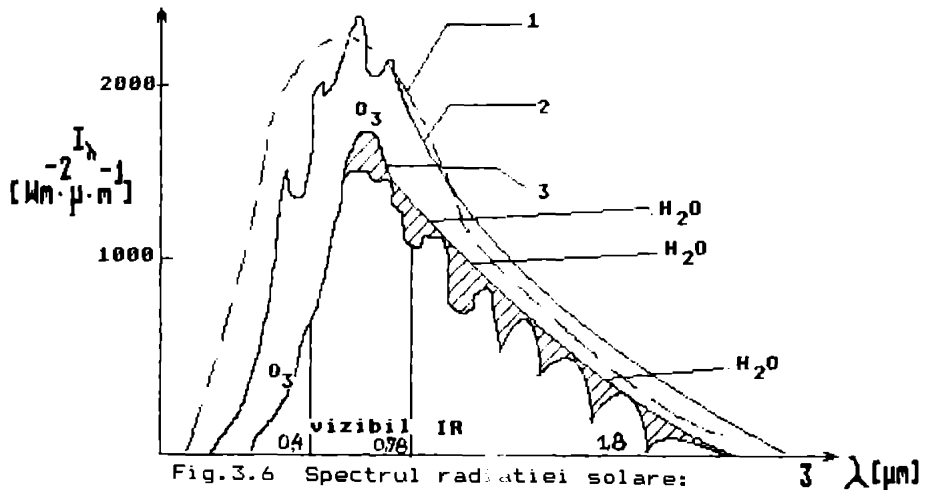


Fig.3.6 Spectrul radiatiei solare:  
 1.- corp negru la 5800 K ; 2.- curba energiei radiante la limita atmosferei ; 3. - curba energiei la nivelul marii.Zonele hasurate reprezinta benzile de absorbtie (dupa Handbook of Geophysics)

TABELA 3.2

culoarea	$\lambda$ [Å]
infrarosu	> 780
rosu	6200 - 700
portocaliu	5950 - 6200
galben	5650 - 5950
verde	4900 - 5650
albastru	4400 - 4900
violet	3900 - 4400
ultraviolet	< 3900

In tabelul nr 3.2 este data corespondenta dintre lungimea de unda si denumirea culorii corespunzatoare radiatiei monocromatice respective. Se constata ca acest spectru (fig.3.6) prezinta un maxim foarte pronuntat corespunzator lungimii de unda de 4700 Å adica in domeniul razelor albastre. Inlocuind aceasta valoare in legea lui Wien:

$$\lambda_m T = 2,896 \quad [\text{mm}\cdot\text{K}] \quad (3.35)$$

obtinem  $T = 6150 \text{ K}$  care este temperatura medie pe suprafata Soarelui, determinata pe baza legii deplasarii a lui Wien [23].

De la acest maximum intensitatea de radiatie scade brusc spre violet si lin spre rosu. O concluzie foarte importanta referitoare la radiatia emisa de Soare este:

- Soarele emite un spectru continuu in care sint prezente radiatii de toate lungimile de unda, radiatiile de diferite lungimi de unda transportind in intervale de timp egale energii diferite.

In fig.3.7 este reprezentata variatia energiei fotonului cu lungimea de unda.

Ochiul omenesc prezinta o sensibilitate maxima pentru lungimea de unda  $\lambda_1 = 5550 \text{ Å}$ .

Un corp absolut negru emite radiatii electromagnetice de intensitate maxima pentru lungimea de unda egala cu  $\lambda_1$ , daca temperatura acestuia este  $T = 5200 \text{ K}$ .

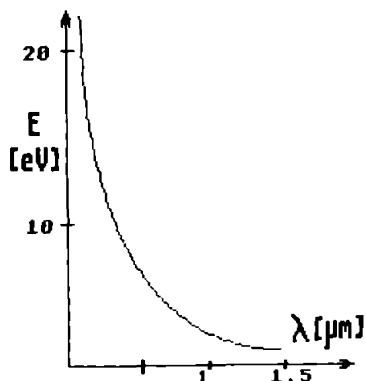


Fig.3.7 Variatia energiei fotonului cu lungimea de unda

Sensibilitatea maxima a ochiului pentru lumina cu lungimea de unda  $\lambda_1$  nu este intimplatoare deoarece spectrul radiatiei solare, dupa trecerea prin atmosfera prezinta maximum chiar la aceasta lungime de unda. Lumina emisa de un corp absolut negru, de temperatura  $T=5200 \text{ K}$  se considera "lumina alba" [22].



### 3.4 COMPOZITIA ATMOSFEREI

Atmosfera este constituita din troposfera considerata de la sol pina la 10+15 km altitudine, unde temperatura scade cu  $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  pe kilometru, pentru a atinge  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  pina la  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  la baza zonei imediat superioare care se numeste stratosfera. Zona superioara stratosferei se numeste ionosfera [2].

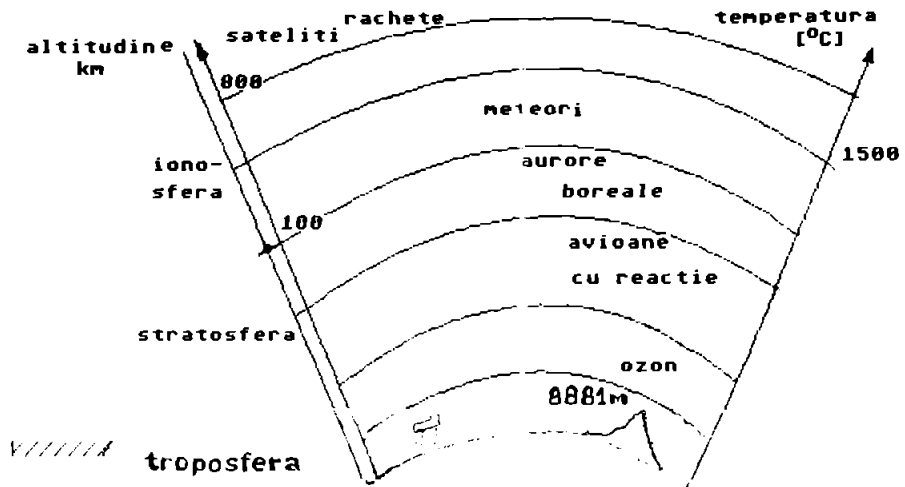


Fig.3.8 Secțiune prin atmosfera

Pina la 80 km compoziția gazoasă rămâne neschimbată: 78 %  $\text{N}_2$ , 21 %  $\text{O}_2$ , 0,9 % A, 0,03 %  $\text{CO}_2$  cit și urme de alte gaze: ozonul  $\text{O}_3$  se găsește la 18 km și vaporii de apă aproape de sol.

Jumatate din masa gazoasă este cuprinsă între 0 + 5 km altitudine, unde și presiunea este pe jumătate din presiunea de la suprafața mării, iar 9/10 din atmosfera este situată sub nivelul de 15 km (100 mbar). În componența masei gazoase mai intra aerosoli, nori, particule de praf, cristale de gheață. La altitudini foarte

mari se gasesc atomi de heliu si hidrogen.

Vaporii de apa sint concentrati in vecinatatea solului. Stratul 0 + 5000 m contine 95 % din cantitatea totala a vaporilor din atmosfera, iar stratul 0 + 2000 m contine 50 % .La altitudinea de peste 20 km cantitatea vaporilor este extrem de redusa, admitind ca mai exista nori, disparind total la altitudinea de peste 70 km.

### 3.5 INTERACTIA RADIATIILOR SOLARE CU ATMOSFERA TERESTRA

Razele X si ultravioletele ( $\lambda < 0,18 \mu\text{m}$ ) sint absorbite integral deasupra nivelului de 60 km.

Razele ultraviolete ( $0,18 < \lambda < 0,29 \mu\text{m}$ ) sint absorbite integral de  $O_2$  sau  $O_3$ , iar razele ultraviolete din domeniul apropiat partial intre 10 + 50 km.

Absorbtia scade cu cresterea lungimii de unda:domeniul vizibil este absorbit doar partial ( $0,4 < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$ ),atenuarea rezultind din difuzie.Domeniul infrarosu este absorbit de bioxidul de carbon,apa si ozonul din troposfera [2].

Citam principalele benzi de absorbtie ale elementelor constituante ale atmosferei:

- $O_3$  prezinta benzi puternice intre ( $0,2+0,3 \mu\text{m}$ ) si slabe intre ( $0,45 + 0,7 \mu\text{m}$ ) si in infrarosu intre ( $10 + 14 \mu\text{m}$ )
- $O_2$  prezinta benzi inguste intre ( $0,69 + 0,76 \mu\text{m}$ )
- $CO_2$  prezinta benzi inguste intre ( $1,6 + 2 \mu\text{m}$ ) si puternice, bine marcate intre ( $2,25 + 4,15 \mu\text{m}$ )
- vaporii de apa prezinta benzi multiple si complexe:
  - banda A:  $0,72 \mu\text{m}$
  - banda 0,8:  $0,82 \mu\text{m}$
  - benzile  $\rho, \sigma, \tau: 0,92 \mu\text{m}$ 
    - $\phi: 1,1$
    - $\psi: 1,4$
    - $\Omega: 1,9$
    - $\chi: 2,4 + 2,9$  puternica
    - $\xi + 4 \mu\text{m}$  puternica
    - $6 \mu\text{m}$  puternica

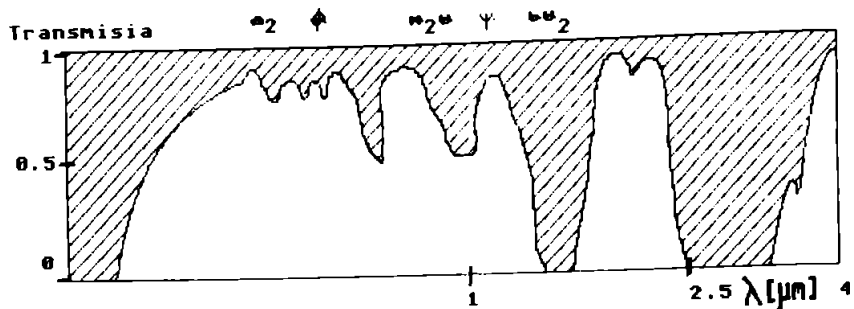


Fig.3.9 Banda de absorbtie a atmosferei la nivelul solului;  $W = 2 \text{ cm}$ ;  $W = \text{masa de apa condensabila}$

Absorbtia este cvasitotala de la  $25 \mu\text{m}$ . Pozitia si latimea benzii de absorbtie este influentata de temperatura si presiune.

Absorbtia selectiva pentru gaze ramine slaba si constanta intre  $(0,3 + 0,7) \mu\text{m}$  ( $\text{O}_3$  si  $\text{O}_2$ ) dar devine importanta si variabila pentru lungimi de unda cuprinse intre  $(0,7 + 4) \mu\text{m}$  sub influenta vaporilor de apa. La sol radiatia inferioara lungimii de unda  $0,3 \mu\text{m}$  este neglijabila. Radiatia absorbita selectiv de atmosfera serveste la cresterea temperaturii acesteia.

Daca radiatia traverseaza un mediu cu un indice de refractie spre alt mediu cu indice de refractie diferit, se produce o deviere a radiatiei luminoase (refractie). Daca variatia indicelui este brusca pe un domeniu ingust, comparativ cu lungimea de unda a radiatiei, o anumita cantitate de radiatie incidenta este retransmisa spre cel dintii mediu intr-o directie privilegiata: spunem ca avem un fenomen de reflexie, cind radiatia traverseaza goluri sau loveste obstacole de dimensiunile ordinului de marime al lungimii de unda, aceasta este deviata in mai multe directii privilegiate, reprezentind insasi fenomenul de difractie.

In final, daca fascicolul incident este reflectat in toate directiile prin irregularitatile de suprafata repartizate la voia intimplarii, dimensiunile fiind de ordinul de marime al lungimii de unda, sau inferioare, in acest caz avem fenomenul de difuzie.

Fenomenul de difuzie este cauza principala a luminozitatii

diurne si nu este eficace decit sub altitudinea de 50 km.

Daca dimensiunile particulelor difuze sint net inferioare lungimii de unda,obtinem rezultatele urmatoare deduse de Rayleigh:

1) intensitatea difuza este invers proportionala cu lungimea de unda  $\lambda^4$ .

2) coeficientul de extinctie este  $k = -\frac{32}{3} \frac{\pi^2}{N} (n-1)^2 \frac{1}{\lambda^4}$  unde N este numarul de molecule in unitatea de volum, (n) indicele de refractie al gazului [1].

In cazul in care Soarele este la zenit, intensitatea radiatiilor incidente poate fi redusa prin difuzie cu 50 % in ultraviolet, 30 % in violet, 5 % in rosu si cu o cantitate neglijabila in infrarosu de la 1  $\mu$ m. Reducerea este cu atit mai importanta cu cit inaltarea Soarelui pe bolta este mai mica, putind deveni considerabila in vizibil si mai ales in ultraviolet.

Astfel se explica:

a) culoarea albastra a cerului; aceasta este nuanta luminii difuzate prin aer spre sol, mult mai bogata in radiatii de lungime de unda scurta (albastru, violet) decit lumina transmisa direct; ochiul fiind mult mai sensibil la albastru decit la violet, practic nu vede decit prima (cea dintii) culoare.

b) culoarea rosie a Soarelui atunci cind acesta este aproape de orizont: radiatiile de lungime de unda sint absorbite treptat si in masura in care densitatea atmosferei traversate creste. La apusul Soarelui nu ramine decit culoarea galbena si rosie.

c) difuzia contribuie la atenuarea cantitatii minime de radiatie ultravioleta ramasa in urma traversarii atmosferei pina la suprafata solului..

Fenomenele de absorbtie si difuzie sint cauza fenomenului de atenuare a intensitatii radiatiei ce are loc la interactia undelor electromagnetice cu atmosfera. Cu relatiile din fig. 3.10 putem exprima atenuarea intensitatii radiatiei cu lungimea de unda  $\lambda$  prin [1].

$$dI_{\lambda} = k_{\lambda} \rho I_{\lambda} dS \quad (3.36)$$

unde:  $k_{\lambda}$  - constanta ce depinde de lungimea de unda  
 $\rho$  - densitatea atmosferei considerata deobicei constanta

Integrând relația (3.36) avem în final forma exponentială:

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} e^{-\int_0^s k_{\lambda} \rho ds} \quad (3.37)$$

Distanța strabatută de radiația solară prin atmosferă depinde de unghiul zenital  $Z$ .

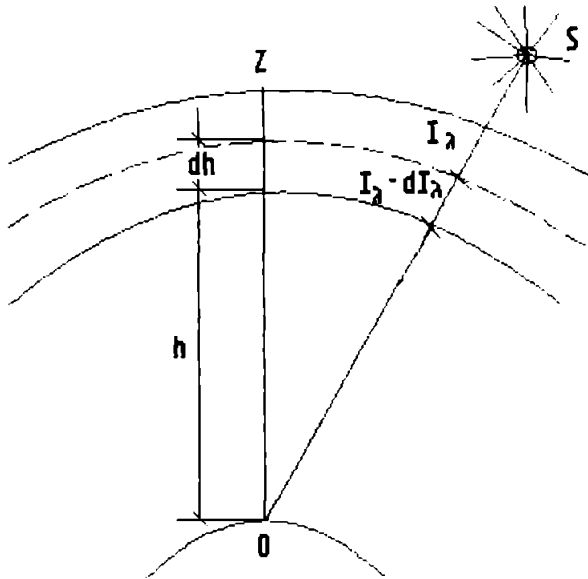


Fig.3.10  
Calculul distanței  
strabatute de radiația  
solară

În meteorologie se introduce un coeficient ( $m$ ) definit prin:

$$m = \frac{\int_0^s \rho ds}{\int_0^h \rho dh} \quad (3.38)$$

Coeficientul  $m$  este numit masă atmosferică (deși nu are dimensiuni de masă) și arată cu cât se lungeste drumul strabatut de radiație datorită diferitelor poziții ale Soarelui pe bolta față de situația când se află la zenit [1]. Cu acestea se poate scrie:

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} e^{-k_{\lambda} \int_0^h \rho dh} \quad (3.39)$$

Expresia:

$$a_{\lambda} = K_{\lambda} \int_0^h \rho \, dh \quad (3.40)$$

se numeste coeficient de extinctie monocromatica si avem:

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} e^{-a_{\lambda} \cdot m} \quad (3.41)$$

Se noteaza cu:  $e^{-a_{\lambda}} = b_{\lambda}$ ,  $b_{\lambda}$  fiind numit coeficient de transmisie monocromatica, iar intensitatea la suprafata solului pentru lungimea de unda  $\lambda$  se va scrie:

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} \cdot b_{\lambda}^m \quad (3.42)$$

Curbura Pamintului fiind destul de redusa, pentru unghiuri zenitale  $Z \leq 60^{\circ}$  putem inlocui arcul cu coarda si avem:

$$dh = ds \cos Z \quad (3.43)$$

### 3.6 BILANTUL ENERGETIC AL SISTEMULUI PAMINT-ATMOSFERA

Parcurserea atmosferei de catre radiatia solara are drept efect nu numai atenuarea ei ci si modificari importante in compozitia sa spectrala. Intensitatea radiatiei solare ce ajunge la sol este maxima in miezul zilei si vara scazind datorita distantei parcurse prin atmosfera dimineata si dupa amiaza si deasemenea in celelalte anotimpuri cind inaltimea Soarelui pe bolta este mai scazuta.

Din radiatia globala  $I_G$  care atinge solul ca urmare a unor interactii ce se produc, o parte este reflectata iar alta absorbita.

Se numeste albedo capacitatea solului de a reflecta radiatiile electromagnetice provenite de la Soare si este definit prin:

$$A = I_R / I_G = I_R / (I_D + I_d) \quad (3.44)$$

unde prin  $I_R$  s-a notat intensitatea radiatiei reflectate si prin  $I_G$  intensitatea radiatiei globale cu cele doua componente de radiatie difuza  $I_D$  si directa  $I_d$  [1].

Pamintul absorbind o parte din radiatia solara se incalzeste si radiaza la rindul sau. Temperatura solului este putin ridicata, cca.  $15^{\circ}\text{C}$ , radiatia fiind situata, in acord cu legea lui Wien, in spectrul cuprins intre  $(4 \div 125) \mu\text{m}$  cu maximum situat la  $10 \mu\text{m}$ .

Atmosfera considerata ca un strat, v-a primi atat radiatia solara directa, cit si radiatia solului terestru; incalzindu-se atmosfera v-a radia atat inspre spatiul cosmic cit si inspre sol.

Aerul atmosferic este un mediu cu o conductibilitate termica redusa, el va retine doar o mica parte din radiatia solara care il strabate astfel incit partea cea mai insemnata va ajunge la suprafata terestra. La rindul sau suprafata Pamintului devine o sursa de energie.

Procesele de incalzire si racire ale atmosferei se datoreaza in primul rind caldurii primite si cedate de suprafata terestra in cadrul schimburilor calorice realizate prin convectie si radiatie.

In cursul unei zile radiatia solara directa, pentru a contribui la majorarea partii pozitive a bilantului energetic, se adauga radiatiei difuze si radiatiei proprii a atmosferei. Contrar, elementele negative ale bilantului energetic sint energia reflectata de sol si nori, cit si pierderile prin radiatia telurica. Bilantul radiatiei, care este suma algebrica a acestor cantitati diferite este pozitiv pina dupa amiaza, solul incalzindu-se. In decursul noptii se produce o racire a acestuia datorita faptului ca radiatia de retrodifuzie atmosferica nu poate compensa in intregime pierderile.

Bilantul energetic al sistemului Pamint-atmosfera, este in dependenta de: factori meteorologici, compozitia atmosferei, latitudine, perioada calendaristica, proprietatile fizice ale suprafetei terestre, albedo, emisivitate, stare hygrometrica, conductibilitate termica.

Daca admitem ca la limita atmosferei Pamintului primeste o cantitate de energie de  $8,6 \text{ kWh/m}^2\text{zi}$  (fig.3.11) reprezentind 100%, 47 % din radiatia este absorbita de Pamint, 31 % traverseaza direct atmosfera, iar 16 % reprezinta radiatia difuza.

Fig.3.12 prezinta bilantul energetic radiativ global, energia solara absorbita si radiatia infrarosie emisa de sistem in spatiu. Se observa ca echilibrul radiativ este realizat doar intre  $30^\circ$  si  $40^\circ$  latitudine cu un dezechilibru pozitiv spre ecuator si negativ spre poli. Bilantul global este, evident, nul. De aici rezulta, nu un echilibru termic stabilit pentru fiecare altitudine, ci un transfer de caldura intre ecuator si poli ce atenuueaza reincalzi-

rea la ecuator si racirea la poli. Exista un flux de caldura a masei de aer cald crescind cu latitudinea, un flux de caldura a masei de aer rece antrenat de la poli spre regiunile tropicale si un flux de caldura furnizata de suprafetele oceanice calde, in momentul evaporarii este eliberata in atmosfera la latitudini ridicate atunci cind intervine condensarea [2].

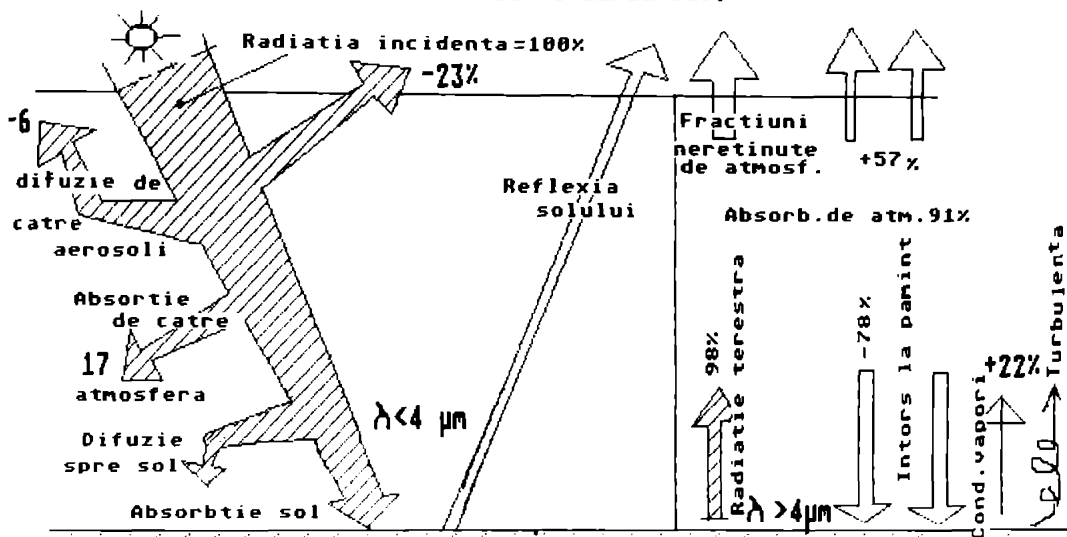


Fig.3.11 Bilantul radiatiei solare si a radiatiei terestre

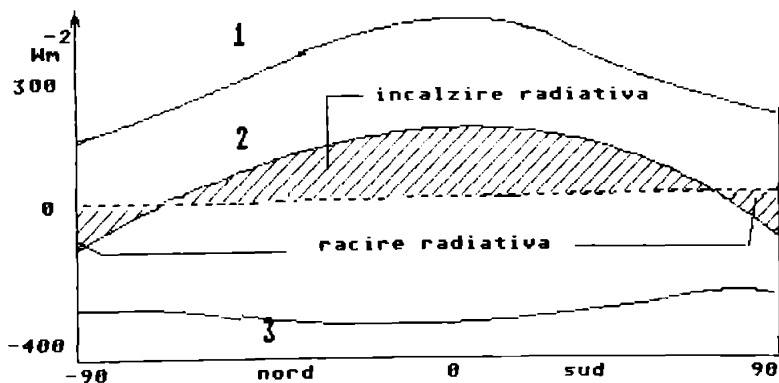


Fig. 3.12 Bilantul radiativ global al sistemului Pamint-atmosfera: 1) energia solara absorbita; 2) radiatia infrarosie emisa de sistem in spatiu; 3) bilant radiativ



### 3.7 ENERGIE INCIDENTA, PUTERE INCIDENTA

Consideram o suprafata de  $1 \text{ m}^2$  pe care cade intr-un fascicol de raze paralele radiatia emisa de un corp negru. Incidenta razelor pe suprafata este normala. Pentru a calcula energia incidenta pe aceasta suprafata intr-un interval de timp  $\Delta t$ , constatam ca pe ea sosesc toti fotonii situati la distanta mai mica sau cel mult egala cu  $c \cdot \Delta t$ ,  $c$  reprezentind viteza de propagare a luminii. Radiatia nefiind monocromatica energia este transportata de fotoni de diferite frecvente  $\nu$  si deci de diferite energii  $h\nu$ . Notind cu  $n$  numarul de fotoni din unitatea de volum, exprimam numarul de fotoni din unitatea de volum  $dn$ , de frecventa cuprinsa intre  $\nu$  si  $\nu+d\nu$  sub forma [1]:

$$dn = n \cdot f(\nu) \cdot d\nu \quad (3.45)$$

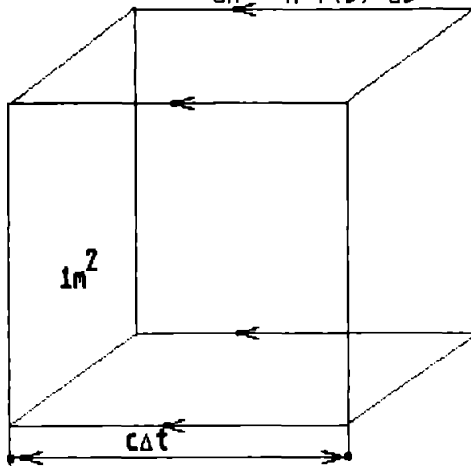


Fig.3.13  
Schema de calcul a  
puterii incidente

$f(\nu)$  reprezentind functia de distributie a fotonilor dupa criteriul frecventa, depinzind de temperatura corpului negru, sursa a radiatiei. Energia sosita pe suprafata considerata ca rezultat al incidentei fotonilor a caror frecventa este cuprinsa intre  $\nu$  si  $\nu+d\nu$  in intervalul de timp  $dt$  este data de:

$$dE = n \cdot h \cdot \nu \cdot f(\nu) \cdot c \cdot dt \cdot d\nu \quad (3.46)$$

iar energia totala

$$\Delta E = \int_0^{\infty} n \cdot h \cdot \nu \cdot f(\nu) \cdot c \cdot dt \cdot d\nu \quad (3.47)$$

Puterea incidenta pe suprafata considerata numita si intensitate a radiatiei este:

$$I = -\frac{\Delta E}{\Delta t} = c \int_0^{\infty} n \cdot h \cdot \nu \cdot f(\nu) \cdot d\nu \quad (3.48)$$

marimea

$$w = \int_0^{\infty} n \cdot h \cdot \nu \cdot f(\nu) \cdot d\nu \quad (3.49)$$

reprezentind densitatea de energie in unda electromagnetica incidenta, marime numeric egala cu energia inmagazinata in unitatea de volum a spatiului prin care se propaga unda electromagnetica.

Marimea

$$w = \int_0^{\infty} n \cdot h \cdot \nu \cdot f(\nu) \quad (3.50)$$

se numeste densitate spectrala de energie,relatia (3.49) putind fi scrisa si sub forma:

$$w = \int_0^{\infty} w(\nu) \cdot d\nu \quad (3.51)$$

Deoarece intre frecventa  $\nu$  si lungimea de unda  $\lambda$  exista relatia  $\lambda = c/\nu$ , toate marimile introduse mai sus pot fi exprimate si in functie de lungimea de unda, relatia (3.51) putind fi scrisa sub forma:

$$w = \int_0^{\infty} w(\lambda) \cdot d\lambda \quad (3.52)$$

unde  $w(\lambda)$  reprezinta tot densitatea spectrala de energie exprimata de data aceasta in functie de lungimea de unda. Relatia (3.48) devine:

$$I = \int_0^{\infty} c \cdot w(\lambda) \cdot d\lambda = \int_0^{\infty} I_{\lambda} \cdot d\lambda \quad [W/m^2] \quad (3.53)$$

marimea  $I_{\lambda}$  reprezentind intensitatea spectrala a radiatiei masurata in  $W/m^2$ . Intensitatea radiatiei joaca un rol central in energetica solara si fara cunoasterea ei cu precizie, este imposibila determinarea eficientei unui sistem energetic solar.

### 3.8 TRANSFERUL DE CALDURA, LEGI FUNDAMENTALE

Caldura poate fi transmisa cu ajutorul unui suport material, prin soc de particule sau, fara suport de substanta, propagarea fiind in acest caz de natura radiativa.

#### 3.8.1 TRANSFERUL DE CALDURA CU SUPORT MATERIAL

##### a) Transmisia caldurii prin conductibilitate

Consideram un corp solid (S) izolat periferic, avind temperatura neuniforma ( $T_1 > T_2$ ). Evoluind in timp, la un moment dat, temperatura corpului (S) devine uniforma; caldura a fost transmisa prin conductibilitate termica (conductivitate sau conductie) din zonele cu temperatura mai ridicata spre zonele cu temperatura mai scazuta (Fig.3.14).

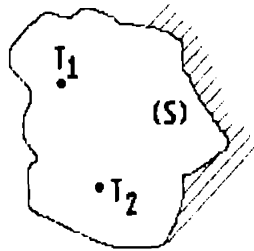


Fig.3.14  
Transferul de caldura  
cu suport material  
prin conductibilitate

##### b) Transmisia caldurii prin convecție

Fie un perete avind temperatura medie  $T_1$  si un fluid intr-o miscare oarecare in contact cu acest perete de exemplu cu  $T_1 > T_2$

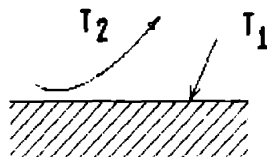


Fig.3.15  
Transferul de caldura  
prin convecție

Notatie:

In timp temperatura  $T_1$  se micsoareaza iar  $T_2$  creste.

Intre perete si fluidul in miscare se realizeaza un schimb de caldura prin convecctie.

Distingem:

- convecctie naturala; fluidul este pus in miscare prin intermediul curentilor determinati de diferenta de temperatura intre perete si lichid

- convecctie fortata: fluidul este pus in miscare printr-o metoda mecanica, de obicei pompa sau ventilator

### 3.8.2 TRANSFERUL DE CALDURA FARA SUPTOR MATERIAL

Transmisia caldurii prin radiatie

Plasam intr-o incinta izolata, in vid, doua corpuri ( $S_1$ ) si ( $S_2$ ) la temperaturile initiale  $T_1$  si  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) fig.3.16.

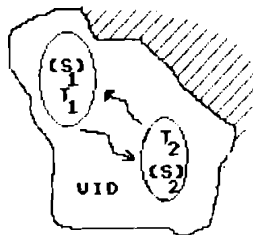


Fig.3.16  
Transferul de caldura  
fara suport material

In timp observam ca  $T_1$  scade, iar  $T_2$  creste.

Intre cele doua corpuri s-a produs un schimb de energie, in plus fara suport de substanta ceea ce permite a presupune ca energia este de natura radiativa.

Spunem in acest caz ca s-a produs un schimb de energie (sau caldura) prin radiatie.

### Transmisia caldurii prin conductibilitate

Fie un corp oarecare (S) de temperatura neuniforma. Cantitatea de caldura  $dQ$  traversind o suprafata  $dA$  din (S) intr-un timp  $dt$  este data de legea lui Fourier.

$$dQ = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T \cdot d\vec{A} \cdot dt \quad (3.54)$$

$\lambda$  - coeficient de conductivitate termica al materialului ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ), depinde de natura corpului si de temperatura.

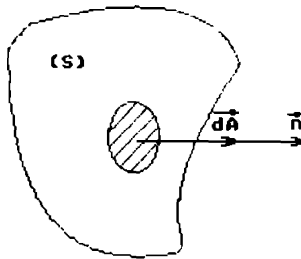


Fig.3.17  
Transmisia caldurii  
prin conductibilitate

Introducem notiunea de densitate a fluxului de caldura:

$$\phi = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T \quad (3.55)$$

Cantitatea de caldura ce traverseaza o suprafata prin conductibilitate este fluxul vectorului  $\phi$  la traversarea suprafetei considerate.

### Transmisia caldurii prin convecție

Fie un fluid in miscare in apropierea unui perete de temperaturi  $T_1 > T_2$  (fig.3.18). La suprafata exista o puternica variatie de viteza.

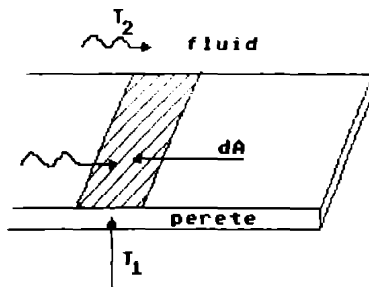


Fig.3.18  
Transmisia caldurii  
prin convecție

Existenta unui gradient de temperatura corespunde unei transmisii de caldura prin conductibilitate in aceasta zona.

Legea lui Newton exprima cantitatea de caldura  $dQ$  schimbata prin convecție in timpul  $dt$ .

$$dQ = h_c (T_1 - T_2) \cdot dA \cdot dt \quad (3.56)$$

$h_c$  - coeficient de schimb de caldura prin convecție sau coeficient de convecție ( $W/m^2 \cdot K^{-1}$ )

$T_1$  - temperatura suprafetei

$T_2$  - temperatura fluidului

$dA$  - aria suprafetei de contact

### Transmisia caldurii prin radiatie

Toate corpurile avind temperatura superioara de zero absolut emit in spatiul inconjurator radiatie a carei energie se repartizeaza pe o zona spectrala corespunzatoare prin interval de lungime de unda.

Corpul negru prin definitie este corpul absorbant ideal, ce absoarbe integral radiatia incidenta. Spectrul corpului negru (fig.3.19) este reprezentat printr-o curba  $E_\lambda^\circ = E^\circ(\lambda, T)$ , unde  $E_\lambda^\circ$  este emitanta monocromatica, adica reprezinta cantitatea de energie emisa pe o banda de lungime de unda unitara de o suprafata de emisie de arie unitara, pe secunda.  $E_\lambda^\circ$  se exprima in  $W \cdot m^{-2}$  si este reprezentata prin aria hasurata din fig.3.19.

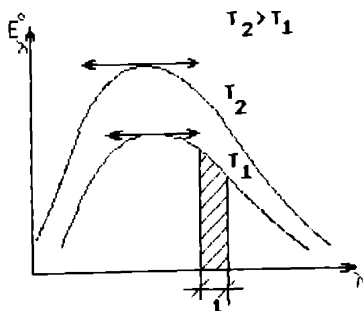


Fig.3.19  
Spectrul corpului negru

Spectrul corpului negru variaza cu temperatura, maximul curbei fiind deplasat.

Cantitatea de energie (in general energia termica) radiata pe unitatea de suprafata in unitatea de timp de un corp negru in unghiul solid de  $2\pi$  steradiani, se obtine integrand curba precedenta:

$$E^{\circ} = \int_0^{\infty} E_{\lambda}^{\circ} \cdot d\lambda \quad (3.57)$$

Legea lui Planck permite obtinerea teoretica a valorii  $E^{\circ}$ , relatie ce constituie legea lui Stefan Boltzmann:

$$E^{\circ} = \sigma \cdot T^4 \quad (3.58)$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \quad [W \cdot m^{-2} K^{-4}] \quad (3.59)$$

T - temperatura absoluta a emitatorului

$E^{\circ}$  - cantitatea de energie emisa de unitatea de suprafata in unitatea de timp [ $W \cdot m^{-2}$ ].

### 3.9 DETERMINAREA INTENSITATII ENERGIEI SOLARE RECEPTIONATE DE UN CAPTATOR PLAN

Fie o suprafata plana inclinata cu un unghi  $i$  fata de suprafata Pamintului. Alegem pentru originea axelor un punct (O) situat pe intersectia planului (P) cu planul orizontal (H). (O) fiind in planul (H), iar Oz vertical; Oz este orientata spre sud [2].

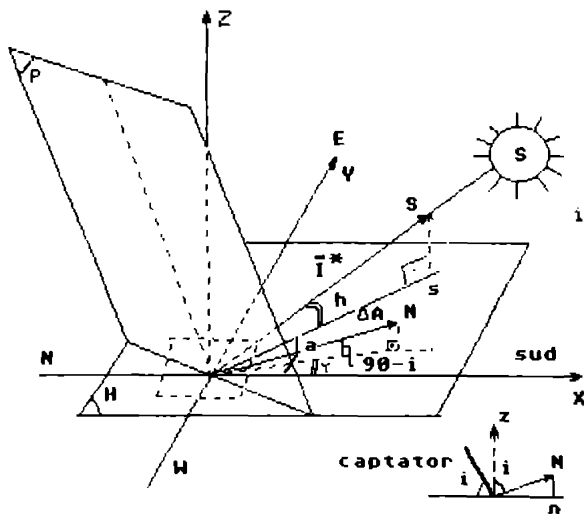


Fig.20 Determinarea intensitatii radiatiei solare directe receptionata de un captator plan

Consideram un element de captator plan de suprafata  $\Delta A$  situat in origine. Aceasta admite o normala  $ON$ , proiectia pe planul  $(H)$  fiind  $On$ . Definim  $\vec{\Delta A}$ , vector pe directia normalei  $ON$ .

Unghiul format de  $\vec{\Delta A}$  cu planul orizontal este  $nON = 90^\circ - i$ , iar unghiul format de  $\vec{On}$  cu directia SUD ( $Ox$ ) este  $\gamma$ . Unghiul care determina inaltimea soarelui este  $sOS$ ,  $s$  fiind proiectia intensitatii radiatiei solare pe planul  $(H)$ . Se defineste  $\vec{I}^*$  ca un vector pe directia  $OS$ , modulul acestuia fiind insasi masura intensitatii radiatiei solare, orientat de la  $O$  la  $S$ . Fluxul vectorului  $\vec{I}^*$  traversind suprafata  $\Delta A$  este produsul scalar

$$\Delta \phi = \vec{I}^* \cdot \vec{\Delta A} \quad (3.60)$$

Daca  $\Delta A = 1 \text{ m}^2$ , fluxul se exprima cu aceeaasi masura ca si componenta intensitatii radiatiei solare normale pe planul captatorului  $S(i, \gamma)$ . Din triedrul  $Oxyz$  se obtin pentru componentele intensitatii radiatiei solare  $\vec{I}^*$ .

$$\begin{aligned} I^* \cos h \cdot \cos a \\ I^* \cos h \cdot \sin a \\ I^* \sin h \end{aligned} \quad (3.61)$$

iar pentru  $\vec{\Delta A}$

$$\begin{aligned} \cos(90^\circ - i) \cos \gamma &= \sin i \cos \gamma \\ \cos(90^\circ - i) \sin \gamma &= \sin i \sin \gamma \\ \sin(90^\circ - i) &= \cos i \end{aligned} \quad (3.62)$$

Expresia lui  $S^*(i, \gamma)$  ( $S = I_N \sin h$  reprezentind radiatia directa pe o suprafata orizontala), devine:

$$\begin{aligned} S^*(i, \gamma) &= I^* \cos h \cdot \cos a \cdot \sin i \cos \gamma + I^* \cos h \cdot \sin a \cdot \sin i \cdot \sin \gamma + \\ &+ I^* \sin h \cdot \cos i = \\ &= I^* [\cos h \cdot \sin i (\cos a \cdot \cos \gamma + \sin a \cdot \sin \gamma) + \sin h \cdot \cos i] = \\ &= I^* [\cos h \cdot \sin i \cdot \cos(a - \gamma) + \sin h \cdot \cos i] \end{aligned} \quad (3.63)$$

relatie unde  $i$  reprezinta unghiul de inclinare, iar  $\gamma$  orientarea raportata la directia SUD.

#### Cazuri particulare

- 1)  $i = 0$  plan orizontal  $S^* = I^* \sin h$
- 2) plan vertical orientat spre SUD  $i = 90^\circ$ ,  $\gamma = 0$   
 $S^*(90, \text{SUD}) = I^* \cos h \cdot \cos a$



3) plan inclinat si orientat spre sud:  $\gamma = 0$

$$S^*(i, \text{SUD}) = I^* (\cos h \cdot \sin i \cdot \cos a + \sin h \cdot \cos i)$$

4) plan vertical de orientare oarecare:  $i = 90^\circ$

$$S^*(90, \gamma) = I^* \cos h \cdot \cos(a - \gamma), \text{ avem deasemenea}$$

$$\gamma = -45^\circ \text{ pentru o fatada sud - est si}$$

$$\gamma = 90^\circ \text{ pentru o fatada orientata spre vest}$$

### 3.10 CONVERSIA FOTOTERMICA

Captarea energiei solare folosind procesul de conversie fototermica pentru a obtine temperaturi de ordinul a  $100^\circ\text{C}$  fata de temperatura mediului ambiant a facut obiectul a numeroase cercetari cu scopul de a se putea recupera o cantitate mai mare de energie solara chiar si in perioadele mai reci.

Un convertor fototermic in limbajul uzual este numit "captator solar" si reprezinta elementul esential utilizat in conversia energiei solare in caldura.

Nivelul scazut al temperaturii in cazul unui captator solar fara concentrarea radiatiei solare se explica prin:

- reemisia prin radiatie a receptorului
- pierderile de caldura prin convecție la periferia captatorului

Un captator ideal ar trebui sa fie constituit dintr-o parte de captare cu:

- factor total de absorbtie ridicat in raport cu radiatia solara
- factor total de emisie slab pentru temperatura medie de functionare a acestuia
- o izolatie termica foarte buna a intregului sistem

In general conditiile cerute anterior sint incompatibile, astfel ca doar anume suprafete selective, la un pret ridicat, permit obtinerea unui factor total de absorbtie ridicat si de emisie scazut.

Limitarea pierderilor in cazul captatorilor se face prin:

- diminuarea reemisieii unei suprafete expuse radiatiei prin utilizarea efectului de sera

Fie o suprafata expusa intensitatii de radiatie  $I$ , pe care punem o placa de sticla de grosime  $e$ , conform fig.3.21 [2].

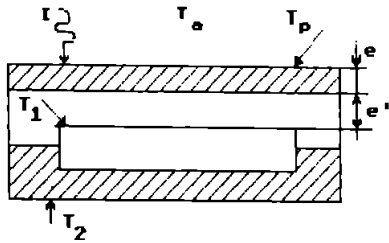


Fig.3.21  
Efectul de sera

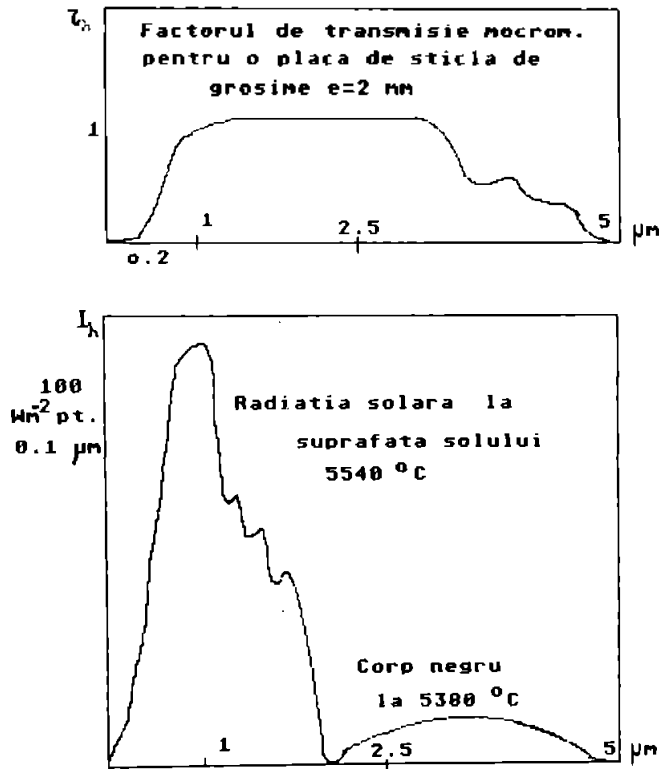


Fig.3.22 Factorul de transmisie al placii de sticla

Factorul de transmisie monocromatic  $\tau_\lambda$  al placii de sticla depinde de temperatura corpului ce emite radiatia:  $T_S$  (temperatura Soarelui) si intr-o masura mai mica de temperatura  $T_p$  a receptorului. Alura curbei  $\tau_\lambda = \tau(\lambda)$  este reprezentata in fig.3.22.

Se observa ca cea mai mare parte a energiei incidente este transmisa. Reemisii din captator se face la o temperatura  $T_1 \ll T_S$ ; acest spectru este decalat spre lungimile de unda mai mari pentru care factorul de transmisie al placii de sticla este scazut (fig.3.22). Majoritatea energiei incidente este conservata in captator, acest fenomen fiind numit "efect de sera". In fig. 3.23 este reprezentata repartitia fluxului incident intr-un captator cu o placa de sticla.

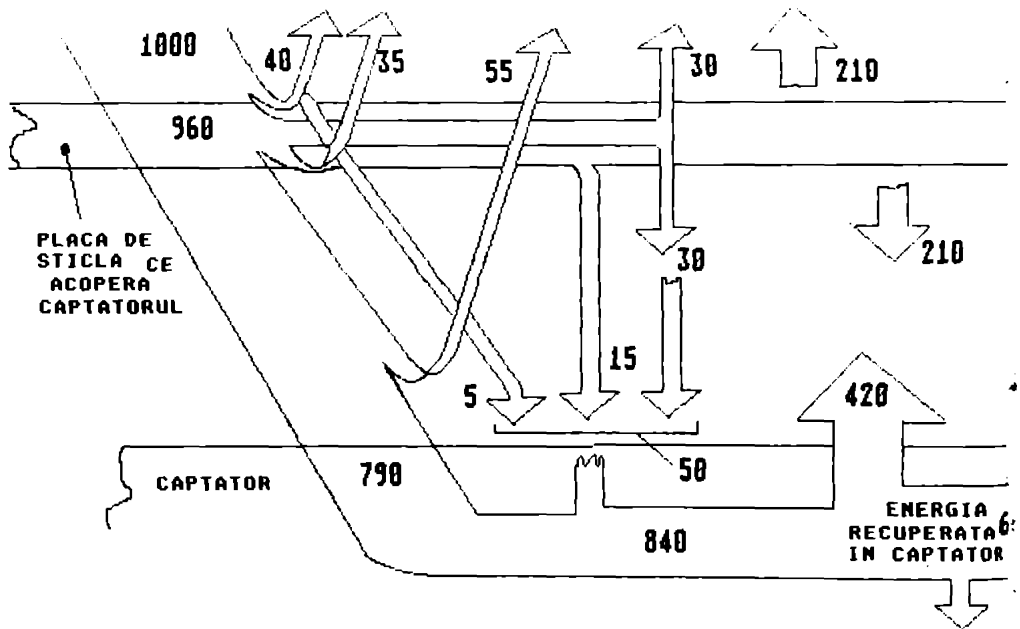


Fig.3.23 Repartitia fluxului incident intr-un captator cu o placa de sticla

- majorarea cantitatii de energie captate prin utilizarea suprafetelor selective

Suprafata de captare ideala a radiatiei solare trebuie sa absoarba toata energia corespunzatoare spectrului solar, deci pentru  $\lambda < 3 \mu\text{m}$  si sa emita slab in infrarosu indepartat ( $\lambda > 3 \mu\text{m}$ ) corespunzator spectrului de radiatie reemis de absorbant, considerind ca temperatura se situeaza intre 50-100 °C pentru captatorii plani [2].

In conditii normale de functionare, suprafata ideala ar trebui sa poseze valorile prezentate in fig. 3.24 pentru factorii proprii monocromatici de absorbtie  $\alpha_\lambda$ , de emisie  $\epsilon_\lambda$ , de reflexie  $\rho_\lambda$  si de transmisie  $\tau_\lambda$ ;  $\lambda_c$  este lungimea de unda critica.

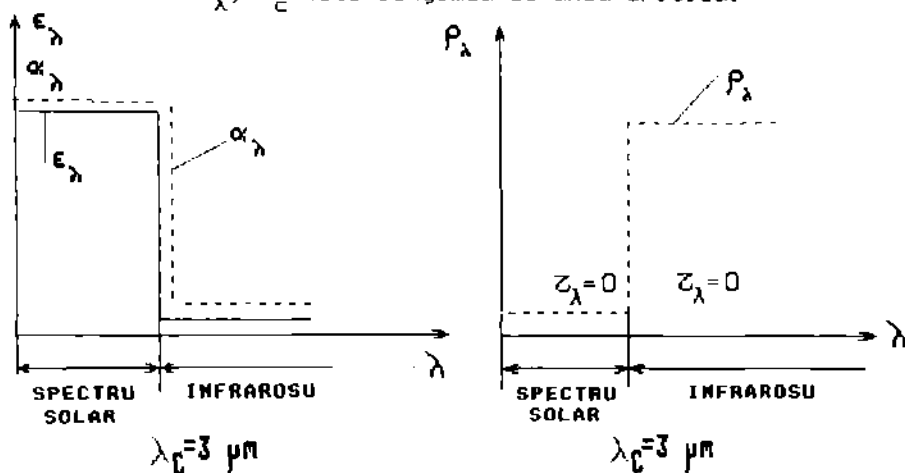


Fig.3.24 Valorile factorilor de absorbtie, emisie, reflexie si transmisie pentru suprafata ideala

- izolatia termica a intregului sistem

Captatorul trebuie sa transmita energia captata fluidului caloportor evitind pierderile (prin conductibilitate - convecție, radiatie) in elementele periferice spre exterior. Solutiile adoptate sint urmatoarele:

a) elemente in fata captatorului

pelicula de aer de grosime  $e'$  situata intre placa de sticla si captator se comporta ca un izolant in raport cu transmisia prin conductibilitate; in cazul in care  $e'$  este foarte mare intervine o convecție de aer naturala ce antreneaza pierderi deloc neglijabile prin convecție.

Condițiile optime după Chapman [2] sînt:

$$e'^3 \Delta T = e'^2 (T_1 - T_p) < k, \quad (3.64)$$

$k$  - factor ce depinde de fluidul considerat

Pentru temperaturi uzuale de funcționare a captatorilor plani se utilizează:  $e' \sim 2,5$  cm

b) elemente posterioare și laterale

se pune un izolant, (vata de sticla, polistiren, polyuretan) pe aceste elemente pentru limitarea pierderilor prin conducție - convecție la periferie.

S-a precizat anterior că funcționarea unui captator plan fără concentrarea radiațiilor solare se bazează pe efectul de seră. Practic, acest efect constă în următoarele: o placă metalică înnegrită expusă radiațiilor solare absoarbe o mare parte din energia recepționată. Încălzirea plăcii este cu atât mai puternică cu cât capacitatea plăcii de a absorbi mai multe radiații este mai mare.

Efectul simplu de seră se obține dacă se acoperă suprafața înnegrită cu o placă de sticlă, sticla lăsînd să treacă lumina solară, devenind opacă pentru radiațiile infraroșii emise de placă fierbinte.

Conform legii deplasării a lui Wien, produsul între lungimea de undă  $\lambda_m$  pentru care se înregistrează valoarea maximă a intensității de radiație  $I_\lambda$  și temperatura la care are loc emisia este constantă.

$$\lambda_m T = 2,898 \quad [\text{mm} \cdot \text{K}] \quad (3.65)$$

Placa neagră se încălzește la temperaturi între 50-100 °C, (cum a fost precizat anterior, în cazul captatorilor plani) astfel va radia în domeniul infraroșu al spectrului.

Placa de sticlă este transparentă în vizibil și opacă în infraroșu îndepărtat.

Prin urmare, undele electromagnetice patrund, dar nu mai pot parasi placa, astfel placa devine o capcana solara. Geamul de sticla ce acopera fata anterioara a captatorului constituie o poarta unidirectionala pentru captarea energiei solare. Experienta arata ca placa absorbanta expusa direct radiatiei solare atinge o temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , temperatura ce poate fi triplata daca captatorul plan este echipat cu una sau mai multe straturi de sticla, cind se realizeaza efectul simplu sau multiplu de sera.

## CAPITOLUL 4. METODE DE STOCARE A ENERGIEI SOLARE, FENOMENE FIZICE DE BAZA

### 4.1 ASPECTE GENERALE

In instalatiile de conversie a energiei solare se utilizeaza mai ales sisteme de stocare termica. Stocarea termica se realizeaza:

- direct, sub forma de caldura sensibila ori prin caldura latentă
- indirect, prin intermediul stocării chimice (termochimice, fotochimice, electrochimice)

Stocarea energiei termice este un proces fizic sau chimic care se desfasoara intr-un acumulator in timpul operatiilor de incarcare si descarcare [20].

Acumulatorul este constituit din:

- recipient (izolat termic)
- mediul (materialul) de stocare
- sistemele de incarcare si descarcare
- sistemele auxiliare

Intregul ansamblu, numit sistem de stocare termica, este definit de:

- modul obtinerii energiei necesare incarcării acumulatorului
- modul in care energia extrasa din acumulator este convertita in forma de energie ceruta de consumator

Bilantul energetic al unui sistem de stocare termica se exprima prin relatia:

$$E_1 - E_2 = E_s \quad (4.1)$$

unde: indicii 1 si 2 se refera la energia intrata, respectiv extrasa, iar indicele s se refera la energia stocata.

Ecuatia generala a energiei stocate se obtine cu ajutorul primului principiu al termodinamicii considerind ca sistemul de stocare termica este un sistem termodinamic deschis:

$$(u + pv + gH + W^2/2)_1 \cdot dm_1 + dQ - (u + pv + gH + W^2/2)_2 \cdot dm_2 - dL = \\ = d(u + gH + W^2/2)_s \cdot m_s \quad (4.2)$$

unde:

$m_s$  - masa mediului de stocare

$dm_1, dm_2$  - elementul de masa la intrarea respectiv la iesirea din sistemul de stocare termica

$u$  - energia internă specifică

$p$  - presiunea

$v$  - volumul specific

$(pv_1)$  și  $(pv_2)$  - energia specifică necesară introducerii respectiv extracției din sistemul de stocaj a unității de masă

$g$  - accelerația gravitației

$H$  - înălțimea față de un nivel de referință

$gH$  - energia potențială specifică

$W$  - viteză

$W^2/2$  - energia cinetică specifică

$dQ$  - căldura elementară transmisă independent de transferul de masă

$dL$  - lucrul mecanic elementar efectuat de sistem, independent de transferul de masă

Examinarea ecuației generale a energiei stocate arată că stocarea energiei se poate realiza datorită variației:

- energiei interne
- energiei potențiale
- energiei cinetice
- masei sistemului de stocare termică

Stocarea energiei termice este determinată de variația energiei interne și a masei sistemului de stocare termică. Ținând cont de lucrul mecanic

$$dL = p_s dV_s \quad (4.3)$$

se obține ecuația energiei termice stocate

$$(u + pv)_1 \cdot dm_1 + dQ - (u + pv)_2 \cdot dm_2 = d(u m_s) + p_s \cdot dV_s \quad (4.4)$$

introducând entalpia specifică  $h = u + pv$ , relația (4.2) devine:

$$h_1 dm_1 + dQ - h_2 dm_2 = d(u m_s) + p_s dV_s \quad (4.5)$$

Bilantul de masă este exprimat de relația:

$$dm_1 - dm_2 = dm_s \quad (4.6)$$

Stocarea energiei termice se poate clasifica:

- După mediul de stocare și agentul de transfer termic
  - stocare directă la care mediul de stocare și agentul termic sînt identici. Mediul poate fi solid, lichid, gazos sau bifazic (lichid + vapori)
  - stocare indirectă, energia termică e transmisă prin transfer termic (cu ajutorul conductivității termice prin peretii acumulatorului) sau prin transferul de masă al unui agent termic



- intermediar. Mediul de stocare poate fi solid, lichid, gazos sau cu tranzitie de faza; solid-lichid; lichid-vapori
- Dupa masa mediului de stocare
    - cu masa de stocare constanta ( $dm_s = 0$ ). Se intilneste fie la stocarea directa, fie la stocarea indirecta
    - cu masa de stocare variabila ( $dm_s \neq 0$ ), se intilneste doar la stocarea directa
  - Dupa volumul de stocare:
    - cu volumul de stocare constant ( $dV_s = 0$ ), recipiente inchise
    - cu volumul de stocare variabil ( $dV_s \neq 0$ ), cind stocarea se face la presiunea ambianta
  - Dupa presiunea de stocare:
    - cu presiunea de stocare constanta ( $dp_s = 0$ )
    - cu presiunea de stocare variabila ( $dp_s \neq 0$ )

#### 4.2 STOCAREA ENERGIEI SOLARE SUB FORMA DE CALDURA SENSIBILA

Stocarea sub forma de caldura sensibila este o metoda de stocare a caldurii obtinuta prin conversia fototermica a energiei radiatiei solare de catre un anumit material in care transferul termic implica numai o variatie de temperatura, fara sa produca o tranzitie de faza [20].

Medii de stocare principale prin intermediul caldurii sensibile sint: apa, aburul, betonul si pietrele, soda caustica, metalele topite (Al, Na) fluide organice, caramizi refractare, bile.

Avantaje ale stocarii sub forma de caldura sensibila:

- pot acoperi necesitati de stocare pe un interval larg de temperaturi
- ofera solutii favorabile atat pentru stocarea pe termen scurt (diurna) cit si pentru stocarea pe termen mediu sau lung (sezoniera sau anuala)
- mediile de stocare sint in general ieftine si nepretentioase
- se pot folosi ca medii de stocare formatiuni geologice deja existente

In functie de domeniul temperaturilor de utilizare, sistemele de stocare a energiei solare prin intermediul caldurii sensibile se pot clasifica in:

- sisteme de temperatura "joasa" ( $<100$  °C)
  - sisteme de temperatura "inalta" ( $>100$  °C)
- Sistemele de temperatura joasa pot realiza stocarea pe:

- termen scurt (diurna) utilizandu-se apa sau straturile de pietris;
- termen lung (sezoniera sau anuala), utilizand apa calda din acvifere

#### •Stocarea in acvifere

Acviferele (straturile de apa din subsol) pot fi adinci sau superficiale. Acviferele adinci pot stoca energia termica prin injectarea apei calde in strat. Densitatea de energie termica astfel stocata este 35-55 kJ/dm<sup>3</sup>.

#### •Stocarea in paturi de roci (pietris)

Sistemele de stocare pot fi supra sau subterane. Densitatea de energie termica stocata in roci este 200 - 250 kJ/dm<sup>3</sup>.

#### •Stocarea in solide

Sistemele supraterane utilizeaza materiale refractare si sint recomandate pentru stocarea caldurii din gazele arse fierbinti.

Sistemele subterane sint alcatuite din paturi compacte (pietris, silicagel sau alumina), iar agentul termic este un gaz sub presiune. Transferul termic se realizeaza prin contact direct intre mediul de stocare si agentul termic, eliminandu-se schimbatorul de caldura.

#### •Stocarea in sol

Se disting trei sisteme de stocare: in sol uscat, sol umed si in sol umed incojurat de sol uscat. Densitatea de energie termica stocata in sol este de 10 kJ/dm<sup>3</sup>.

#### •Stocarea in lichide

Sint indicate fie apa sub presiune (deasupra temperaturii de 100 °C) fie unele lichide organice utilizabile pina la temperaturi de 300 °C, in rezervoare clasice sudate din otel, rezervoare sub presiune din fonta pretensionata sau din beton precomprimat.

#### •Stocarea in amestecuri eutectice de saruri topite

Cel mai cunoscut este amestecul ternar HTS (Heat Transfer Salt) alcatuit din trei compusi de baza:  $KNO_3$  (53 %),  $NaNO_2$  (40 %) si  $NaNO_3$  (7 %). Considerate separat aceste saruri nu sint lichide

decit la temperaturi de peste 300 °C, dar amestecul lor eutectic se topeste la 146 °C si poate fi incalzit pina la 500 °C (in acest domeniu de temperaturi se comporta ca un mediu de stocare de tip caldura sensibila, avind densitatea de energie termica de stocare mare (550 kJ/dm<sup>3</sup> pentru un interval de temperaturi 250 - 450 °C).

#### 4.3 STOCAREA ENERGIEI SOLARE SUB FORMA DE CALDURA LATENTA

Procesul de incalzire a unei substante urmat de cresterea energiei interne a acesteia determina aparitia efectului de crestere a temperaturii (caldura sensibila) sau al tranzitiei de faza (caldura latentă), efecte ce pot fi descrise cu ajutorul diagramei temperatura timp (fig.4.1). Se considera starea initiala a substantei in punctul O. Absorbția caldurii determina incalzirea sensibila a solidului (regiunea O-A).

- tranzitia de faza solid-lichid (regiunea A-B)
- incalzirea sensibila a lichidului (regiunea B-C)
- tranzitia de faza lichid-vapori (regiunea C-D)
- incalzirea sensibila a vaporilor (regiunea D-E)

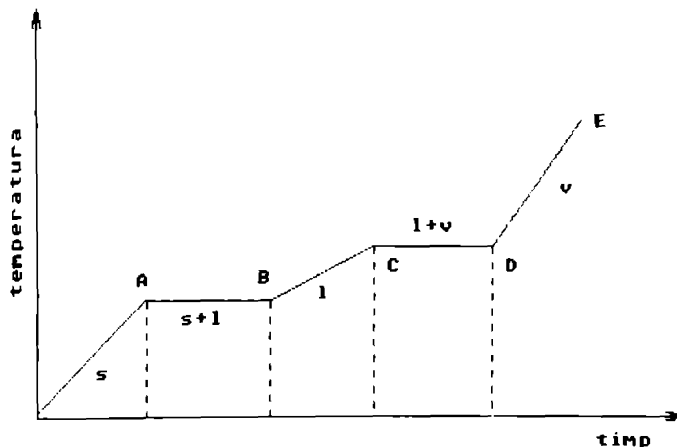


Fig.4.1 Procesul de incalzire a unei substante

Expresia caldurii stocate de substanta pe etape este:

$$Q = \begin{cases} mc_{pi}(T_f - T_i), & \text{pentru caldura sensibila} \\ mL_{i-j} & , \text{pentru caldura latentă} \end{cases}$$

unde: m - masa substantei

$c_{pi}$  - caldura specifica la presiune constanta a fazei i a substantei, (i reprezinta fazele: s-solida, l-lichida, v-vapori)

$T_i$  si  $T_f$  - temperaturile initiale si finale a substantei pentru intervalul de timp in care are loc incalzirea

$L_{i-j}$  - caldura latentă de tranzitie a substantei din faza i in faza j

Caldura totala absorbita de substanta intre punctele D si E, ( $c_{pi}$  variaza cu temperatura) este data de relatia de mai jos (4.7):

$$Q = m \left[ \int_{T_0}^{T_A} c_{ps}(T) dT + L_{s-1} + \int_{T_B}^{T_C} c_{pl}(T) dT + L_{l-v} + \int_{T_D}^{T_E} c_{pv}(T) dT \right]$$

Semnificatiile fizice ale marimilor din relatia (4.7) sînt conform precizarilor facute mai sus. Orice sistem de stocare a energiei solare prin utilizarea caldurii latente trebuie sa dispuna de urmatoarele componente:

- material de stocare termica ce poate efectua tranzitia de faza solid-lichid pentru domeniul temperaturilor de functionare,
- acumulator termic, care contine in afara de rezervorul propriuzis si schimbatorul de caldura ce asigura transferul caldurii de la sursa de caldura.

#### 4.4 STOCAREA TERMOCHIMICA

Stocarea energiei in legaturile chimice ale unor molecule ca urmare a reactiilor activate termic la formarea sau desfacerea acestor legaturi este numita stocare termochimica, avind avantajele:

- a) densitate de energie mare
- b) transportabilitate pe distante mari

Sensul in care decurge reactia este dat de variatia entalpiei libere G fiind posibile numai acele reactii in decursul carora se inregistreaza o scadere a entalpiei libere ( $\Delta G < 0$ ) [3]. Avem:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$$

$\Delta H$  - variatia entalpiei pe parcursul reactiei

$\Delta S$  - variatia entropiei pe parcursul reactiei

T - temperatura la care se efectueaza reactia

#### 4.5 STOCAREA FOTOCHIMICA

Stocarea energiei in legaturile chimice ale unor molecule formate sau desfacute ca urmare a actiunii directe a radiatiei luminoase asupra unor compusi chimici se numeste stocare fotochimica. Procesul de stocare fotochimica are loc la o temperatura foarte inalta, dar selectiv, la aceasta temperatura fiind adusa numai moleculele care reactioneaza cu cuanta respectiva, restul moleculelor ramain reci. Bazele fotochimiei moderne au fost puse de catre A.Einstein, acesta aratand ca fotonul trebuie considerat ca un participant la reactie, cantitatea de produsi fiind proportionala cu numarul fotonilor absorbiti.

#### 4.6 STOCAREA ELECTROCHIMICA

Stocarea energiei in legaturile chimice ale unor substante, formate sa desfacute in urma unui proces electrochimic se numeste stocare electrochimica. Procesele electrochimice sint procese de oxidoreducere in care transferul de electroni de la o molecula la alta se face prin intermediul unor electrozi legati printr-un conductor ionic (electrolit) pe o portiune a circuitului si printr-un conductor electronic (metalic) pe cealalta portiune.

Stocarea electrochimica a energiei solare implica deci conversia energiei solare in energie electrica prin intermediul celulelor fotoelectrice sau a generatoarelor termoelectrice si acumularea acestora in pile electrodinamice reversibile.

#### 4.7 STOCAREA CALDURII SOLARE IN PATURI DE ROCI (PIATRA)

Avantajul acestui mod de stocare consta in aceea ca se poate realiza un contact pe o suprafata mare, intre aerul cald si pietre, obtinindu-se astfel un schimb important de caldura la ecarturi de temperaturi scazute intre agentul purtator de caldura (aerul) si materialul de stocare (piatra).

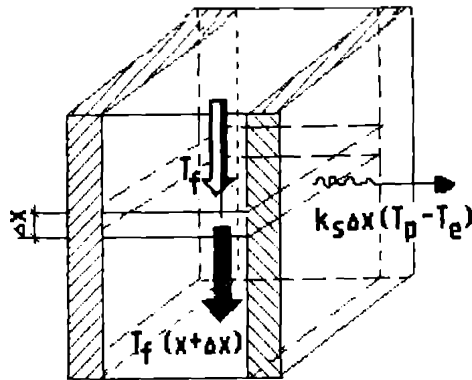


Fig.4.2

Studiul termic al unui sistem de stocare implica stabilirea variatiilor temperaturilor aerului (ca purtator de caldura) si ale patului de roci (ca material de stocare) [6].

Considerind un element de volum de suprafata S si de grosime  $\Delta x$  (fig.4.2), bilantul termic pe partea solidului este:

$$\rho (V_p/V) \cdot S \cdot \Delta x \cdot c_p \frac{\partial T_p}{\partial z} = \alpha_v \cdot S \cdot \Delta x (T_f - T_p) - k_s \cdot \Delta x (T_p - T_e) \quad (4.8)$$

Relatiile:

$$\frac{\partial T_p}{\partial (z/\tau)} = \alpha_v \frac{SL}{Gc_p} (T_f - T_p) - \frac{k_s L}{Gc_p} (T_p - T_e)$$

$$\frac{\partial T_f}{\partial (x/L)} = \alpha_v \frac{SL}{Gc_f} (T_p - T_f) \quad (4.9)$$

reprezinta ecuatiile diferentiale cu derivate partiiale propuse de Hughes s.a pe baza carora se stabileste distributia temperaturilor aerului si ale materialului de stocare, rezolvindu-se folosind metode numerice [42].

Pentru a lua in considerare si conductia in interiorul particulelor materialului de stocare, Jefferson propune o noua forma a ecuatiilor diferentiale (4.9):

$$\frac{\partial T_p}{\partial (z/\tau)} = -N_{tu_c} (T_f - T_p)$$

$$\frac{\partial T_f}{\partial (x/L)} = N_{tu_c} (T_f - T_p) \quad (4.10)$$

$z$  - timpul scurs de la inceperea introducerii fluidului (aerului) in patul de stocare

$T_f$  - temperatura aerului,  $T_p$  - temperatura patului de stocare

$L$  - lungimea totala a stocajului in sensul circulatiei aerului

$\tau$  - timpul caracteristic al patului de stocare  $\tau = \rho c_a V_p SL / Gc_p$

Valoarea coeficientului  $N_{tu_c}$  se calculeaza astfel:

$$N_{tu_c} = \left[ \frac{d_{ech}}{L \cdot P_{ep}} + \frac{1 + 0,2 Bi}{\alpha_v \frac{SL}{Gc_p}} \right]^{-1} \quad (4.11)$$

Numarul Peclet al particulelor materialului de stocare:

$$P_{ep} = G_{d_{ech}} / S \lambda_p \quad (12)$$

$\lambda_p$  - conductivitatea termica a particulei de material

$d_{ech}$  - diametrul echivalent al particulelor care alcatuiesc patul

de stocare:

$$d_{ech} = \left[ \frac{6}{\pi} \cdot \frac{V_p}{N_p} \right]^{1/3}$$

$V_p$  - volumul mediu al particulelor din patul de stocare care contine  $N_p$  particule

I.A.Duffie si W.A.Beckmann recomanda ca diametrul echivalent mediu al particulelor sa fie cuprins intre 10 - 50 mm [42].

Huyges arata ca in cazul in care  $N_{tu_c} > 10$  temperatura aerului  $T_f$  devine practic egala cu a materialului de stocare  $T_p$  ceea ce permite reducerea sistemului de ecuatii diferentiale (4.10) la o singura ecuatie diferentiale:

$$\frac{\partial T}{\partial(z/\tau)} = L \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{k_s S_{lat}}{Gc_f} (T - T_e) \quad (4.13)$$

unde:

$k_s$  - coeficient total de transfer termic la patul de stocare catre mediul ambiant

$S_{lat}$  - suprafata laterala a patului de stocare

$T_e$  - temperatura mediului ambiant

Dimensionarea unui pat de stocare cu roci consta in stabilirea volumului de stocare  $V$  si a suprafetei pe care se distribuie aerul in patul de stocare  $S$ .

Forma patului de stocare este in general paralelipipedica sau cilindrica. In urma cercetarilor efectuate D.J.Morrison si S.I. Abdel-Khalik [42] au stabilit ca la suprafata de captare de minim  $100 \text{ m}^2$  volumul specific al patului de stocare este:

$$v = 0,15 + 0,25 \text{ m}^3 \text{ roca/m}^2 \text{ suprafata de captare}$$

Din cele de mai sus rezulta ca volumul patului de stocare este:

$$V \geq v \cdot S_c \quad (4.14)$$

Suprafata patului de stocare se determina plecind de la relatia care stabileste valoarea coeficientului de transfer termic volumic al patului de stocare:

$$\alpha_v = 650 \left( \frac{G}{S d_{ech}} \right)^{0,7} \quad (4.15)$$

$$S = \frac{G}{d_{ech}} \left( \frac{650}{\alpha_v} \right)^{1,43} \quad (4.16)$$

Dupa J.A.Duffie si W.A.Beckmann coeficientul de transfer termic volumic este  $\alpha_v = f(\alpha_p)$ , astfel:

$$\alpha_v = \alpha_p \frac{S}{V} \frac{\rho_p}{\rho_r} \quad (4.17)$$

$\alpha_p$  - coeficient de transfer termic al particulelor

$S_p$  -suprafata de schimb termic a particulelor din patul de stocare

Masa patului de stocare  $M_p$  se poate stabili functie de volumul patului de stocare  $V_p$

$$M_p = V_p \rho_p \quad (4.18)$$

cit si de numarul de particule  $N_p$  care alcatuiesc patul de stocare

$$M_p = N_p \frac{4}{3} \pi \left( \frac{d_{ech}}{2} \right)^3 \cdot \rho_r \quad (4.19)$$

$\rho$  - densitate:  $\rho_p$  - pat de stocare, iar  $\rho_r$  - material de stocare

Numarul de particule se obtine dupa efectuarea calculului:

$$N_p = \frac{6}{\pi} \frac{V_p \rho_p}{d_{ech}^3 \rho_r} \quad (4.20)$$

Suprafata de schimb termic a tuturor particulelor

$$S_p = N_p 4\pi \left( \frac{d_{ech}}{2} \right)^2 \quad (4.21)$$

Inlocuind numarul de particule  $N_p$  se obtine:

$$\frac{S_p}{V_p} = \frac{6}{d_{ech}} \frac{\rho_p}{\rho_r} \quad (4.22)$$

Valoarea coeficientului de transfer termic din relatia (4.17):

$$\alpha_p = \alpha_v \frac{V_p}{S_p} \quad (4.23)$$



cu relatiile (4.22) si (4.15) se obtin:

$$\alpha_p = \alpha_v \frac{d_{ech}}{b} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_p} \quad (4.24)$$

$$\alpha_p = 108,3 d_{ech} \left( \frac{G}{S \cdot d_{ech}} \right)^{0,7} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_p} \quad (4.25)$$

Conditia de buna dimensionare a patului de stocare este ca gradientii de temperatura din interiorul particulelor sa fie cit mai mici, adica criteriul de similitudine Bi aplicat particulei sa indeplineasca conditia:

$$Bi_{part} = \frac{\alpha_p d_{ech}}{2 \lambda_r} \leq 0,1 \quad (4.26)$$

Din relatia (4.25) si (4.26) se obtine succesiv:

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_p d_{ech}}{2 \lambda_r} &= 108,3 d_{ech} \left( \frac{G}{S \cdot d_{ech}} \right)^{0,7} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_p} \cdot \frac{1}{2 \lambda_r} \leq 0,1 = \\ &= 108,3 \left( \frac{G}{S} \right)^{0,7} d_{ech}^{1,9} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_p} \cdot \frac{1}{\lambda_r} \leq 0,1 \end{aligned} \quad (4.27)$$

de unde rezulta suprafata patului de stocare:

$$S = G \cdot d_{ech}^{1,9} \left( \frac{542}{\lambda_r} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_p} \right)^{1,43} \quad (4.28)$$

In practica, in afara determinarii principalelor dimensiuni ale patului de stocare (volum V si suprafata S) se cere stabilirea pierderilor de sarcina  $\Delta p_p$  si timpul  $\tau^*$  dupa care un pat de stocare poate furniza aer la temperatura  $T_f$ .

Pentru determinarea pierderilor de sarcina  $\Delta p_p$  D.J.Close propune relatia:

$$\Delta p_p = \frac{L G^2}{T_f d_{ech} S^2} \left( 21 + \frac{1750}{R_e} \right) \quad (4.29)$$

pentru  $R_e = G \cdot d_{ech} / S \nu_f$  si  $1 < R_e < 10^6$ ,

$\nu_f$  - viscozitatea dinamica a aerului

Tot D.J.Close propune relatia pentru timpul dupa care un pat de stocare poate furniza aer de temperatura T. Astfel:

$$\tau^* = \frac{\rho_r C_r L S}{C_f G} \left( \frac{Z}{Y} \right) \quad (4.30)$$

unde:

$$Y = \frac{\alpha_v L}{C_f G} \quad Z = \frac{\alpha_v \tau^*}{\rho_p C_r}$$

La alegerea marimii patului de pietre precum si a marimii particulelor este necesar sa se tina seama de urmatoarele:

1. Cu cit dimensiunile particulelor sint mai mici, cu atit transferul de caldura in ambele sensuri (de la agentul termic primar la masivul de pietre in cazul acumularii si de la masivul de pietre la agentul termic secundar in cazul alimentarii cu caldura stocata) va fi mai mare datorita marimii suprafetei de schimb de caldura.

2. Odata cu micșorarea dimensiunilor particulelor are loc o crestere a pierderilor de sarcina pe circuitul aerului la trecerea acestuia prin masivul de stocare.

3. Cresterea volumului patului de stocare determina o crestere neliniara a randamentului global al instalatiei solare, iar pentru valori ale volumului  $V > 0,25 S_c$  cresterea randamentului se reduce si mai mult.

#### 4.8 PERETELE TROMBE-MICHEL (T-M)

Felix Trombe chimist francez, pentru micșorarea costului in captarea energiei solare propune ca zidul din sudul casei sa fie transformat in captator de energie solara. Pe baza unor calcule simple constata ca acest zid trebuie sa fie masiv pentru a putea inmagazina energia ce ajunge pe acesta. In anul 1965 in Odeillo a fost construita o casa pe acest principiu. Avantajele au fost evidente, dar intentia de a construi un complex de case pe acest principiu a fost oprita de autoritati, care nu au dat aprobarea necesara constructorilor.

Peretele T-M este colorat in negru sau in alta culoare inchisa, acoperit cu sticla (un strat sau mai multe la o distanta de 2+10 cm). Radiatia solara cade pe perete, este absorbita de acesta, astfel incalzindu-l.

Caldura este transmisa spre partea interioara a peretelui in timp, astfel ca in decursul zilei peretele se incalzeste. In felul acesta amplitudinea maxim a undei de caldura este deplasata spre interiorul peretelui, atingind valoarea maxima cu o intirziere in timp, de citeva ore, in functie de grosimea peretelui. Aceasta este foarte avantajos, deoarece incaperea o sa aiba temperatura cea mai ridicata intre orele 18,00 - 20,00 ceea ce corespunde unui mod obisnuit de viata. Peretele T-M este folosit ca si captator solar, ca acumulator de caldura si ca un corp de incalzit.

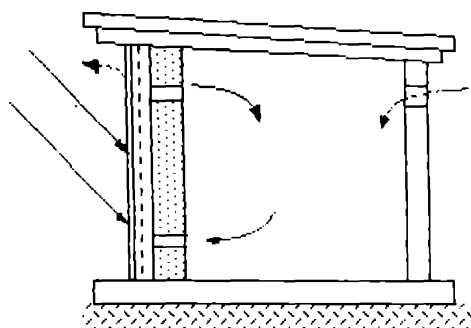


Fig.4.3

De obicei se realizeaza cu canale atat in partea superioara cit si in partea inferioara. Aerul cald incalzit de la perete si prin canalul superior trece in incapere unde circula, dar ajungind in partea opusa se raceste, cade in partea inferioara, prin canalul inferior intrind in peretele Trombe Michel.

Pentru ca peretele sa nu se raceasca noaptea este necesar sa fie prevazut cu un paravan glisant termic ce poate fi coborit seara cind nu exista aport de energie.

Cele mai noi studii referitoare la modul optim de utilizare a energiei solare cu ajutorul peretelui T-M au adus modificari in conceptia de functionare. S-a demonstrat ca rezultate mai bune se obtin in cazul in care se realizeaza circulatia aerului in circuit inchis din peretele T-M prin canale in partea superioara in peretele opus, printr-un strat de piatra sub incapere.

Grosimea peretelui T-M trebuie calculata astfel ca sa fie indeplinite conditiile de captare si utilizare maxima a energiei. De obicei grosimea peretelui este cuprinsa intre 30-50 cm.

In cadrul Catedrei de Fizica a UTT a fost construit un perete T-M pe fatada sudica a unei incaperi de pe lînga Casa Solara, cu scopul de a asigura climatizarea acestei incaperi in perioada de trecere. Intrucit studiul peretelui a fost publicat in [37] prezentam doar citeva concluzii din acest studiu pentru a scoate in evidenta necesitatea utilizarii peretelui T-M in arhitectura solara pasiva ca o solutie partiala de ameliorare a conditiilor de locuit. Masuratorile efectuate demonstreaza ca temperatura aerului interior se mentine in jurul valorii de 19 °C atat pe durata de stralucire a Soarelui cit si dupa asfintitul Soarelui pe o durata de 3-4 ore.

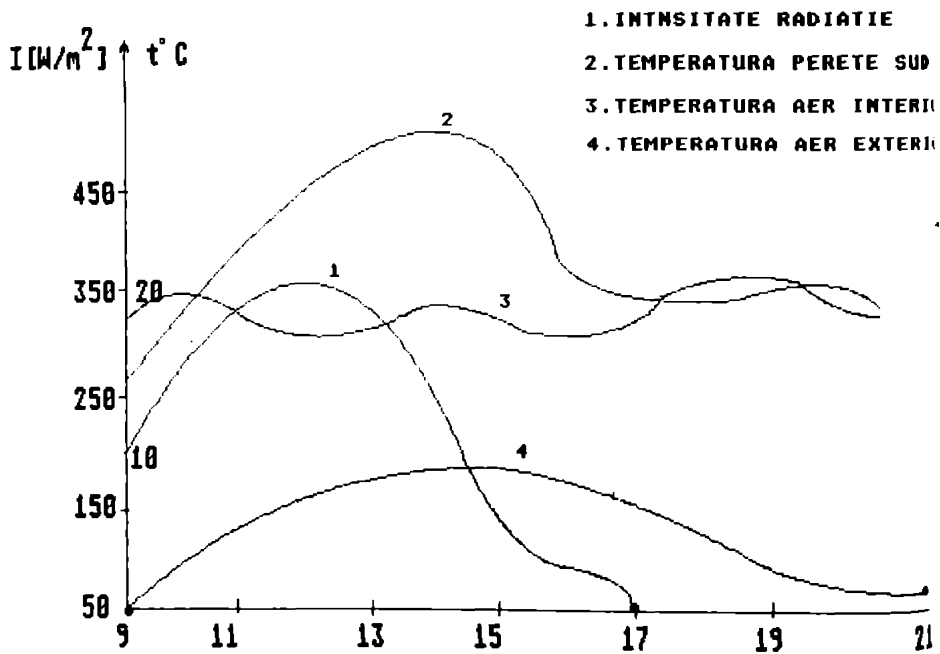
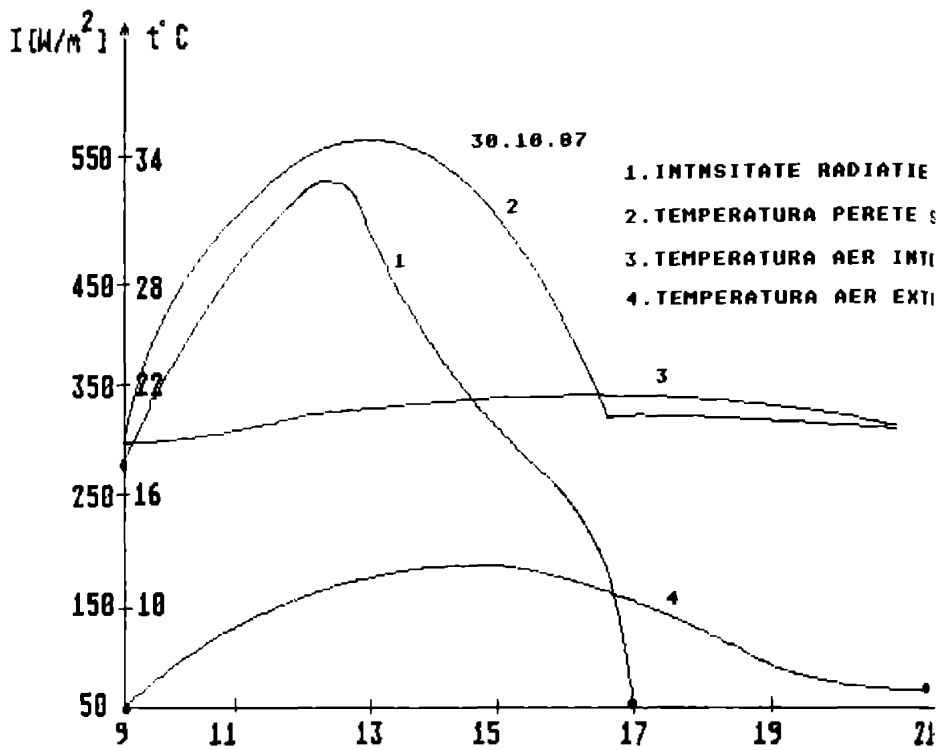


Fig.4.4 Masuratori asupra peretelui T-M

#### 4.9 PLANSEURI RADIANTE

Aportul solar, odata captat, trebuie stocat pentru a fi distribuit in perioada de noapte. Planseurile radiante functioneaza la cele mai joase temperaturi, fiind bine adaptate la distributia caldurii furnizate de captatorii plani. Defazajul este realizat cel mai frecvent printr-o capacitate de stocare ce inmagazineaza caldura incalzind apa distribuita conform necesitatilor.

Una din solutiile pentru diminuarea costului instalatiilor solare clasice consta in a inlocui cuva de stocare pentru a obtine defazajul aportului solar in timpul transferului de caldura prin traversarea pavajului, avind o grosime corespunzatoare. Suprimarea cuvei de stocare conduce la cuplarea directa a captatorilor la o suprafata pavata. Grosimea suplimentara a pavajului creaza un defazaj satisfacator intre momentul in care energia solara injectata este maxima si maximumul de la restituirea acestei energii in volumul incalzit [8].

Pavajul se comporta ca un perete de beton captator in care caldura solara va fi injectata la nivelul planului tuburilor folosite pentru incalzire. Energia solara este injectata cu un maxim la amiaza solara si se va propaga traversind betonul de la tuburi pina la suprafata de emisie. Aceasta propagare este caracterizata printr-un defazaj si o amortizare ce sint functii de grosimea pavajului si caracteristicile termice ale acestuia.

## CAPITOLUL 5. ASUPRA POSIBILITATII DE CLIMATIZARE A LOCUINTELOR PRIN STOCAREA DE SCURTA SI MEDIE DURATA A ENERGIEI SOLARE (PARALELA 45 °N. ROMANIA SI IUGOSLAVIA)

### 5.1 INTRODUCERE

Criza energetica tot mai acuta ce se instaleaza in tarile din sud-estul Europei impune regindirea la scara macro si micro-economica a metodelor de incalzire a cladirilor si de preparare a apei calde menajere.

In lucrarea de fata ne-am ocupat de problema climatizarii locuintelor individuale in perioadele de trecere, toamna si primavara, si, partial, anotimpul friguros, iarna.

Problema prepararii apei calde menajere cu instalatii solare si-a gasit diverse rezolvari deja in anii anteriori si nu o vom aborda aici.

### 5.2 DISPONIBILITATI DE ENERGIE SOLARA IN IUGOSLAVIA

Conform analizelor referitoare la disponibilitatea cu energie solara, efectuate de organizatia mondiala, Iugoslavia cu o insolatie de 1630 kWh/an in cea mai mare parte a tarii, apartine grupului de tari din Europa cu cea mai abundenta cantitate de energie solara [8].

Comparativ pe glob, regiunile cu cea mai mare insolatie sunt citeva regiuni din Chile, Sudan si Egipt, cu 3570 kWh/an, apoi Argentina, Australia, Chile si tarile din Sahara cu 3244 kWh/an, iar regiunile cu cea mai mica insolatie sunt Marea Britanie, tariile Scandinavice si regiuni din nordul Uniunii Sovietice si Canadei, cu 940 kWh/an sau mai putin.

Pe baza datelor ce se refera la numarul orelor de insolatie anuala, (maxima 2700 h pe litoralul adriatic, minima 1500 h in partea nordica a tarii), obtinute prin mediere pe o perioada de 10 ani, Institutul Meteorologic Republican din Serbia, a realizat harta radiatiei solare globale pentru Iugoslavia.

Prezentam citeva date asupra disponibilitatii energiei solare in Iugoslavia cit si in zona Belgradului, zona caracteristica paralelei 45 °N.

TABELUL 5.1

Valorile medii zilnice ale radiatiei solare globale  
in plan orizontal [ $\text{kWh/m}^2$ ] in diferite localitati

localitatea		localitatea		localitatea	
Aidovscina	2,90	Pristina	4,00	Split	4,15
Belgrad	3,85	Sarajevo	3,60	Titograd	4,20
Budva	4,45	Skoplje	4,00	Ulcini	4,40
Dubrovnik	4,30	Liubliana	2,80	Virset	3,75
Hvar	4,35	Nis	3,85	Zagreb	3,20
Ohrid	4,35	Novi Sad	3,80	Zrenianin	3,75

TABELUL 5.2

Valorile medii zilnice ale radiatiei solare globale  
in plan orizontal pe luni [ $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{zil}$ ] si total [ $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ ]

luna	localitatea						
	Ljubljana	Zagreb	Novi Sad	Beograd	Split	Hvar	Dubrovnik
I	0,80	1,20	1,45	1,40	1,80	1,85	1,70
II	1,40	1,80	2,35	2,20	2,65	2,65	2,45
III	2,60	2,70	3,30	3,35	4,10	3,85	3,75
IV	3,80	4,05	4,65	4,85	5,20	5,35	5,30
V	4,75	5,05	5,80	6,00	6,25	6,50	6,55
VI	5,20	5,35	6,20	6,45	6,70	7,25	7,30
VII	5,50	5,70	6,35	6,75	7,00	7,45	7,85
VIII	4,70	5,05	5,75	6,00	6,20	6,60	7,00
IX	3,05	3,70	4,40	4,65	5,00	5,00	5,30
X	1,90	2,40	2,90	3,05	3,40	3,40	3,50
XI	0,90	1,30	1,45	1,60	2,00	1,95	2,00
XII	0,60	1,00	1,20	1,15	1,45	1,50	1,40
total $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}$	1072,0	1198,4	1395,9	1446,6	1577,3	1626,2	1649,5

TABELUL 5.3

Valorile medii lunare ale radiatiei solare globale  
in plan inclinat  $45^\circ$  [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ] si anuale [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{an}$ ]

luna	localitatea						
	Ljubljana	Zagreb	Novi Sad	Beograd	Split	Hvar	Dubrovnik
I	49,6	52,7	77,5	77,5	117,8	119,3	103,8
II	56,0	67,2	100,8	100,8	124,6	123,2	109,2
III	118,5	99,2	125,5	127,1	165,8	156,5	147,2
IV	133,5	127,5	141,0	147,0	186,0	165,5	165,0
V	133,5	141,0	159,6	162,7	175,1	179,8	179,8
VI	133,5	138,0	160,5	162,0	169,5	181,5	183,0
VII	150,3	161,2	175,1	172,0	196,0	198,4	209,1
VIII	144,1	156,5	172,0	172,0	189,1	133,9	212,3
IX	106,5	133,5	151,5	151,5	184,5	183,0	192,0
X	83,7	94,5	141,0	141,0	167,4	165,8	168,9
XI	42,0	45,0	88,5	88,5	120,0	112,5	115,5
XII	31,0	34,1	55,8	68,2	99,2	102,3	89,9
total $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}$	1140,1	1250,4	1548,8	1570,3	1885,0	1886,5	1872,7

Fig.5.1 reprezinta energia medie zilnica a radiatiei solare in plan orizontal si vertical in Belgrad (cifrele din diagrama pentru planul vertical reprezinta energia totala lunara in  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ).

Se observa ca in Belgrad suprafata orizontala receptioneaza de 4,3 ori mai putina energie in ianuarie decit in iulie. Aceasta este cea mai mare problema in ceea ce priveste posibilitatea de incalzire a caselor determinata de impasul dintre energia primita de la Soare si perioada de utilizare a acesteia.

Daca analizam insa energia receptionata de o suprafata verticala, ajungem la concluzia ca acest raport este mult mai avantajos, fiind 2,3 [8].



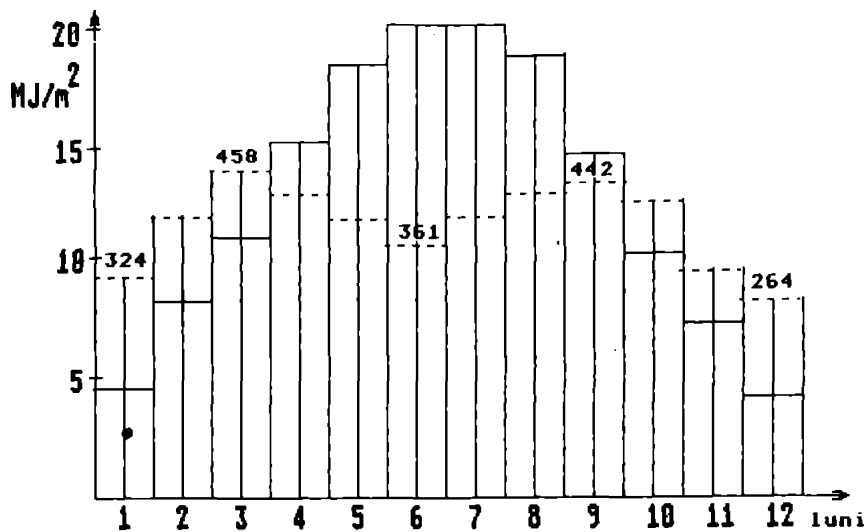


Fig.5.1

In fig.5.2 este reprezentata dependenta energiei receptionate pe o suprafata orientata spre sud, de unghiul de inclinare, in Belgrad.

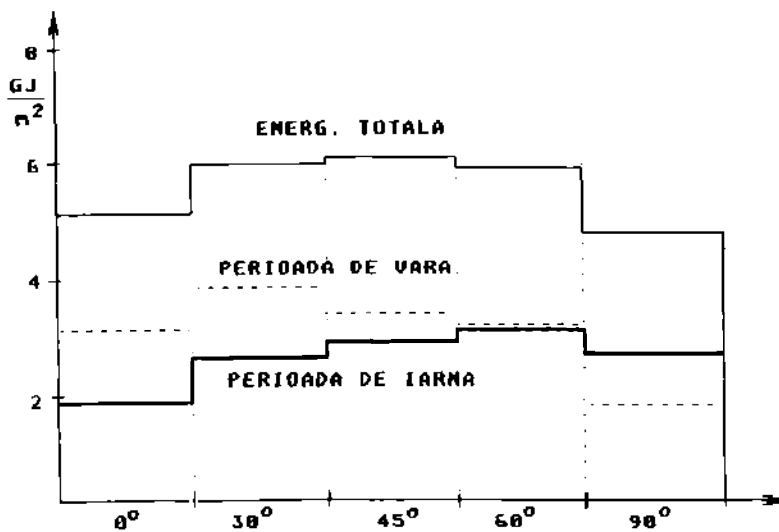


Fig.5.2

Consideratii meteorologice si de insotatie pe paralela  
45°N in Romania si Iugoslavia

Masuratori sistematice efectuate in laboratoarele proprii ale  
catedrei de fizica de la UTT (Ro) cit si date de la statiile  
meteorologice din Timisoara (Ro) si Virset (YU) permit urmatoarea  
sistematizare pentru Virset, conform tabelului 5.4:

TABELUL 5.4

luna	T <sub>med</sub> /1 [°C]	Nr. ore inso- latie [h]	I [kJ/m <sup>2</sup> ]			I <sub>G</sub> 0°	I <sub>G</sub> 45°
			I <sub>direct</sub>	I <sub>difuz</sub>	I <sub>global</sub>	$\left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{zi}} \right]$	$\left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{L}} \right]$
I	-0,5	85	1978	3180	5158	1,4	77,5
II	1,3	106	3389	4853	8242	2,2	100,8
III	6,4	154	5899	6109	12008	3,35	127,1
IV	11,9	186	8159	8368	16527	4,85	147,0
V	16,7	226	10878	9247	20125	6,00	162,7
VI	20,0	270	13220	9834	23054	6,45	162
VII	22,1	301	14184	8870	23054	6,75	172
VIII	21,6	291	12720	7698	20418	6,00	172
IX	17,8	231	9875	6108	15983	4,65	151,5
X	12,5	193	6485	4644	11129	3,05	141,0
XI	6,7	89	2134	3263	5397	1,6	88,5
XII	2,0	59	1005	2761	3766	1,15	68,2
anual		2191				1337,7 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}$	1570,3 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}$

Fig.5.3 reprezinta variatia intensitatii radiatiei solare  
zilnice pentru lunile mai - septembrie in anii 1985 si 1988 cit si  
medie zilnica a intensitatii pentru lunile respective.

Se constata o deplasare a valorii maxime a intensitatii  
radiatiei solare in luna iulie 1985 intre orele 13-14, in rest  
alura curbelor este cea asteptata, intensitatea fiind maxima in  
iulie si minima in septembrie.

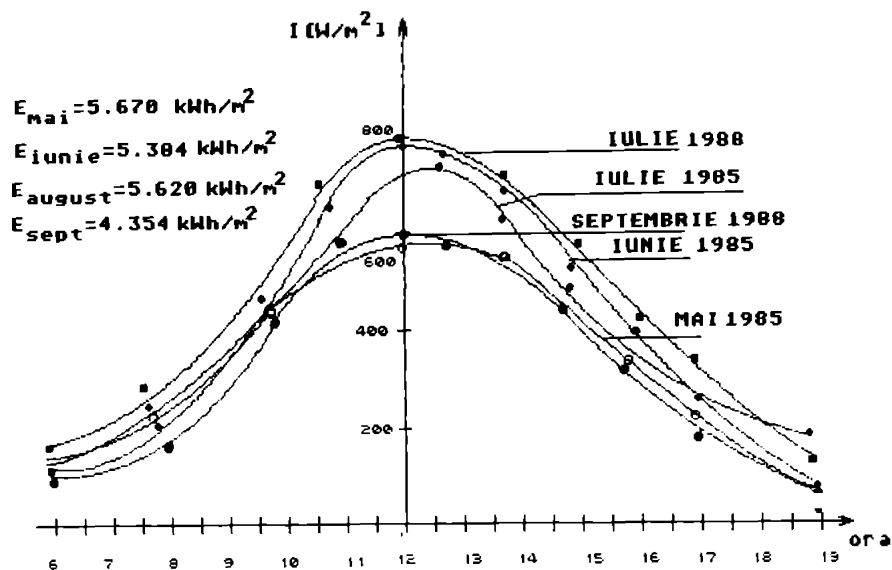


Fig.5.3

In Iugoslavia energia electrica se foloseste considerabil si la incalzirea locuintelor atat direct cit si prin sisteme de acumulare a energiei electrice [8].

Datorita decalajului dintre posibilitatile de productie si utilizare a energiei electrice:

- consideram realizabil ca o anumita cantitate din energia ce trebuie asigurata din surse diferite de energie conventionale, autotone sau din import, sa fie obtinuta din energia solara stocata si utilizata sub forma de energie termica pentru climatizarea locuintelor cit si sub forma de energie electrica fotovoltaica in locuri izolate cu un numar considerabil de ore de insolatie in decursul unui an mai ales si datorita faptului ca pretul de cost a energiei obtinute din surse conventionale este in crestere datori-

ta epuizarii acestora iar pretul de cost al instalatiilor si unitatilor producatoare de energie solara este intr-o descrestere pronuntata.

### 5.3 CASA, CA OBIECT ENERGETIC

Solutia optima a utilizarii energiei solare pentru incalzire ar fi captarea energiei solare fara echipamente auxiliare, utilizand insasi casa, ca si captator. Acest mod pasiv de utilizare a energiei solare pentru incalzirea caselor in ultimul timp atrage tot mai mult atentia specialistilor.

Cercetarile teoretice si experimentale referitoare la acest fel de incalzire, efectuate pe plan mondial in ultimii ani, demonstreaza ca procesele termice de incalzire-racire a caselor, fluxul termic, energia radianta, rolul geamurilor, rolul izolatiei termice, etc., nu au fost studiate minutios decit in ultimul timp. Cu toate ca aceste studii sint in plin avint, rezultatele de pina acum sint deja promitatoare [39].

In constructia caselor solare, inainte de utilizarea combustibililor fosili pentru incalzire, trebuie folosit la maximum ceea ce se poate obtine de la natura: Soarele pentru incalzire, Pamintul pentru izolatie si aerul pentru circulatie. Cu ajutorul tehnicii moderne, deci cu colectori solari pe acoperis, aceste surse solare, aproape ca sint suficiente pentru necesitatile energetice ale unei astfel de case.

Casa trebuie sa fie indreptata spre sud. Geamurile sint astfel montate ca sa poata fi captata radiatia solara pe timp de iarna, iar acoperisul si paravanele trebuie sa opreasca radiatia solara pe timp de vara. O parte integrala a casei o reprezinta veranda in sticla, cu perete masiv de caramida si un strat gros de piatra sub pardoseala. Piatra si caramida absorb caldura in timpul zilei, eliberind-o in timpul noptii. Deschizaturile - canalele in pereti cit si geamurile glisante asigura un debit necesar de aer, usurind incalzirea pe timp de iarna si racirea pe timp de vara.

In multe tari, exista proiecte de cercetare stiintifica, constructie si verificare a datelor referitoare la casele solare. Probabil ca in viitor acest fel de incalzire a caselor o sa fie preponderent.

Experiențele de pînă acum arată că în felul acesta se utilizează eficient energia solară, dar și mai mult se îmbunătățește calitatea vieții, careia omul modern îi acordă o atenție tot mai mare. Această casă, mai întâi eliberează omul de grija pentru căldură. Peretii și pardoseala acestor case sînt calzi, ceea ce dă o stare de confort deosebită. În aceste case există soare și căldură suficiente pentru cultivarea florilor și fructelor pe timp de iarnă, deoarece frecvent aceste case au verandă în sticlă. Dar mai presus de toate este senzația de întoarcere a omului în natură prin însăși casa sa.

Sistemul pasiv de utilizare a energiei solare are un avantaj fundamental în raport cu sistemele active cu captatori.

În cazul sistemelor active radiația solară se transformă în căldură în captatori, iar temperatura de lucru depinde de condițiile meteorologice, și de calitatea captatorilor. Pe timp de iarnă, se obțin temperaturi ce ating valori pînă la 30 °C. Cu micșorarea intensității radiației, practic aceste sisteme devin inutilizabile.

O imagine cu totul deosebită se obține în cazul în care radiația solară este captată în casa prin suprafețe de sticlă. Soarele este izvorul radiației de temperatură ridicată (5800 K), acesta, conform legilor fizice de bază, prin radiație cedînd energie tuturor corpurilor care se găsesc la o temperatură mai joasă decît aceasta. Deoarece încăperile în case sînt încălzite pînă la 20 °C (297 K), acestea întotdeauna o să absoarbă radiația solară, indiferent de intensitatea și felul acesteia. Dar și casa cedează temperatura în exterior mediului înconjurător, astfel că aportul net de energie în casa are să fie pozitiv atunci cînd puterea radiației solare este mai mare decît pierderile de energie [8].

De exemplu, prin geamurile duble se pierd aproximativ 3 W/m<sup>2</sup>K astfel că pierderile, la temperatura de -10 °C, o să fie de cca. 100 W/m<sup>2</sup>. Puterea radiației solare foarte rar în decursul zilei este mai mică decît această valoare. Deci în cazul caselor care captează energie solară, se poate lua în considerare aportul energiei solare zilnic, acesta fiind avantajul sistemelor pasive față de sistemele active.

La proiectarea caselor solare se ține cont de cîteva elemente:

- terenul cel mai potrivit, dacă este posibil pe colina îndreptată spre sud, scutit de vînt.

- casa trebuie să fie în umbra copacilor cu frunza cazatoare vara și expusă soarelui iarnă. Încăperile principale, camera de

zi, sufrageria, bucataria, trebuie asezate spre sud, iar cele auxiliare (camara, garajul) spre nord. Casa trebuie asezata cu lungimea pe directia est-vest, astfel ca suprafata expusa soarelui sa fie mai mare.

#### 5.4 BILANTUL ENERGETIC AL UNEI CASE FAMILIALE

Consideram o casa familiala cu etaj de suprafata utila  $160 \text{ m}^2$  si dimensiuni  $12 \times 8 \text{ m}$ , caracteristica zonelor din jurul Belgradului. Presupunem ca a fost construita dupa ultimele prescriptii referitoare la izolatia termica.

Se pune problema: care este cantitatea de energie necesara de a mentine in toate incaperile casei, pe tot parcursul sezonului rece, o temperatura medie de  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Aceasta energie se poate calcula in cazul in care cunoastem toate elementele constructive ale acesteia - felul zidurilor, suprafetele geamurilor, izolatia acoperisului si a tavanului.

Presupunem ca satisface normele de izolatie termica, norme care definesc conductibilitatea termica,  $k$ , a anumitor parti componente ale casei [8]. Astfel consideram:

TABELUL 5.5

	zid	tavan	pardoseala	fundatie	geamuri duble
$k \text{ [W}^2\text{/m K]}$	0,8	0,6	0,6	0,5	3,0

Explicam practic ce reprezinta aceste valori in cazul unui zid de  $S = 10 \text{ m}^2$ . In cazul in care in incapere mentinem temperatura de  $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ , iar in exterior avem  $T_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , atunci pierderile de energie intr-o secunda (deci puterea) va fi:

suprafata · diferenta de temperatura · conductibilitatea  
adica:  $S(T_c - T_e) \cdot k = 10(22-0) \cdot 0,8 = 176 \text{ W}$

In 24 de ore prin acest zid o sa se piarda energia totala de:

$$176 \cdot 24 \cdot 3600 = 15.206.400 \text{ J} / 3,6 \cdot 10^6 = 4,224 \text{ kWh}$$

Astfel putem calcula pierderile totale ale casei. Obtinem urmatoarele valori pentru pierderi:

TABELUL 5.6

suprafata $S \text{ [m}^2\text{]}$	$S_z = 200$	$S_g = 20$	$S_a = 100$	$S_f = 40$
$K_p \text{ [W/K]}$	$K_z = 160$	$K_g = 60$	$K_a = 60$	$K_f = 20$

Trebuie adaugate pierderile la aerisire, schimb de aer necesar pentru introducerea oxigenului. Din experienta se considera ca aerisirea, schimbul de aer este necesar la doua ore. Pierderile de energie datorate aerisirii-schimbului de aer, sint:

$$\text{masa de aer} \cdot \text{caldura specifica} = M_a c_s$$

$$M_a = V\rho$$

V - volumul casei:  $\rho$  - densitatea aerului

Pierderile in decursul a doua ore sint:

$$V \cdot \rho \cdot c_s = 4000 \text{ m}^3 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,012 \text{ kJ/kgK} = 485 \text{ kJ/K}$$

Pierderile intr-o secunda:

$$K_{sa} = \frac{485 \text{ kJ/K}}{2 \cdot 3600 \text{ s}} = 67 \text{ [W/K]}$$

Coefficientul total de pierderi termice  $K_t$ :

TABELUL 5.7

$K_t$ [W/K]	$K_z$	$K_g$	$K_a$	$K_f$	$K_{sa}$	$K_t$
	160	60	60	20	67	367

Acest coeficient permite calculul energiei sau a puterii necesare pentru incalzirea casei. De exemplu la temperatura exterioara de  $T_e = 0^\circ\text{C}$ , pentru a mentine temperatura interioara  $T_i = 22^\circ\text{C}$  a casei, avem nevoie de o putere:

$$22 \cdot 367 = 8.074 \text{ W} = 8,074 \text{ kW}$$

Sistemele de incalzire in zona Belgradului se proiecteaza astfel ca temperatura interioara  $T_i$  sa poata fi mentinuta la  $22^\circ\text{C}$  la o temperatura exterioara  $T_e = -16^\circ\text{C}$ . In acest caz, puterea necesara pentru incalzire, este:

$$22 - (-16) \cdot 367 = (22 + 16) \cdot 367 = 14 \text{ kW}$$

In aceste conditii in decursul a 24 ore, casa ar cheltui  $24 \cdot 14 = 336 \text{ kWh}$ .

In calcule trebuie tinut cont de faptul ca in casa, intotdeauna se produce caldura (prezenta locatarilor, folosirea anumitor aparate casnice:plita, aparat radio, TV, calcator) astfel ca se propune ca valoarea temperaturii interioare sa fie de  $18^\circ\text{C}$ .

Pierderile termice se calculeaza pentru fiecare luna. Pentru luna ianuarie cind temperatura medie zilnica la Belgrad este de  $-0,5^\circ\text{C}$ , energia pierderilor termice, este:

$$\begin{aligned} E_r &= K_t (T_{\text{casa}} - T_{\text{mediu}}) (\text{numar secunde pe luna}) = \\ &= 367(18 + 0,5) \cdot 31 \cdot 24 \cdot 3600 = 1,82 \cdot 10^{10} \text{ J} = 5051 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Energia necesara pentru intreg sezonul rece, pentru cazul analizat, este 22.781 kWh.

In luna ianuarie energia receptionata pe suprafata de 100 m<sup>2</sup> expusa normal radiatiei solare este 9830 kWh, fiind aproape dublul energiei necesare pentru incalzire in luna ianuarie (5051 kWh). Deci casa ar putea fi incalzita integral cu energie solara in cazul in care suprafata sudica, ar fi acoperita integral cu captatori de randament foarte bun (60 %). Aceasta solutie nu ar fi convenabila economic.

Studii stiintifice asupra sistemelor de captare si utilizare a energiei solare pentru incalzirea spatiilor locative arata ca un sistem solar de captare, poate fi tehnic si economic rational daca este proiectat in asa fel ca sa se acopere 50-75 % din necesitatile pentru incalzire.



## CAPITOLUL 6 BAZA EXPERIMENTALA PENTRU STUDIUL STOCARII DE SCURTA SI MEDIE DURATA A CALDURII OBTINUTE PRIN TERMOCONVERSIA ENERGIEI SOLARE

### 6.1 ASPECTE GENERALE

Conversia energiei solare in energie termica se realizeaza in conditii economice avantajoase la temperaturi reduse de ordinul a  $40-60^{\circ}\text{C}$  cu randamente globale acceptabile (0,4) obtinindu-se puteri medii utile in orele si zilele insorite de ordinul a  $0,3-0,5 \text{ kW/m}^2$  [43].

Puterea termica necesara pentru incalzirea unei locuinte conventionale la temperatura exterioara minima de calcul (de exemplu  $-15^{\circ}\text{C}$  pentru Timisoara) este de cca.  $4 \text{ kW}$  si in cazul incalzirii cu energie solara poate fi acoperita de cca.  $15 \text{ m}^2$  suprafata de captare pentru o locuinta. De subliniat ca in timp ce aportul de energie termica obtinuta prin conversie solara depinde de gradul de insolatie necesarul de caldura al spatiilor incalzite depinde de temperatura exterioara si de conditiile starii vremii.

Insolarea cladirii micsoreaza necesarul de energie termica al spatiilor incalzite. Din cauza ca cele doua fenomene (aportul de energie obtinuta prin conversie si necesarul de caldura al cladirii), evolueaza dupa legi diferite, pentru a se mentine temperaturi interioare acceptabile sint necesare sisteme de stocare si surse suplimentare pentru completarea necesitatilor termice, atunci cind sistemele de stocare nu sint satisfacatoare.

Investitiile determinate de utilizarea energiei solare pentru incalzire sint mari. Pina la declansarea crizei petrolului in anul 1973 incalzirea cu energie solara se realiza cu totul intimplator doar in tari cu multe ore de insorire in sezonul rece. Chiar si incalzirea solara pasiva era ignorata din cauza unor probleme de estetica, din cauza complicatiilor tehnologice si chiar din cauza inertiei proiectantilor. In momentul in care pretul petrolului a crescut, argumentele s-au modificat in favoarea energiei solare.

Cercetarile sistematice care se efectueaza in aceasta directie sporesc continuu competitivitatea sistemului. Literatura de specialitate cuprinde tot mai multe date referitor la particularitatile conversiei termosolare si la utilizarea ei pentru incalzirea locuintelor.

Necesitățile energetice pentru producerea apei calde menajere reprezintă doar 20-30 procente din necesarul energetic al consumului casnic. Ponderea mare o reprezintă consumul pentru încălzirea locuințelor în sezonul rece, adică tocmai în perioada în care insolarea este minimă și temperatura exterioară este scăzută. Din cauza contradicțiilor foarte mari existente între oferta de energie solară și necesarul de energie termică din sezonul cald și din sezonul rece, în cercetările care se efectuează, un rol primordial îl are determinarea dimensiunii și tipului acumulatorului. Alegerea corectă a dimensiunii acumulatorului, din cauza caracterului aleator al procesului de insolare cit și din cauza numărului mic de ore de însorire din sezonul rece, este esențială. Cu cât acumulatorul de stocaj este mai mare, cu atât necesarul de energie suplimentară preluată de la sursa auxiliară se micșorează, în schimb, cresc investițiile.

În cazul regiunilor situate pe paralela  $45^{\circ}$  în sezoanele de trecere primăvara și toamna, există un număr important de zile însorite, dar în același timp temperatura coboară în timpul nopții, adesea sub  $+10^{\circ}\text{C}$  creînd un disconfort termic.

Se pune astfel problema climatizării locuințelor folosind energia solară stocată în zilele cu insolatie utilizînd în acest scop bazine cu roci dure, fiabile în exploatare și care nu necesită investiții prea mari.

## 6.2 DESCRIEREA LABORATORULUI EXPERIMENTAL

În cadrul Universității Tehnice Timișoara a fost realizat un laborator solar experimental de tip "Casa Solară", unic în România prezentat în figurile următoare:

- fig.6.1 reprezintă aspectul exterior al casei solare avînd la subsol sistemele de acumulare a energiei solare, la parter blocul de comandă, iar la etaj blocul pentru disiparea căldurii.

- fig.6.2 reprezintă blocul de captare a energiei solare alcătuit din 12 captatori solari tip SADU

Laboratorul solar experimental, este un laborator de încărcare-descărcare-descărcare rapidă, în care se poate studia:

- conversia energiei solare în energie termică
- stocarea energiei termice
- încălzirea încăperilor cu ajutorul energiei solare stocate
- descărcarea rapidă a acumulatorului



Fig.6.1.

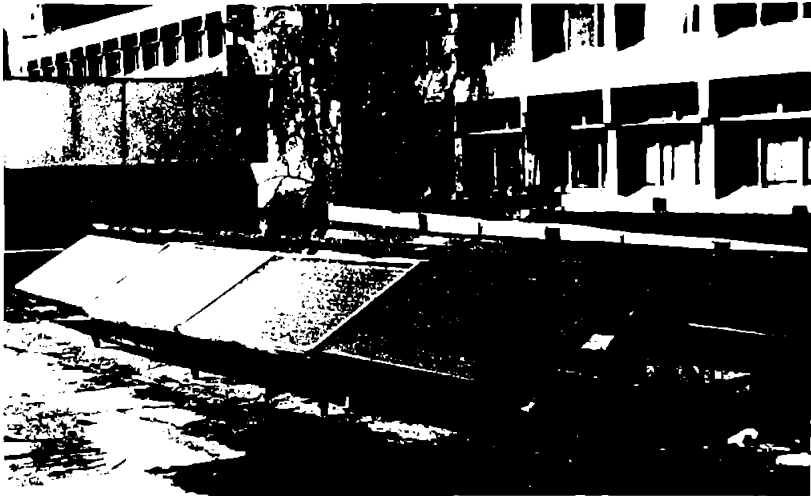


Fig.6.2.

Laboratorul solar, pentru o exploatare usoara, a fost proiectat pe blocuri independente conform schemei bloc din fig.6.3 [35]:

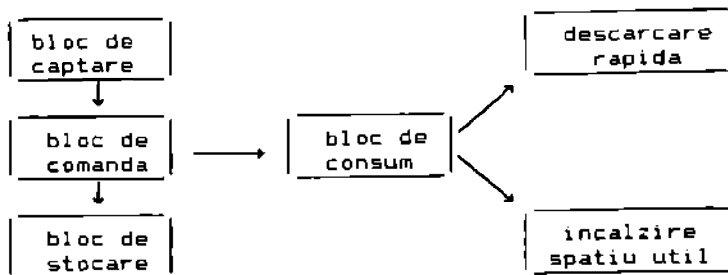


Fig.6.3 Schema bloc a instalatiei experimentale

Blocul de captare este proiectat pentru transformarea energiei solare in energie termica, energie ce este transmisa agentului de lucru (apa de racire sau lichid antigel). Blocul este alcatuit din 12 captatori solari tip SADU montati in baterie si echipati cu sistem de modificare a inclinarii pentru ca in acest fel statia sa poata fi utilizata in tot timpul anului. Unghiul de inclinare este  $(30-45)^{\circ}$ .

Blocul de comanda montat la parterul statiei experimentale contine:

- aparataj de control si comanda
- instalatii electrice
- schimbatorul de caldura
- pompe de circulatie
- colectoare, distribuitoare
- instalatia de incalzire cu aer cald
- instalatia de descarcare rapida
- accesorii pentru functionarea instalatiei experimentale

Blocul de stocare contine sistemul de stocare in roci dure, realizat in subsolul statiei experimentale si poate fi umplut cu piatra de diverse granulometrii. Rezervorul este prevazut cu un sistem de canale prin care aerul poate strabate masa de piatra pentru incalzirea acesteia in perioada de stocaj si pentru preluarea caldurii in perioada de cedare. In exteriorul rezervorului metalic pentru stocarea in piatra a fost montata o izolatie suplimentara de vata minerala avind  $\delta = 0,30$  m. Subsolul impreuna cu fundatia cladirii au fost hidroizolate deoarece pinza de apa freatica depaseste cota de nivel minim al constructiei.

SECTIUNEA A-A (sc 1:50)

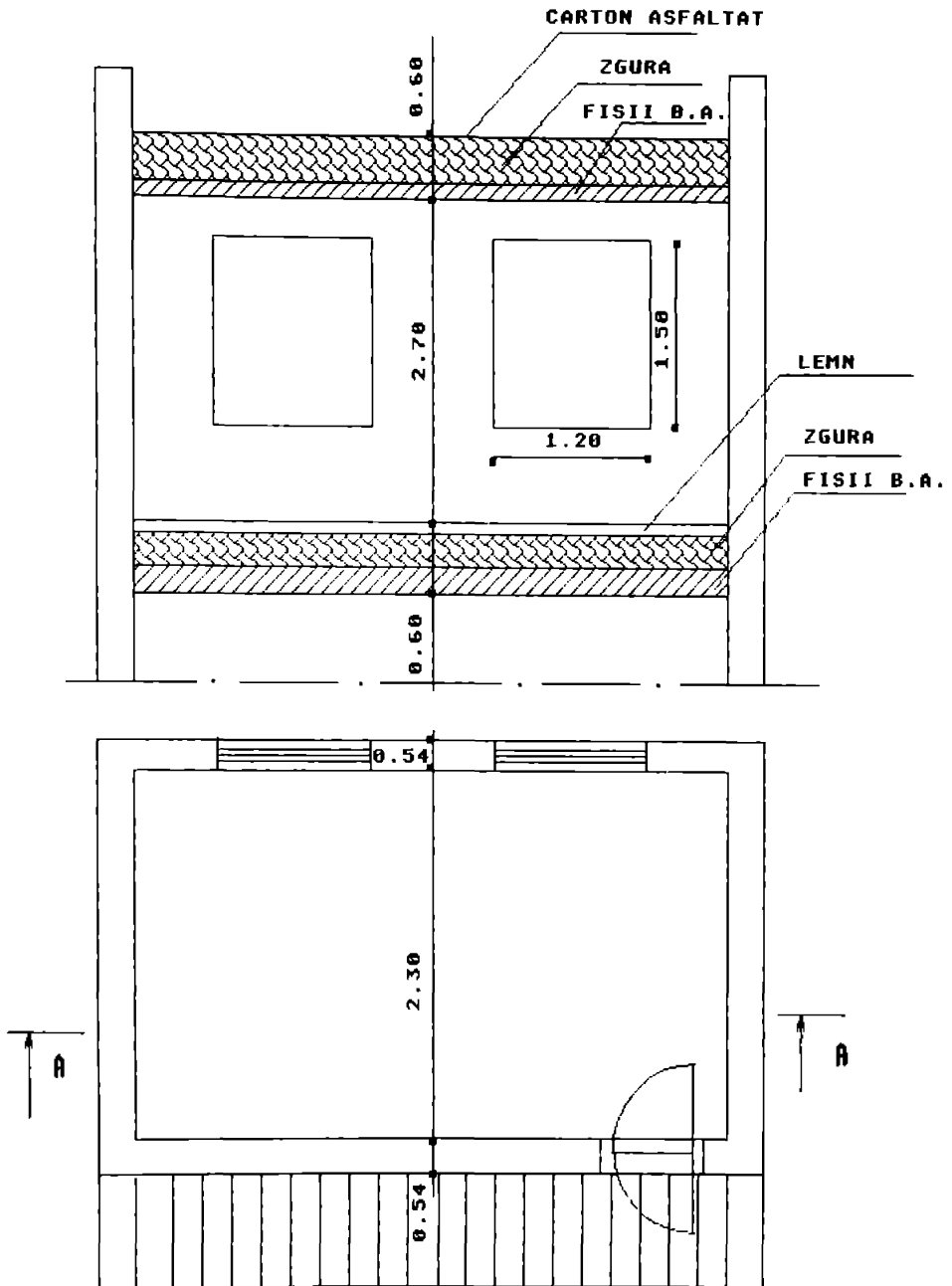


Fig.6.4

Blocul pentru disiparea caldurii este alcatuit dintr-o incapere in interiorul careia se introduce energia termica stocata in asa fel incit sa se mentina temperatura constanta de  $+18^{\circ}\text{C}$ . Incaperea este bine izolata pentru ca pierderile termice sa fie minime fiind numita "incinta de pierderi minime". Detaliile constructive ale incaperii sint date in figura 6.4.

Blocul pentru disiparea caldurii a fost conceput in forma unei incaperi de dimensiuni  $3,5 \times 3,5 \times 2,8 \text{ m} = 34,3 \text{ m}^3$  situat la etajul statiei experimentale, avind trei pereti exteriori dintre care doi pereti fara ferestre si usa si un perete cu doua ferestre triple.

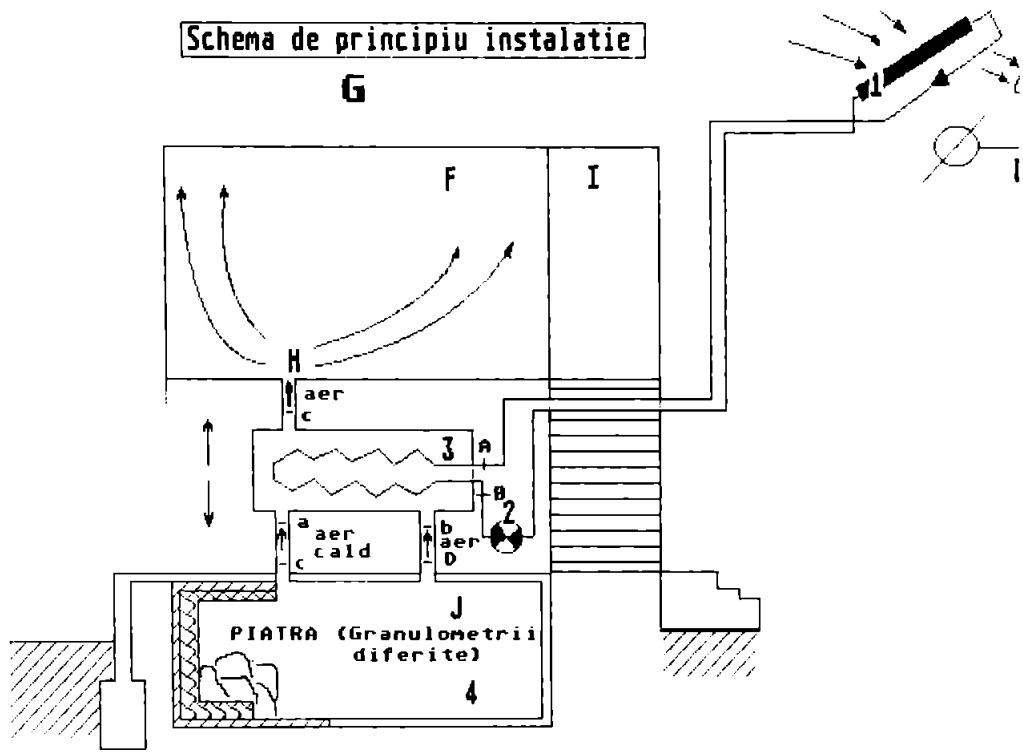
Peretele interior are o usa dubla si face legatura cu coridorul de acces. Peretii laterali si tavanul au fost realizati din caramida de 25 cm, respectiv fisii BCA pe care a fost montat un strat termoizolant interior de 15 cm prin care s-a realizat un coeficient de transfer  $k = 0,32 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ , si panou de lemn avind grosimea de 2 cm.

Pardoseala a fost executata din fisii de beton armat pe care a fost pozata o termoizolatie din zgura obtinindu-se un coeficient de transfer  $k = 0,68 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ . Spatiul de disipare are pierderi termice nominale de  $819,1 \text{ kcal/h}$  la o temperatura nominala de calcul pentru Timisoara de  $-15^{\circ}\text{C}$ ; acesteia ii corespunde o putere medie de  $566,5 \text{ kcal/h}$  la temperatura medie din sezonul de incalzire de  $+3^{\circ}\text{C}$  daca temperatura din spatiul incalzit este de  $+18^{\circ}\text{C}$ . Spatiul de disipare a caldurii realizeaza prin solutiile alese pierderi termice minime.

In cadrul laboratorului experimental exista un coridor de acces prin care se face comunicarea intre blocurile de captare, comanda si stocare a energiei. Prin aceasta se asigura functionabilitatea intregului sistem. In cladirea statiei a fost realizata instalatie electrica de forta necesara alimentarii motoarelor electrice de antrenare a pompelor si ventilatoarelor, instalatia de masura si de iluminat, fiind prevazut un tablou electric trifazat cu echipamentele de protectie si comanda necesare.

Pentru alimentarea cu apa a instalatiilor a fost prevazut un racord la instalatia de apa rece din incinta, cu ajutorul careia se compenseaza pierderile de apa din sistem.

Prezentam schema de principiu cit si datele tehnice ale instalatiei in fig.6.5.



- A** : temperatura apa calda de la captatori
- B** : temperatura apa ce iese din schimbator
- C** : temperatura aer cald din schimbator
- D** : temperatura aer la intrarea in schimbator
- F** : temperatura camera
- G** : temperatura exterioara
- H** : temperatura aer in statia de disipare
- I** : temperatura coridor
- J** : temperatura in bazinul cu piatra

Fig.6.5 Schema de principiu a instalatiei

Datele tehnice ale instalatiei sînt:

- captatorii solari notati cu (1) pe figura 6.5 sînt de tip SADU numarul lor este 12, avînd suprafata totala  $S = 24 \text{ m}^2$ . Captatorii sînt orientati spre Sud, unghiul de pozare fiind de  $45^\circ$ . Fluidul termopurtator este apa, debitul fiind  $m'_V = 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$ .

- pompa (2), asigura circulatia apei din captatori si prin schimbatorul de caldura (3).

Schimbatorul de caldura (3) cuprinde o serpentina si o suflanta. Apa cedeaza caldura aerului care curge cu debitul  $m''_V = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$  spre bazinul cu piatra (4). Aceasta suflanta cînd este necesar impinge aerul prin bazin inspre camera de disipare prin duza H, cu debitul  $m''_V = 860 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Schimbatorul de caldura introdus ca element pentru studiu nu este necesar in cazul instalatiilor casnice in care caz apa calda din captatoarele solare poate circula prin serpentina trecuta printre piesele bazinului de stocare, cedînd astfel direct caldura. In ceea ce priveste incalzirea locuintei, aerul cald va patrunde din bazin in incapere printr-un sistem de duze convenabil repartizate, care atunci cînd este cazul pot fi inchise.

Eliminarea schimbatorului de caldura ca si a camerei tehnice situate intre bazinul de stocare si incaperea de locuit imbunatateste atit eficienta sistemului - fiind eliminata o veriga, - cit si reduce costul investitiei, fapt deosebit de important pentru utilizator.

In punctele a, b, c din fig.6.5 sînt montate diafragme care asigura sensul de curgere al aerului:

- a si b deschise, c, inchisa, aerul preia caldura si patrunde in bazin unde o cedeaza pietrei.

- b si c deschise, a, inchisa aerul rece patrunde in bazin si preia caldura pe care o transporta spre camera de disipare.

Temperatura a fost masurata in punctele A, B, C, D, F, G, H, I, J si a fost notata cu  $t_A, t_B, \dots$

Termometrele montate in aceste puncte indica:

- A, temperatura apei calde care vine de la captatori
- B, temperatura apei ce iese din schimbator unde a cedat caldura aerului.
- C, temperatura aerului cald care iese din schimbator
- D, temperatura aerului la intrarea in schimbator
- F, temperatura in camera
- G, temperatura exterioara



- H, temperatura aerului ce patrunde in statia de disipare si asigura climatizarea
- I, temperatura pe coridor
- J, temperatura in bazinul cu piatra

In vederea functionarii automate a pompei utilizate pentru circulatia apei din sistem si a ventilatorului pentru refularea aerului cald am realizat o schema de actionare automatizata cu comanda realizata prin termorezistenta montata in panoul solar.

### 6.3 DIMENSIONAREA LABORATORULUI

- Blocul de captare. Se considera urmatoarele date initiale:
  - functionarea instalatiei de incarcare pe parcursul unui an se apreciaza la  $n_1 = 1500$  h/an
  - energia incidenta medie  $I = 600$  kcal/m<sup>2</sup>h  $\approx 700$  [W/m<sup>2</sup>]
  - randamentul de functionare  $\eta = 0,35$
  - numarul suprafetelor unitare de captare (numarul captatorilor solari)  $n_2 = 24$
  - energia anuala captata
 
$$E = n_1 \cdot n_2 \cdot I \cdot \eta \cdot 10^{-6} \quad [\text{Gcal/an}]$$

$$E = 1500 \cdot 24 \cdot 600 \cdot 0,35 \cdot 10^{-6} = 4,536 \quad [\text{Gcal/an}]$$
- Blocul de stocare in piatra.
  - ecartul termic: 25 °C
  - densitatea pietrei  $\rho = 2100$  kg/m<sup>3</sup>
  - caldura specifica  $c = 0,21$  Gcal/m<sup>3</sup>
  - energia stocata in piatra
 
$$E_{sp} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \Delta t \quad = 2100 \cdot 0,21 \cdot 10 \cdot 25 = 0,11 \quad \text{Gcal/ciclu} =$$

$$= 2100 \cdot 0,21 \cdot 4,18 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 25 = 0,462 \cdot 10^9 \quad \text{J/ciclu}$$
- Blocul de disipare (de consum).
  - suprafata laterala  $S_L = (3,6+3)2 \cdot 2,8 + 3,6 \cdot 3 = 47,76$  m<sup>2</sup>
  - volumul incintei de pierderi minime  $V = 3,6 \cdot 3 \cdot 2,8 = 30,24$  m<sup>3</sup>
  - coeficientul mediu de pierderi termice
 
$$k_{med} = 0,64 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

$$= \frac{0,64 \cdot 10^3 \cdot 4,18}{3600} \cdot 15 \quad [\text{J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}] = 0,74 \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{°C}]$$

Se considera temperatura medie exterioara din sezonul rece de +3 °C si temperatura interioara de +18 °C ( $\Delta t = 15$  °C).

Caldura pierduta va fi:

$$Q_{TR} = k_{med} \cdot S_L \cdot \Delta t^0 = 0,64 \cdot 47,76 \cdot 15 = 458,5 \text{ [kcal/h]}$$

Acestei cantitati de caldura, pentru determinarea pierderilor termice ce trebuie compensate, i se mai adauga un termen a carui valoare depinde de valoarea medie a vintului si de ecartul termic. Pentru datele din regiune s-a obtinut valoarea:

$$Q_i = L \cdot i \cdot v^{4/3} \cdot T = 108 \text{ [kcal/h]}$$

Deci, pierderile termice ce trebuie compensate vor fi:

$$Q_{tot} = Q_{TR} + Q_i = 458,5 + 108 = 566,5 \text{ [kcal/h]}$$

Energia medie lunara necesara considerind un randament de cedare al instalatiei de  $\eta = 0,8$ :

$$E_1 = \frac{Q_{tot} \cdot 24 \cdot 30 \cdot 10^6}{\eta} = \frac{566,5 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 10^6}{0,8} = 0,51 \text{ [Gcal/luna]}$$

Posibilitatile de acoperire a necesarului de energie al incintei pentru un randament global  $\eta = 0,75$  vor fi:

$$n_p = \eta \cdot \frac{E_{s_{pi}}}{E_1} = 0,75 \cdot \frac{0,11}{0,51} = 0,16 \text{ luni sau cca. 5 zile}$$

Numarul de cicluri anuale de incarcare a acumulatorului pentru stocajul in piatra:

$$n_{c_p} = \frac{E_{s_{pi}}}{E_{s_{pi}}} = \frac{4536 \cdot 0,75}{0,11} = 30 \text{ [cicluri/an]}$$

#### 6.4 ANALIZA CALITATILOR TERMICE ALE CAMEREI DE DISIPARE

Pierderile de caldura ale camerei de disipare au fost stabilite conform standardului romanesc STAS 1907-82 considerindu-se efectul schimbului global al masivitatii caldurii al pierderilor prin incalzirea aerului infiltrat, al efectului peretilor reci, al pierderilor de contur prin conductie spre pinza de apa freatica, al efectului orientarii spre Soare [34].

Coeficientul pierderilor termice al peretilor se calculeaza:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (6.1)$$

unde: d - grosime

$\lambda$  - conductivitate

$\alpha_i$  - coeficient de schimb pe fata interioara  $\lambda_i = 9,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [35]

$\alpha_e$  - coeficient de schimb pe fata exterioara  $\lambda_e = 14,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [35]

In tab.6.1 dam valorile coeficientilor si suprafata peretilor:

TABELUL 6.1

	K [W/m <sup>2</sup> ·°C]		S [m <sup>2</sup> ]	
perete	K <sub>p</sub>	0,36	S <sub>p</sub>	29,8
pardoseala	K <sub>pd</sub>	0,57	S <sub>pd</sub>	9,44
tavan	K <sub>t</sub>	0,59	S <sub>t</sub>	9,44
usa	K <sub>u</sub>	2,21	S <sub>u</sub>	1,89
fereastră	K <sub>f</sub>	1,70	S <sub>f</sub>	2,88

Coeficientul mediu K<sub>med</sub> al pierderilor termice este [33]:

$$K_{med} = \frac{\sum K_i \cdot S_i}{\sum S_i} \quad (6.2)$$

Pentru camera de disipare, cu valorile mentionate anterior a rezultat un coeficient mediu de pierderi termice:

$$K_{med} = 0,58 \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (6.3)$$

Bilantul termic al incaperii este descris prin:

$$Q = \sum S_i \cdot K_i \cdot \Delta T + Q' \quad (6.4)$$

unde: Q - caldura cedata camerei fie de un sistem clasic de incalzire, fie de catre curentul de aer ce patrunde in camera, din bazinul de stocare

Q' - in functie de semn, semnifica:

- semnul (+) indica pierderi de caldura datorita infiltratiilor de aer rece, a inertiei termice a cladirii
- semnul (-) indica un surplus de energie calorica datorat radiatiei solare

$\sum K_i S_i \Delta T$  - caldura cedata prin transmisie de catre suprafetele ce delimiteaza incinta avind forma:

$$\begin{aligned} \sum K_i S_i \Delta T = & (K_p \cdot S_{p_e} + K_T \cdot S_T + K_F \cdot S_F) (t_i - t_e) + \\ & + (K_{p_d} \cdot S_{p_d}) (t_i - t_j) + (K_p \cdot S_{p_i} + K_u \cdot S_u) \cdot (t_i - t_c) \end{aligned} \quad (6.5)$$

cu - suprafata: S<sub>p<sub>e</sub></sub> pereti exteriori

S<sub>p<sub>i</sub></sub> pereti interiori

- temperatura: t<sub>i</sub> - interioara

t<sub>e</sub> - exterioara

t<sub>j</sub> - in camera de jos

t<sub>c</sub> - in coridor

Cu valorile precizate se obtine:

$$\sum S_i K_i \Delta T = 18,3 \cdot \Delta t_e + 5,58 \cdot \Delta t_j + 7,1 \cdot \Delta t_c \quad [W] \quad (6.6)$$

Prezentam in tabelul 6.2 un exemplu de calcul pentru diferite valori ale temperaturii:

TABELUL 6.2

$t_i$ [°C]	$t_e$ [°C]	$t_j$ [°C]	$t_c$ [°C]	$\sum S_i K_i \Delta T^\circ$ [W]
18	10	15	12	205,74
18	5	12	10	328,10
18	0	10	8	445,04
18	-5	8	0	476,70
18	-10	4	-5	753,82

## 6.5 EXPERIMENTARI IN REGIM DINAMIC

### 6.5.1 CALCULUL ENERGIEI INCIDENTE PE CAPTATOR

Masuratori asupra functionarii instalatiei solare cu care este echipata "Casa Solara" au fost efectuate in intervalul 1987-1991. In acest sens am efectuat masuratori asupra intensitatii radiatiei solare, a debitului de apa si a temperaturii in punctele precizate anterior. In baza masuratorilor au fost evaluate:

- puterea incidenta pe captator
- caldura furnizata de captator
- caldura preluata de aer in schimbator
- caldura furnizata statiei de disipare

Energia incidenta pe captator a fost calculata din:

- intensitatea radiatiei solare masurata cu albedometrul stationar "Solaris 2" in plan orizontal
- evolutia intensitatii radiatiei solare in planul captatorului calculata cu relatia [4]:

$$I = \frac{I_0}{\sin h} \cdot \cos H \cdot \cos (\alpha - h) \quad (6.7)$$

unde:  $I_0$  - intensitatea radiatiei in plan orizontal

$h$  - unghi de inaltare a soarelui

$h'$  - distanta zenitala a soarelui

$h+h' = \pi/2$

$H$  - unghi orar al soarelui (lateral directie sud)

$\alpha$  - unghi de pozare al captatorului

In fig.6.6 este reprezentata evolutia intensitatii radiatiei solare pentru zilele 10.09.'91 si 11.09.'91, zile in care au fost efectuate masuratori, iar in tabelul 6.3 sint date valorile intensitatii, puterea incidenta orara si zilnica pentru aceleasi zile.

In fig.6.7 este reprezentata evolutia puterii incidente  $\dot{Q}_i$  avind un maxim de 22,8 kW la ora 14,00 si evolutia puterii furnizate de captator  $\dot{Q}_{AB}$  avind un maxim de 7,4 kW plasat intre orele 14,00 - 15,00.

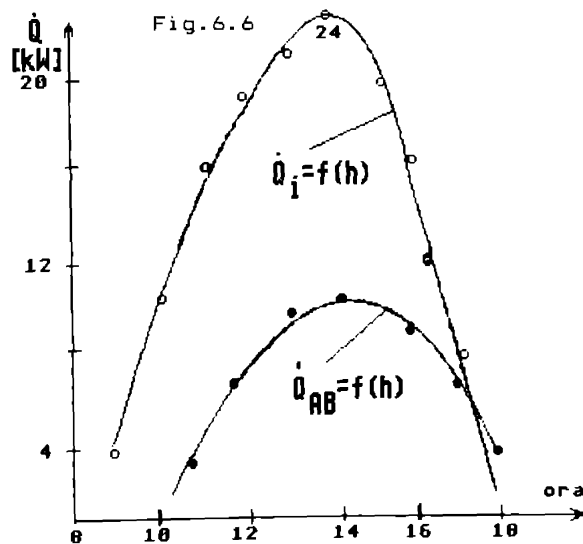
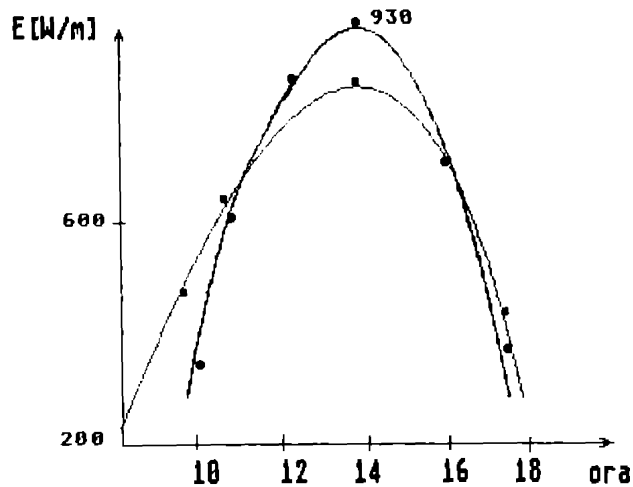


Fig.6.7

TABELUL 6.3

10.09. '91 ora	I [W/m <sup>2</sup> ]	$\dot{Q}_i$ [kW]	$\dot{Q}_i$ [MJ/h]	$\dot{Q}_i$ [MJ/zi]
9	192	4,6	16,5	482,9
10	408	9,8	35,3	
11	685	16,4	59,1	
12	821	19,7	70,9	
13	920	22,1	79,6	
14	950	22,8	82,1	
15	741	17,8	64,1	
16	544	13,1	47,2	
17	333	7,8	28,1	
18	101	2,4		
11.09. '91				
9	278	6,7	24,1	488,9
10	484	11,6	41,8	
11	629	15,1	54,4	
12	785	18,8	67,7	
13	898	21,5	77,4	
14	930	22,3	80,3	
15	760	18,2	65,5	
16	559	13,4	41,2	
17	343	8,2	29,5	
18	44	1,1		

Puterea incidenta s-a calculat cu

$$\dot{Q}_i = I \cdot S \quad (6.8)$$

cu  $S = 24 \text{ m}^2$ , suprafata de captare

Prin inmultirea lui  $\dot{Q}_i$  cu 3600 s-a obtinut caldura incidenta orara notata cu  $\dot{Q}_i$ .

Energia incidenta pe captator pe durata zilei a fost obtinuta insumind valorile  $\dot{Q}_i$ . Se remarca valorile de 482,9 MJ respectiv 488,9 MJ pentru zilele analizate.

Puterea furnizata de captator s-a calculat cu:

$$\dot{Q}_{AB} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t \quad (6.9)$$

cu:  $\dot{m}$  - debit masic

$c$  - caldura specifica

$\Delta t = t_A - t_B$ , variatia temperaturii apei intre intrarea si iesirea din captator. Variatia temperaturii  $t_A$ ,  $t_B$  si exterioare  $t_G$  este data pe figura 6.8, iar evolutia diferentei  $\Delta t$  pe figura 6.9.

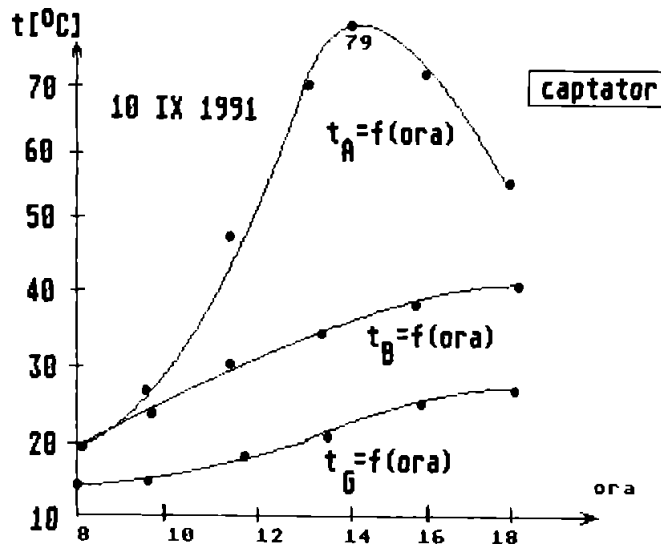


Fig. 6.8

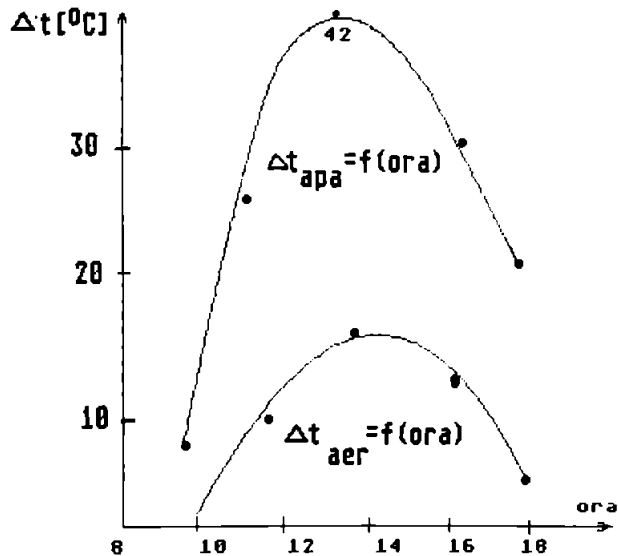


Fig. 6.9

Pe tabelul 6.4 se prezinta pentru zilele 10.09. '91 si 11.09. 1991 valorile marimilor  $t_A$ ,  $t_B$ ,  $\Delta t$ ,  $\dot{Q}_{AB}$ . Prin inmultirea lui  $\dot{Q}_{AB}$  cu 3600 se obtine caldura furnizata pe durata unei ore, ia insumind valorile  $\dot{Q}_{AB}$  rezulta caldura utila  $\dot{Q}_{AB}$  pe durata fiecărei zile in parte. Se remarca valorile caldurii utile  $\dot{Q}_{AB} = 149,9$  MJ/zi pentru 10.09. '91, respectiv  $\dot{Q}_{AB} = 141,5$  MJ/zi pentru 11.09. '91.

TABELUL 6.4

10.09.'91 ora	$t_A$	$t_B$	$\Delta t$	$\dot{Q}_{AB}$ [KW]	$\dot{Q}_{AB}$ [MJ/h]	$\dot{Q}_{AB}$ [MJ/zi]	$\eta$	$\eta_{zi}$
9	24	24	0					
10	32	25	7	1,2			0,12	
11	47	30	17	2,9	4,4		0,18	
12	62	32	30	5,3	10,8		0,27	
13	71	34	37	6,5	18,9		0,29	
14	79	37	42	7,4	23,4	149,9	0,32	0,34
15	76	37	39	6,9	26,6		0,39	
16	72	38	34	5,9	24,7		0,45	
17	67	36	31	5,5	21,5		0,70	
18	55	36	19	3,3	19,6			
11.09.'91								
9	24	24	0					
10	38	28	10	1,8	6,5		0,16	
11	50	31	19	3,3	10,9		0,22	
12	60	33	27	4,2	15,9		0,25	
13	64	34	30	5,3	18,9		0,25	
14	78	37	41	7,2	25,9	141,5	0,33	0,33
15	73	37	36	6,3	22,7		0,35	
16	70	38	32	5,6	20,1		0,42	
17	66	37	29	5,1	18,3		0,62	
18	58	36	22	3,9				

Cu ajutorul celor prezentate anterior se poate calcula eficienta captatoarelor si a schimbatorului de caldura.

Randamentul termoconversiei s-a calculat cu:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{AB}}{\dot{Q}_i} \quad (4)$$

pentru valorile momentane, respectiv cu:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{AB}}{\dot{Q}_i} \quad (5)$$

pentru valorile zilnice. Se remarca valorile randamentului  $\eta=0,34$  pentru 10.09.'91, respectiv  $\eta=0,33$  pentru 11.09.'91.

Prin serpentina schimbatorului de caldura circula apa care se raceste de la  $t_A$  la  $t_B$  cedind caldura  $\dot{m} \cdot c (t_A - t_B)$ . Aerul care scald serpentina se incalzeste de la  $t_D$  la  $t_C$  absorbind caldura:

$$\dot{Q}_{CD} = \dot{m}_{aer} \cdot c_{aer} (t_C - t_D) \quad (6)$$

Pe tabelul 6.5 se prezinta valorile  $t_C$ ,  $t_D$ ,  $\Delta t_{aer} = t_C - t_D$ , caldura preluata de aer intr-o ora  $\dot{Q}_{CD}$ , inmultind caldura  $\dot{Q}_{CD}$  cu 3600, caldura preluata de aer in decursul zilelor analizata insumind termenii  $\dot{Q}_{CD}$ , cit si randamentul de preluare a caldurii de catre aer calculata cu:

$$\eta_{CD} = \frac{\dot{Q}_{AB}}{\dot{Q}_{CD}} \quad (7)$$



TABELUL 6.5

10.09.'91 ora	$t_C$	$t_D$	$\Delta t$	$\dot{Q}_{CD}$ [kW]	$\dot{Q}'_{CD}$ [MJ/h]	$\dot{Q}_{CD}$ [MJ/zil]	$\eta_{CD}$
10	26	24	2	1,1	3,9	139,2	0,93
11	30	25	5	2,8	9,9		
12	34	25	9	4,9	17,9		
13	36	25	11	6,1	21,9		
14	39	26	13	7,2	25,9		
15	37	26	11	6,1	21,9		
16	36	26	10	5,6	19,9		
17	35	26	9	4,9	17,9		
18	33	27	6	3,3	11,9		
11.09.'91						131,2	0,91
10	28	25	3	1,7	5,9		
11	31	25	6	3,3	11,9		
12	33	25	8	4,4	15,9		
13	34	26	8	4,4	15,9		
14	36	26	10	5,5	19,9		
15	37	26	11	6,1	21,9		
16	37	27	10	5,5	19,9		
17	36	27	9	4,9	17,9		
18	36	28	8	4,4	15,9		

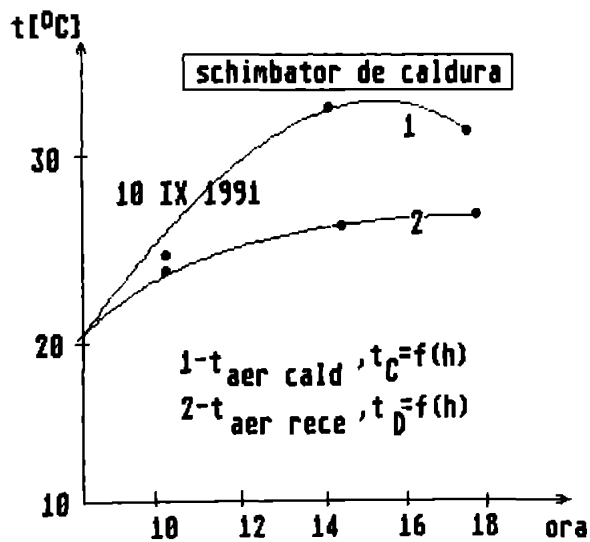


Fig.6.10

In figura 6.10 se prezinta aspectul grafic al dependentei  $t_C = f(h)$  si  $t_D = f(h)$ .

Analiza curbelor din fig.6.9 si fig.6.10 cit si a tab.6.5 indica faptul ca aerul se incalzeste cu cel mult 13 °C, preia o putere maxima de 7,2 kW si transporta spre bazin pe durata zilei ~ 134 MJ

### 6.5.2 STUDIUL BAZINULUI DE STOCARE (B.S)

Se stie ca in orice instalatie complexa randamentul global este produsul randamentelor individuale ceea ce conduce la valori foarte mici daca instalatia este extrem de complicata si partile componente nu pot atinge randamente inalte fie din alte motive principale - cum ar fi cel impus de Principiul al II-lea al termodinamicii-fie din motive tehnologice. Acest fapt impune studierea fiecarui element in parte atat pentru a-i determina performantele in ansamblul instalatiei cit si pentru a-i gasi formele de perfectionare care sa conduca la realizarea de randamente superioare.

In cazul instalatilor de captare-conversie, stocare si utilizare a energiei solare, bazinul de stocare are un rol insemnat conducind la pierderi mari, sau dimpotriva putind sa aduca beneficii insemnate celui care a facut investitia respectiva.

Primul element pe care trebuie sa-l analizam este cel relativ la dimensiunile lui intrucit caldura stocata depinde de cantitatea de material, adica de volumul bazinului, iar pierderile depind de suprafata totala a bazinului [9]:

$$Q_{st} = m \cdot c \cdot \Delta t^{\circ} \quad (6.14)$$

$$Q_p = K \cdot S (t_{int}^{\circ} - t_{ext}^{\circ}) \quad (6.15)$$

Ne-am propus in cele ce urmeaza o analiza a acestor elemente pentru un rezervor cubic calculindu-se volumul si suprafetele laterale precum si raportul acestor valori pentru laturi cuprinse intre 1-10 m. Rezultatele le prezentam in tab.6.6 si fig.6.11.

TABELUL 6.6

l [m]	V=l <sup>3</sup> [m <sup>3</sup> ]	S = l <sup>2</sup> * 6 [m <sup>2</sup> ]	S/V [m <sup>-1</sup> ]
1	1	6	6
2	8	24	3
3	27	54	2
4	64	96	1,5
5	125	150	1,2
6	216	216	1
7	343	294	0,8
8	512	384	0,7
9	729	486	0,6
10	1000	600	0,6

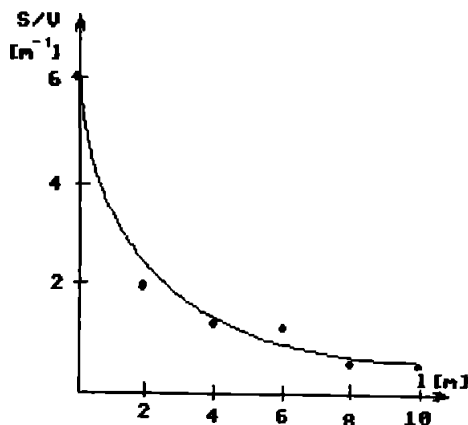


Fig.6.11

In cazul nostru BS a fost realizat pentru incalzirea unei singure incinte, astfel ca acesta nu se situeaza la cele mai bune performante, raportul  $S/V$  avind valoarea aproximativ 2.

Cercetarile efectuate pe plan mondial atesta valoarea de stocare extrem de avantajoasa a unor bazine cu roca dura la care, datorita raportului convenabil  $S/V$  nu mai este necesara izolatia depozitului de caldura.

In cazul nostru BS a fost izolat cu beton, cu inca un strat izolant fiind asigurat impotriva infiltratiilor de apa freatica.

In vederea stabilirii caracteristicilor fizice generale ale BS studiat, stiut fiind ca pierderile de caldura se realizeaza in principal prin conductie si convecție, s-a realizat o incarcare termica pina la temperatura maxima de  $59^{\circ}\text{C}$  dupa care in lunile octombrie si noiembrie s-a urmarit scaderea temperaturii medii din bazin. In aceasta perioada temperatura in pamint la adincimea bazinului s-a mentinut la  $17^{\circ}\text{C}$  [35].

Curba de racire, prezentata in fig.6.12, a permis atit determinarea coeficientului global de reducere a temperaturii  $k$  cit si valoarea sa relativa, prezentate in fig.6.13 plecind de la relatia:

$$\frac{dt^{\circ}}{t^{\circ}} = -k \cdot dz, \quad \text{adica} \quad t^{\circ z} = t_0^{\circ z} \cdot e^{-kz} \quad (6.16)$$

$$k = - \frac{\Delta t^{\circ}}{t^{\circ} \Delta z} \quad (6.17)$$

unde prin "z" s-a notat numarul de zile. Intervalul  $\Delta z = 5$  zile a permis calculele pe care le prezentam in tabelul 6.7

Asa cum se vede la dimensiuni ale bazinului mai mari decit  $6 \times 6 \times 6$  m raportul  $S/V$  devine sub-unitar, lucru deosebit de convenabil. Dimensiunea bazinului de stocare depinde de cantitatea de caldura necesara a fi stocata cit si de dimensiunile cladirii ce va utiliza aceasta caldura la climatizare, la o casa de dimensiuni standard, raportul fiind convenabil

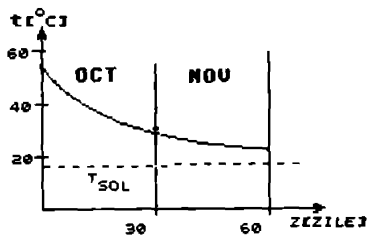


Fig. 6.12

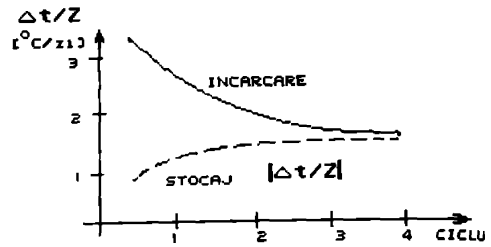


Fig. 6.13

TABELUL 6.7

$\Delta z$ [zile]	5	5	5	5	5	5
$t$ [°C]	52	45	39	34	28	25
$\Delta t$ [°C]	8,0	6,0	6,0	5,0	4,5	4,0
$k$ [1/zi]	0,030	0,027	0,030	0,029	0,032	0,032
$\tilde{k}$	0,030/zi					
$(\Delta \tilde{t}/z)$	~ 1 °C/zi					

#### OBSERVATII

1. Valoarea de scadere medie a temperaturii din bazinul de stocare de 1 °C/zi pe o durata de doua luni a studiului efectuat, arata ca acest tip de bazin - la dimensiunile pe care le are - nu este destinat a fi folosit pentru stocarea de lunga durata, fiind recomandat numai pentru stocarea cu durata de citeva zile.

2. Cu cit dimensiunile bazinului sint mai mari, cu atit pierderile relative de caldura vor fi mai mici deoarece caldura stocata depinde de volum (masa), iar pierderile depind de suprafata totala a bazinului.

#### 6.5.3 REGIMUL DE FUNCTIONARE IN BAZINUL DE STOCARE

Studiul regimului de incarcare-stocare-descarcare si descarcare rapida a fost efectuat in mai multe variante pentru ca in exploatare nu se prevede un regim fix ci unul care depinde de conditiile meteorologice, extrem de aleatorii, asa cum se stie. In acest scop au fost efectuate cicluri de cite o zi, cicluri de cite 7 zile, repetitive pentru a verifica comportarea in timp a bazinului de stocare.

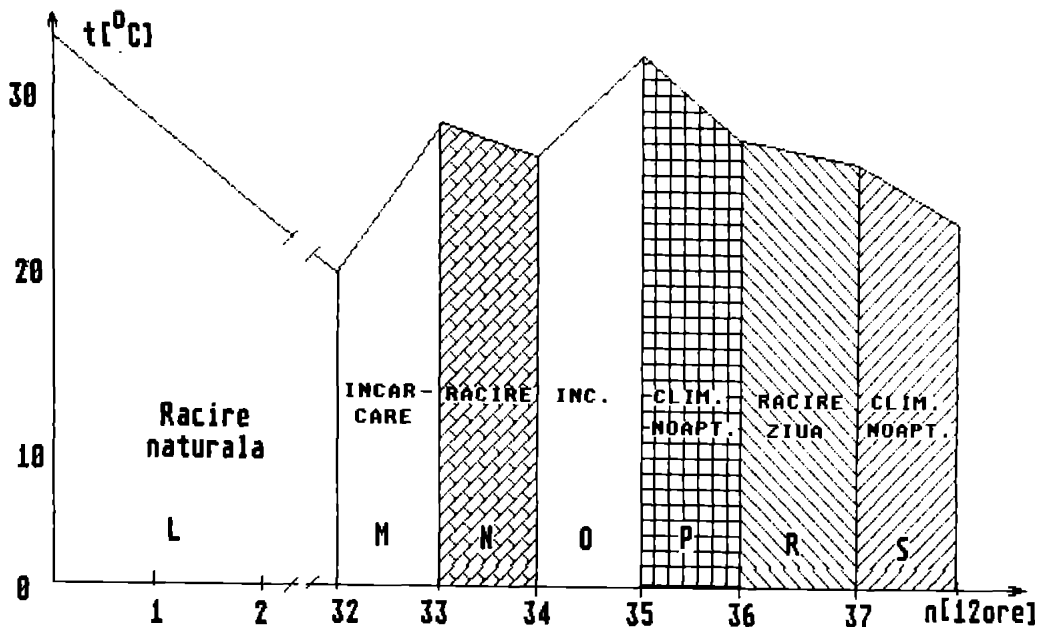


Fig.6.14 Studiul BS in diferite situatii

In fig.6.14, avind in vedere masuratorile efectuate este prezentata comportarea bazinului de stocare in diferite situatii (in aceasta figura, durata este reprezentata printr-un numar de secvente a 12 ore), prin zonele:

- L, bazinul incarcat termic, descarcat prin racire naturala
- M, incarcare
- N, racire naturala pe durata noptii
- O, incarcare
- P, climatizare incinta cu caldura extrasa pe durata noptii
- R, racire naturala pe durata noptii
- S, climatizare pe durata noptii

#### 6.5.3.1 Regim de incarcare si stocare diurn

Studiul comportarii BS in regim de incarcare si stocaj diurn a fost efectuat in luna septembrie.

In fig.6.15 prezentam evolutia temperaturii in BS  $t_j$  in regim de incarcare pentru ziua de 10.09.1991.

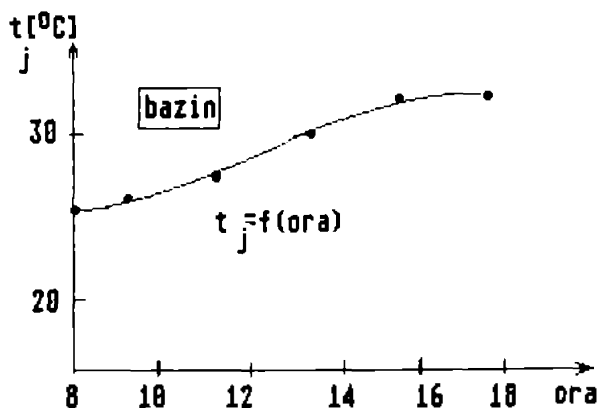


Fig. 6.15 Evolutia temperaturii in B.S. in regim de incarcare

In fig. 6.16 prezentam comportarea BS in regim de incarcare si stocare diurn cu racire naturala in decursul noptii pentru o perioada de 48 ore. Din figura se observa alura aproape exponentiala a curbei in regimul studiat.

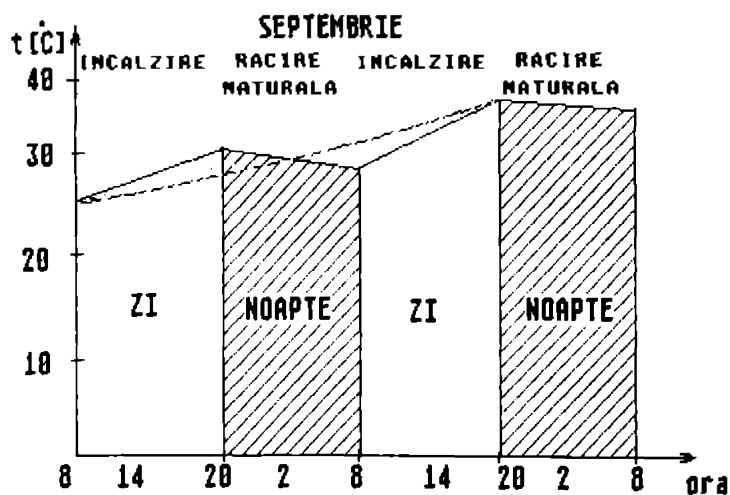


Fig. 6.16 Evolutia temperaturii in B.S. in regim de incarcare si stocare diurn cu racire naturala in decursul noptii pentru 10 si 11.09.1991

Pe tab. 6.8 se prezinta valorile temperaturii  $t_j$ ; caldura acumulata in piatra  $Q_j = m_p c_p \Delta t_p$ ; fractiunea de caldura cedata de aer, retinuta de bazin:  $f_j = Q_j / Q_{CD}$  pentru zilele de 10 si 11.09.1991 respectiv caldura acumulata in piatra  $Q_j$  si fractiunea de caldura retinuta de bazin  $f_j$  pentru ambele zile, atit timp cit a durat procesul de incarcare a bazinului.

TABELUL 6.8

data	10.09.1991				11.09.1991			
ora	9	12	15	18	9	12	15	18
$t_j$ [°C]	22	27	29	30	29	31	33	35
$Q_j$ [MJ]	115,6				86,7			
$\eta_j$	0,83				0,63			
$Q_j'$ [MJ]	202,3							
$\eta_j'$	0,75							

### 6.5.3.2 Regim de descarcare fortata si de asteptare diurn

Studiul comportarii bazinului de stocare in regim de descarcare fortata si de asteptare diurn, efectuat in luna septembrie este prezentat in fig.6.17. Alura curbei obtinuta are forma apropiata de forma exponentiala, fiind asemanatoare curbei de racire caracteristica procesului de racire fortata.

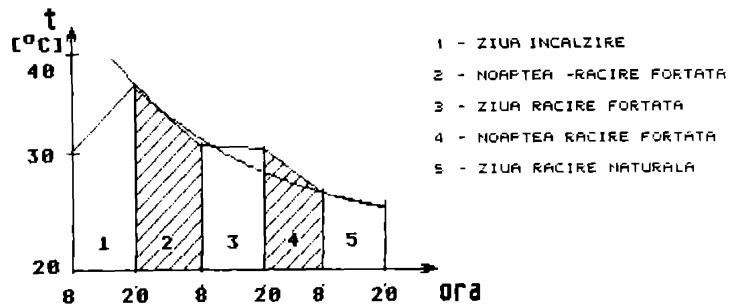


Fig.6.17

Analiza datelor arata ca:

- in prima zi a incarcarii temperatura pietrei a crescut cu 8 °C aceasta acumulind 115,6 MJ adica 0,83 din caldura cedata de aer.
- in cea de a doua zi temperatura a mai crescut cu 6 °C, acumulandu-se inca 86,7 MJ sau 0,67 din caldura cedata de aer.

In cele doua zile studiate caldura acumulata in bazinul de stocare a fost  $Q_j' = 202,3$  MJ randamentul cantitatii de caldura cedata  $\eta_j' = 0,75$ .

Zona L din fig.6.14 indica o viteza de racire naturala de aproximativ 0,4 °C la fiecare 12 ore.

6.5.3.3 Regim alternativ de incarcare termica a B.S.  
si de asteptare cu ciclul (7 + 10) zile

Masuratorile au fost efectuate in lunile august, septembrie si octombrie 1991.

In fig.6.16 se prezinta un set de 4 cicluri, formate din:

- 7 zile incarcare termica
- 10 zile regim de stocare

Variatiile exponentiale au fost aproximare cu drepte, obtinindu-se pentru cele 4 cicluri valorile prezentate in tabelul 6.9, iar curba de racire cit si coeficientul global de reducere a temperaturii  $k$  in valoare absoluta, pe fig.6.16.

TABELUL 6.9

ciclul	I		II		III		IV	
z [zile]	7	10	7	10	7	10	7	10
$\bar{t}$ [°C]	38	46	51	53,5	51	47,5	45	41
$\Delta t^\circ$ [°C]	24	8	17	13	8	15	9	15
$\frac{-\Delta t^\circ}{\Delta z}$ $\left[ \frac{^\circ C}{zi} \right]$	3,43	-0,8	2,43	-1,3	1,14	-1,5	1,3	-1,5
$\frac{-\Delta t^\circ}{t^\circ \Delta z}$ $\left[ \frac{1}{zi} \right]$	0,09	-0,017	0,05	-0,024	0,022	-0,030	0,029	-0,036

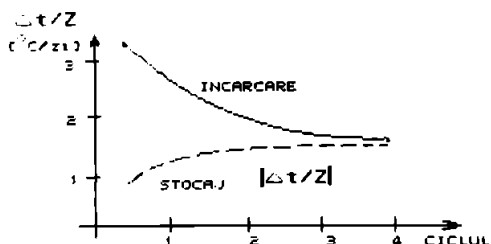


Fig.6.16  
 Evolutia coeficientului global de reducere a temperaturii pe intervalul considerat

Comparind aceste date experimentale cu cele anterioare se observa ca:

- valorile sint de acelasi ordin de marime
- in primul ciclu, efectuat in luna august, luna deosebit de calduroasa si senina pe paralela 45°N, cresterea zilnica a temperaturii in B.S. este cea mai mare, reducerea temperaturii fiind foarte mica, 0,8°C/zi la un ciclu de racire cu durata de 10 zile.



- cu tot caracterul aleator al conditiilor meteorologice atat la incalzirea B.S. cu ajutorul caldurii obtinuta de la Soare, cit si in regim de stocare, punctele se aseaza pe curbe continue (cu o singura exceptie) ca rezultat a efectului de integrala al fenomenului termic pe o durata suficient de lunga de timp, creat de B.S.:

$$\int_{\text{zile}} I_S S \cdot dz = \int_{\text{temp}} \rho \cdot c \cdot V \cdot dt^{\circ} \quad (6.18)$$

- in perioada de stocare neintroducindu-se energie, temperatura in BS scade prin cedarea de caldura catre mediul inconjurator [6]:

$$E_{\text{cedata}} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \Delta t_{\text{bazin}}^{\circ} \quad (6.19)$$

- mediul inconjurator primeste:

$$E_{\text{primita}} = S \cdot K (t_{\text{bazin}}^{\circ} - t_{\text{pamint}}^{\circ}) \tau \quad (6.20)$$

unde K - coeficientul pierderilor de caldura prin conductie, fenomenul principal care conduce la aparitia acestor pierderi [kW/m<sup>2</sup>K]

S - suprafata bazinului [m<sup>2</sup>]

t<sub>pamint</sub> - temperatura medie a pamintului inconjurator [°C]

t<sub>bazin</sub> - temperatura medie in B.S. [°C]

τ - timp producere transfer termic in regim de stocaj [h]

Pe baza masuratorilor efectuate si a consultarii literaturii de specialitate a rezultat pentru sfirsitul verii si inceputul toamnei t<sub>pamint</sub> = 17 °C ceea ce a condus la:

$$K_{\text{exp}} = 0,25 \text{ [W/m}^2 \text{ K]} \quad (6.21)$$

In perioada studiata au fost efectuate urmatoarele masuratori:

- intensitatea radiatiei solare in plan orizontal I [W/m<sup>2</sup>], cu ajutorul unui instrument "Solaris 2", valori sistematizate in tabelul 6.10.

- s-a calculat energia corespunzatoare prin:

$$E_H = \int_0^{\tau} I \cdot d\tau \quad (6.22)$$

- s-a calculat energia incidenta pe captatori tinandu-se seama de inaltimea Soarelui pe bolta, de unghiul orar si de unghiul de inclinatia al captatorilor fata de orizontala, captatorii fiind orientati spre sud, cu relatia:

$$E_{inc} = \int_0^{\tau} I_{(\tau)} \cdot S \cdot d\tau \quad (6.23)$$

unde  $I_{(\tau)}$  - evolutia intensitatii radiatiei solare in planul captatorului calculata conform [4]:

$$I_{\tau} = \frac{I_0}{\sin h} \cos H \cdot \cos(\alpha - h)$$

cu precizarile facute anterior.

S - suprafata captatorilor ( $S = 24 \text{ m}^2$ )

- s-a determinat temperatura medie a aerului suflat in B.S. prin schimbatorul de caldura

- s-a determinat variatia medie zilnica a temperaturii aerului din B.S.

- s-a calculat energia acumulata (+) respectiv extrasa pentru consum (-):

$$E = \rho \cdot c \cdot v \cdot \Delta t_{\text{bazin}}^{\circ} \quad (6.24)$$

Pe baza consideratiilor de mai sus vom prezenta citeva cicluri efectuate in regim de incarcare in tabelul 6.10.

In fig. 6.17 se prezinta variatia temperaturii in regim alternativ de incarcare termica si de asteptare a B.S.

In fig.6.18 se prezinta regimurile de incarcare 1, 2 respectiv 3 in perioadele studiate.

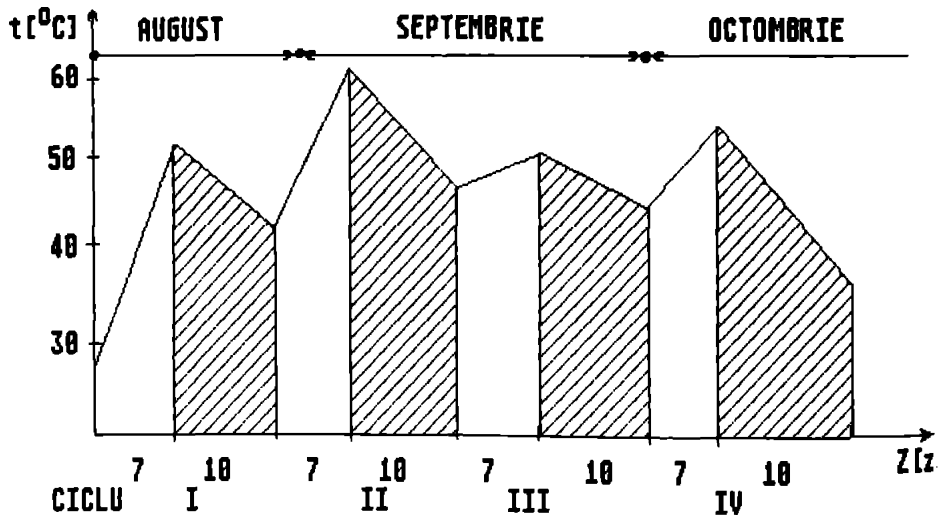


Fig.6.17

TABELUL 6.10

data	energia solara captata [kWh]	$t_{med}/zi$ aer B.S. [ $^{\circ}C$ ]	variatiia $t_{med}/zi$ in B.S. $^{\circ}C$	energia acumulata [kWh]	energia pierduta [kWh]	randamentul $\eta$
1	2	3	4	5	6	7
regim de incarcare 1						
12.08	39,550	24,30	6,30	30,332	9,228	0,76
13.08	37,238	30,02	5,72	27,513	9,725	0,74
14.08	37,605	35,78	5,76	27,706	9,899	0,74
15.08	37,598	41,17	5,39	25,926	11,672	0,69
16.08	36,309	46,18	5,01	24,098	12,211	0,66
17.08	36,188	51,50	4,82	23,184	13,004	0,64
18.08	36,187	56,02	4,80	22,845	13,342	0,63
regim de incarcare 2						
27.08	8,147	42,37	0,46	2,213	5,934	0,27
28.08	22,622	45,12	2,75	13,228	9,394	0,58
29.08	14,542	46,49	1,37	6,590	7,952	0,45
30.08	20,684	48,79	2,30	11,063	9,621	0,54
31.08	29,465	52,41	3,62	17,412	12,053	0,59
01.09	28,376	55,67	3,26	15,681	12,695	0,45
02.09	22,214	57,84	2,17	10,438	11,776	0,47
regim de incarcare 3						
24.09	19,120	40,77	2,30	11,063	8,057	0,58
25.09	22,636	43,53	2,76	13,276	9,360	0,59
26.09	22,368	46,15	2,62	12,602	9,766	0,56
27.09	23,718	48,89	2,74	13,179	10,539	0,55
28.09	20,043	50,95	2,06	9,909	10,134	0,50
29.09	22,756	53,57	2,43	11,688	11,068	0,51
30.09	26,675	56,39	3,01	14,478	12,197	0,54

Randamentul de acumulare calculat pentru cele 3 regimuri de incarcare este prezentat in fig.6.19.

In regimul de incarcare 1 se constata urmatoarele:

- energia solara captata a fost de ordinul a 40 kWh/zi
- energia solara acumulata a fost cuprinsa intre 22-30 kWh/zi, constatandu-se o diminuare a acesteia pe parcurgerea intervalului
- energia solara pierduta a fost cuprinsa intre 9-12 kWh/zi, constatandu-se o majorare a acesteia pe durata intervalului
- randamentul de acumulare a fost cuprins intre 0,63 - 0,74 cu o descrestere pe durata intervalului

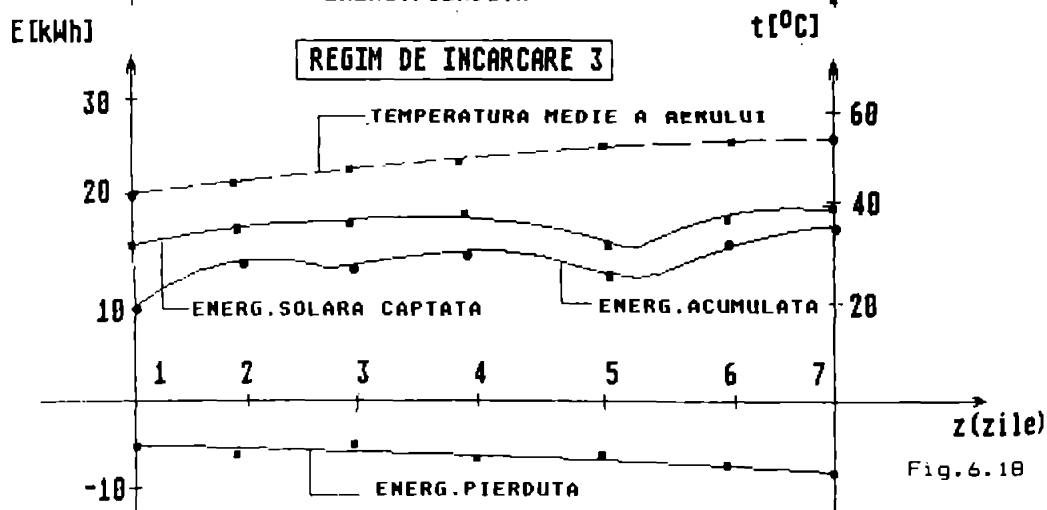
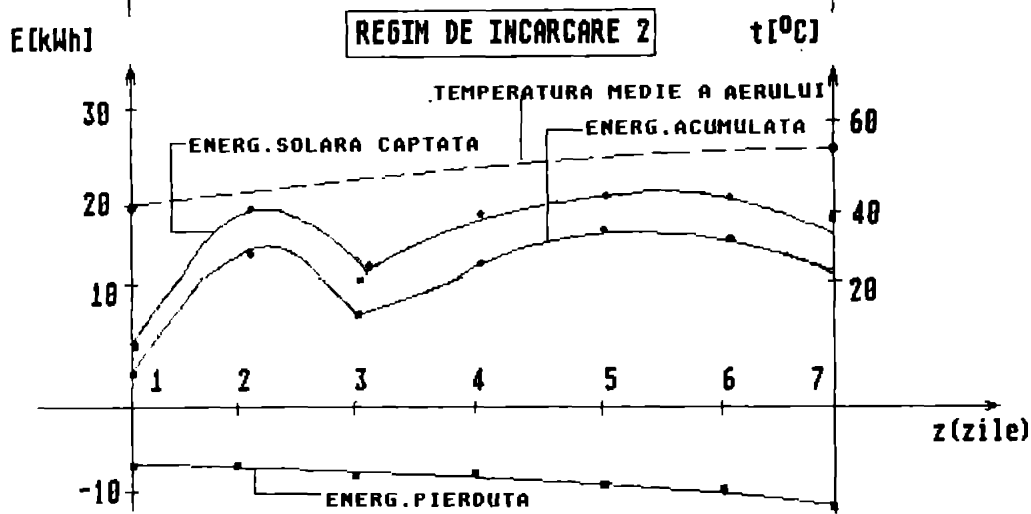
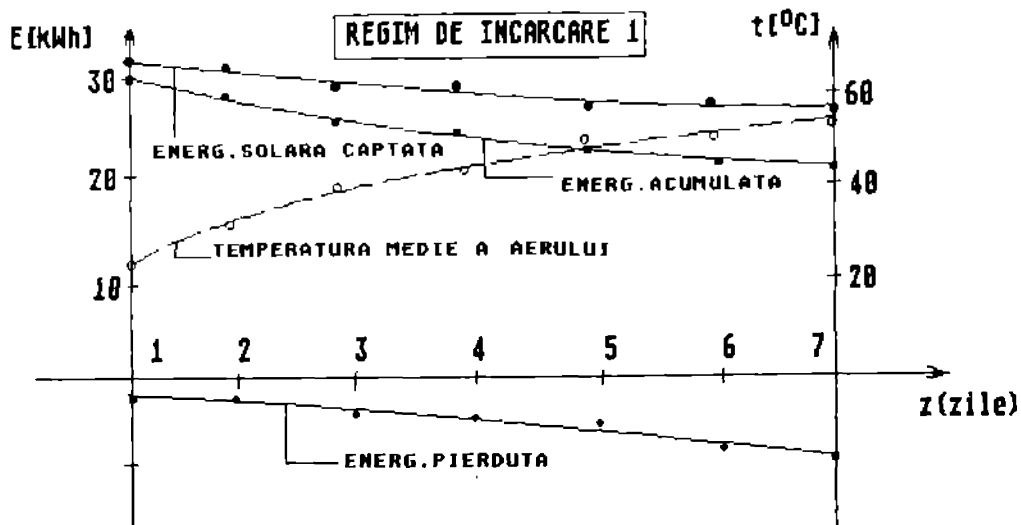


Fig. 6.18

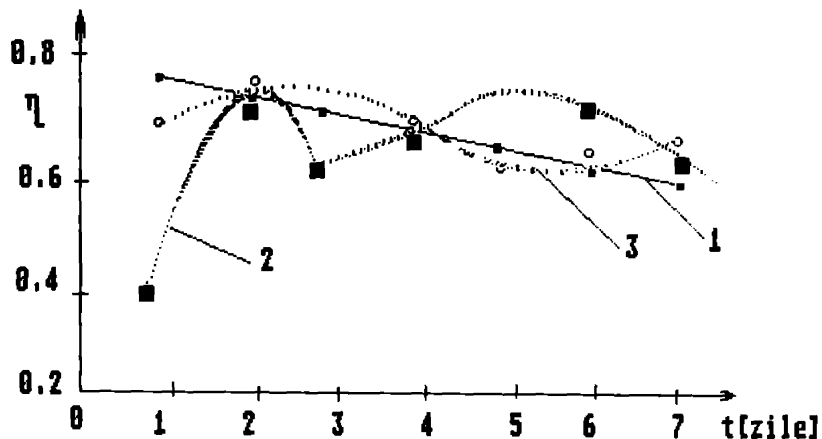


Fig.6.19

- temperatura medie zilnica a aerului din B.S. a inregistrat o crestere de la  $24^{\circ}\text{C}$  in prima zi la  $56^{\circ}\text{C}$  in ultima zi a intervalului ecartul fiind  $32^{\circ}\text{C}$ , iar variatia temperaturii medii in B.S. a inregistrat o usoara descrestere in decursul zilelor de la  $6,3^{\circ}\text{C}$  in prima zi pina la  $4,8^{\circ}\text{C}$  in ultima zi.

In regimul de incarcare 2 se constata urmatoarele:

- energia solara captata a fost cuprinsa intre 8 - 29 kWh/zi
- energia solara acumulata a fost cuprinsa intre 2-17 kWh/zi
- energia solara pierduta a fost cuprinsa intre 5-12 kWh/zi, constatindu-se majorarea acestora pe parcurs
- randamentul de acumulare a fost cuprins intre 0,27 - 0,59
- temperatura medie zilnica a aerului din B.S. a inregistrat o crestere de la  $42^{\circ}\text{C}$  in prima zi la  $57,8^{\circ}\text{C}$  in ultima zi, ecartul fiind  $16^{\circ}\text{C}$ , variatia temperaturii medii a aerului din B.S. inregistrind o usoara crestere de la  $0,5^{\circ}\text{C}$  la  $3,26^{\circ}\text{C}$  in penultima zi ca sa descreasca la  $2,17^{\circ}\text{C}$  in ultima zi.

In regimul de incarcare 3 se constata urmatoarele:

- energia solara captata a fost cuprinsa intre 19 - 26 kWh/zi
- energia solara acumulata a fost cuprinsa intre 9 - 14 kWh/zi
- energia solara pierduta a fost cuprinsa intre 8 - 12 kWh/zi
- randamentul de acumulare a fost cuprins intre 0,50 - 0,59

- temperatura medie zilnica a aerului din B.S. a inregistrat o crestere de la 40,7 °C la 56,4 °C, ecartul fiind 15 °C, variatia temperaturii medii a aerului din B.S. inregistrind o usoara crestere de la 2,3 °C la 3 °C.

**OBSERVATII FINALE:**

Randamentul variaza in limite largi si relativ aleatoriu (de exemplu in intervalul 2) depinzind esential de conditiile meteorologice.

6.5.3.4 Analiza comparativa a stocajului fara extragere de caldura in lunile august, septembrie si noiembrie

Pe baza masuratorilor efectuate in prealabil, fig.6.20 prezinta variatia energiei pierdute si a temperaturii medii in BS pentru regimurile de stocare 1,2 si 3, iar in tabelul 6.12 se prezinta valorile pentru energia pierduta si temperatura medie in BS

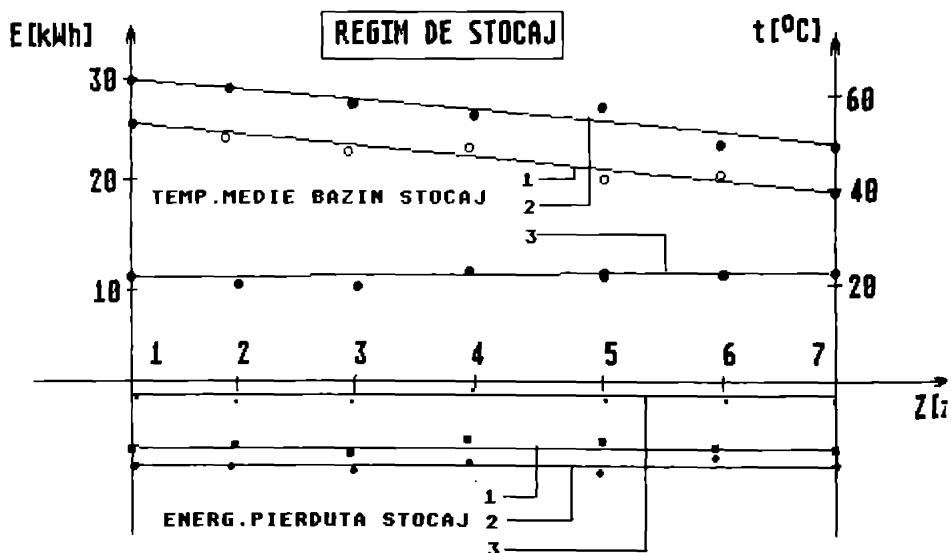


Fig.6.20

TABELUL 6.12

data	energia solara captata [kWh]	$t_{med}$ aer B.S. [°C]	variatiia $t_{med}$ aer B.S.	energia acumulata [kWh]	energia pierduta [kWh]	randamentul $\eta$
1	2	3	4	5	6	7
stocaj 1						
18.08		49,85	-1,15		5,53	
19.08		48,74	-1,10		5,33	
20.08		47,66	-1,08		5,20	
21.08		46,22	-1,04		5,00	
22.08		45,60	-1,02		4,90	
23.08		44,63	-0,97		4,67	
24.08		43,69	-0,94		4,52	
stocaj 2						
04.09		59,57	-1,57		7,55	
05.09		58,07	-1,50		7,21	
06.09		56,01	-1,45		6,97	
07.09		55,21	-1,41		6,48	
08.09		53,86	-1,35		6,50	
09.09		52,55	-1,31		6,30	
10.09		51,29	-1,26		6,06	
stocaj 3						
01.11		23,20	-0,20		0,962	
02.11		22,99	-0,21		1,010	
03.11		22,80	-0,19		0,914	
04.11		22,61	-0,19		0,914	
05.11		22,43	-0,18		0,866	
06.11		22,25	-0,18		0,866	
07.11		22,04	-0,15		0,866	

In regim de stocare fara extragere de caldura se constata urmatoarele:

REGIM 1:

- energia solara pierduta a fost cuprinsa intre 5,53 kWh/zi in prima zi si 4,52 kWh/zi in ultima zi inregistrindu-se o micșorare a acesteia in fiecare zi.

- temperatura medie zilnica a aerului din BS a inregistrat o descrestere de la 49,85 °C in prima zi la 43,69 °C in ultima zi, deci 6,16 °C pe tot parcursul intervalului.

- variatia temperaturii medii zilnice a aerului din B.S. a fost de cca  $1^{\circ}\text{C}$ , inregistrindu-se o descrestere de la  $-1,15$  la  $-0,94^{\circ}\text{C}$

#### REGIM 2:

- energia solara pierduta a fost cuprinsa intre  $7,55$  kWh/zi in prima zi si  $6,06$  kWh/zi in ultima zi;

- temperatura medie zilnica a aerului din BS, maxima in acest interval, a atins valoarea maxima de  $59,57^{\circ}\text{C}$  in prima zi a intervalului; s-a inregistrat o descrestere pe tot intervalul, pina la valoarea minima  $51,29^{\circ}\text{C}$  in ultima zi, ecartul fiind  $8,28^{\circ}\text{C}$ ;

- variatia temperaturii medii zilnice a aerului din BS a fost maxima in prima zi  $-1,57^{\circ}\text{C}$ , descrecind pina la  $1,26^{\circ}\text{C}$  in ultima zi.

#### REGIM 3

- energia solara pierduta zilnic a fost cuprinsa intre  $1,010$  kWh/zi si  $0,860$  kWh/zi;

- temperatura medie zilnica a aerului din BS a fost minima, fiind cuprinsa intre  $23,20^{\circ}\text{C}$  in prima zi si  $22,04^{\circ}\text{C}$  in ultima zi, cu ecartul minim de  $1,16^{\circ}\text{C}$ ;

- variatia temperaturii medii zilnice a aerului din BS a fost de cca.  $0,20^{\circ}\text{C}$ .

### 6.5.3.5 Studiul experimental al regimurilor de consum

Cercetarile experimentale efectuate au permis studiul experimental al regimurilor de consum. In tabelul 6.13 prezentam valorile obtinute iar in fig.6.21 prezentam dependenta temperaturii medii a aerului, a energiei extrase pentru consum si a energiei pierduta in regimurile de consum 1, 2 si 3.

In regim de consum se constata urmatoarele:

#### REGIM DE CONSUM 1

- energia extrasa pentru consum a fost cuprinsa intre  $2,20$  -  $5,84$  kWh/zi;

- energia pierduta a fost cuprinsa intre  $5,26$  kWh/zi in prima zi, cind a fost maxima in acest interval si  $3,60$  kWh/zi in ultima zi a intervalului;

- temperatura medie zilnica a aerului din B.S. a inregistrat o descrestere de la  $48,34^{\circ}\text{C}$  la  $38,48^{\circ}\text{C}$ , ecartul fiind  $9,86^{\circ}\text{C}$ .

- variatia temperaturii medii zilnice a aerului din B.S. este cuprinsa intre  $-1,29$  si  $-2,01^{\circ}\text{C}$ .



TABELUL 6.13

regimul de consum 1							
data	energia captata [kWh]	t med aer B.S. [°C]	variatiia t med aer B.S. [°C]	energia extrasa pt.consum (+) [kWh]	energia pierduta (-) [kWh]	η de acumulare	Obs.
1	2	3	4	5	6	7	
6.09		48,34	-1,55	2,20	5,26		
7.09		46,79	-1,55	2,62	4,83		
8.09		45,21	-1,54	3,24	4,46		
9.09		43,57	-1,64	3,42	4,27		
10.09		41,78	-1,79	4,45	4,16		
11.09		39,77	-2,01	5,84	3,83		
12.09		38,48	-1,29	2,60	3,60		
regimul de consum 2							
13.09		37,88	-1,68	5,41	3,406		
14.09		36,32	-1,58	4,26	3,25		
15.09		34,47	-1,85	5,96	2,94		
16.09		32,54	-1,93	6,67	2,61		
17.09		31,00	-1,54	6,26	2,65		
18.09		29,47	-1,53	7,28	2,55		
19.09		27,96	-1,51	8,00	2,45		
regim de consum 3							
25.09		43,59	-1,68	3,48	4,21		
26.09		42,01	-1,58	4,61	4,20		
27.09		39,70	-2,31	5,26	3,91		
28.09		38,26	-1,44	2,60	3,61		
29.09		37,06	-1,20	4,28	3,24		
30.09		36,11	-0,95	3,51	3,02		
01.10		35,21	-0,90	4,26	2,90		

## REGIM DE CONSUM 2

energia extrasa pentru consum a fost cuprinsa intre 5,41 - 8,00 kWh/zi, fiind maxima in ultima zi;

energia pierduta a fost cuprinsa intre 3,405 kWh/zi in prima zi cind a inregistrat valoarea maxima si 2,45 kWh/zi in ultima zi a intervalului;

temperatura medie zilnica a fost cuprinsa intre 37,88 + 27,96 scazind cu 9,92 °C;

variatiia temperaturii medii zilnice a aerului din B.S. a fost cuprinsa intre -1,93 °C si -1,51 °C.

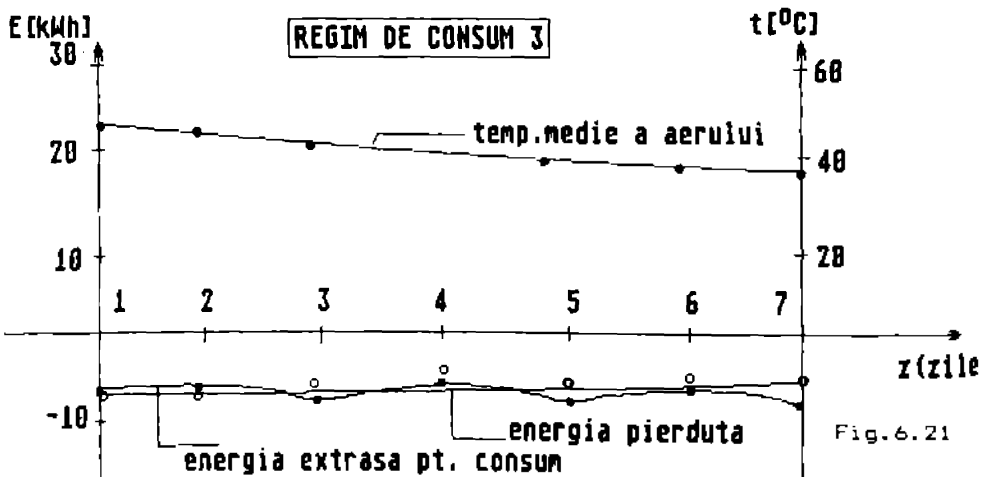
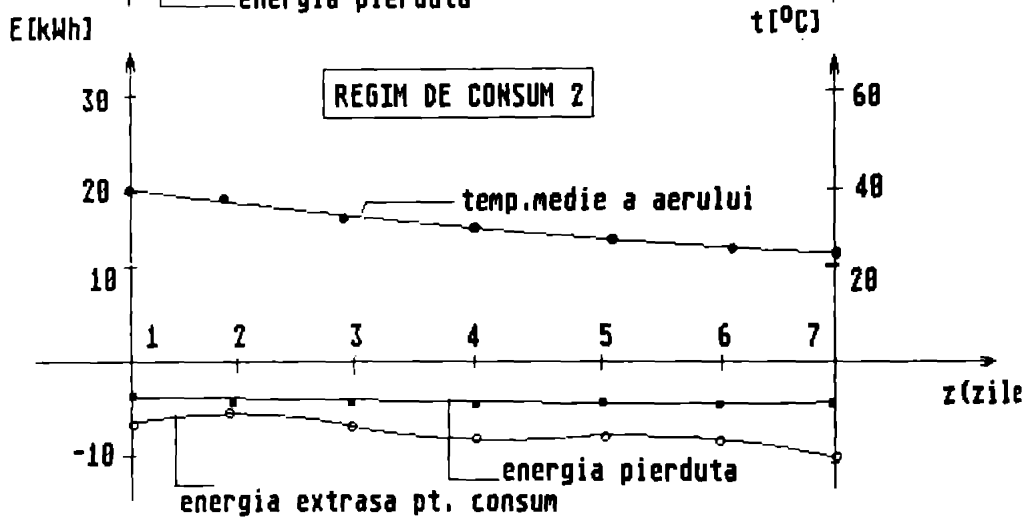
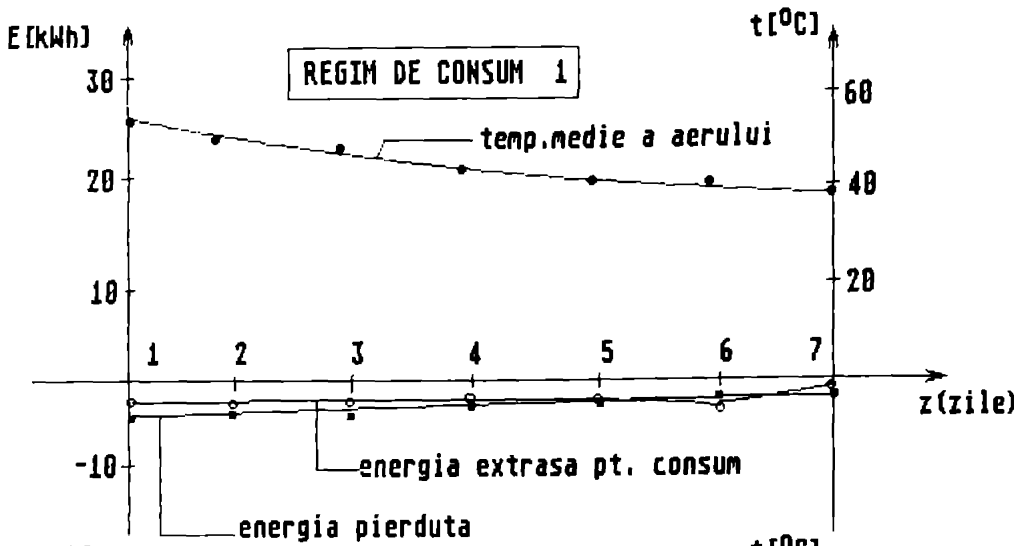


Fig. 6.21

### REGIM DE CONSUM 3

- energia extrasa pentru consum a fost cuprinsa intre 3,48 kWh/zi si 5,26 kWh/zi;
- energia pierduta a fost cuprinsa intre 5,26 kWh/zi si 2,60 kWh/zi;
- temperatura medie zilnica a fost cuprinsa intre 43,59 + 35,21 scazind cu 8,38 °C;
- variatia temperaturii medii zilnice a aerului din bazin a fost cuprinsa intre -2,31 °C si -0,90 °C.

### 6.6 EFICIENȚA CLIMATIZĂRII

Conform fig.6.14 in noptile de 11-12 septembrie s-a efectuat climatizarea spatiului delimitat de camera de disipare folosind caldura extrasa din BS. Aerul a curs dinspre BS spre camera cu debitul de 860 m<sup>3</sup>/h asigurat de suflanta, a ajuns la duza H cu temperatura t<sub>H</sub> si a cedat caldura camerei, racindu-se pina la t<sub>F</sub>. Caldura cedata de aer s-a calculat cu [36]:

$$Q_H = \dot{m}_{\text{aer}} \cdot c_{\text{aer}} (t_H - t_F) \quad (6.25)$$

Aceasta caldura provine din energia termica acumulata de piatra a carei temperatura a scazut in prima noapte cu 4 °C, iar in cea de-a doua cu 3 °C, BS pierzind caldura Q<sub>J</sub> = m<sub>p</sub>c<sub>p</sub>Δt<sub>p</sub>.

In tabelul 6.14 se prezinta valorile: t<sub>J</sub>, t<sub>H</sub>, t<sub>F</sub>, t<sub>I</sub>, t<sub>G</sub>, Q<sub>J</sub>, Q<sub>H</sub> si randamentul η<sub>HJ</sub> ce exprima procentul de energie termica ajunsa in camera din energia pierduta de BS.

Pe acelasi tabel se prezinta si caldura data de:

$$\sum K_i S_i \Delta t = 18,3(t_F - t_G) + 5,38(t_F - t_D) + 7,1(t_F - t_I) \quad (6.26)$$

care exprima caldura cedata de camera prin transmisie. Diferenta:

$$Q' = Q_H - \sum K_i S_i \Delta t \quad (6.27)$$

exprima caldura pierduta de camera datorita infiltratiilor de aer pe la rosturile usii si ferestrelor.

Pe parcursul celor doua nopti piatra a cedat 57,8+43,3=101,1 MJ din care 68 MJ s-au regasit la duza H, iar 33 MJ s-au pierdut prin conducte. Randamentul de extragere a caldurii este η<sub>HJ</sub> = 0,67.

Din caldura de 202,3 MJ se pot extrage 0,67·202,3 = 135,5 MJ Rata medie de livrare a caldurii este (40,8 + 27,2)/2 = 34 MJ pentru fiecare interval de 12 ore. Caldura de 135,5 MJ poate acoperi un numar de: 135,5/34 = 4 intervale a 12 ore.

TABELUL 6.14

	ora	$t_J$ °C	$t_H$ °C	$t_F$ °C	$t_I$ °C	$t_G$ °C	$Q_J$ MJ	$Q_H$ MJ	$\eta_{HJ}$	$\eta'_{HJ}$	$K_{iS_1}$ MJ	$Q'$ MJ
11.09	21	35	27	24	24	22						
	24	34	28	25	21	20						
12.11	3	33	28	25	21	17	57,8	40,8	0,71			
	6	32	27	24	18	14						
	9	31	27	24	19	17						
	12	30,5	-	22	22	22						
	15	30,5	-	23	23	24						
	18	30	-	25	24	24						
	21	30	27	24	24	23						
24	29	27	25	22	21				0,67	11,5	56,5	
13.11	3	29	28	26	23	18	43,3	27,2	0,63			
	6	28	29	27	23	19						
	9	27	28	26	23	20						
	12	27	-	27	23	23						
	15	27	-	27	23	23						
	18	27	-	26	24	23						
	21	26,5	-	25	23	22						

Valorile medii ale temperaturilor pe durata noptilor sînt:

$$t_J = 30,8 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_H = 27,6 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_F = 25 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_G = 19,1 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_I = 21,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura medie a pietrei este cu  $3^\circ\text{C}$  mai mare ca a aerului livrat; temperatura medie in camera este  $25^\circ\text{C}$ , cu  $2,7^\circ\text{C}$  mai mica ca cea de la duza H, temperatura medie in exterior este cu  $6^\circ\text{C}$  mai mica, ca cea din camera climatizata.

Valoarea mare a lui  $Q'$  indica existenta unor infiltratii intense de aer rece, cauzate de plasarea duzei H linga usa.

## 6.7 BILANTUL ENERGETIC AL CICLULUI INCARCARE-DESCARCARE

In tabelul 6.15 se prezinta situatia sintetica a energiei termice vehiculate pe durata celor doua zile de incarcare si a celor doua nopti de descarcare. Avem:

$Q_{iT}$  - energia totala incidenta pe captator

$Q_{ABT}$  - caldura furnizata in schimbator

$\eta_c$  - randamentul conversiei termosolare

$Q_{CDT}$  - caldura preluata de aer in schimbator

$\eta_{CD}$  - randamentul caldurii  $Q_{ABT}$ , preluata de aer

$Q_{JT}$  - caldura inmagazinata in piatra

$\eta_J$  - randamentul caldurii  $Q_{CDT}$ , preluata de piatra  
 $Q_{HT}$  - caldura ce poate fi furnizata statiei de disipare  
 $\eta_H$  - randamentul caldurii  $Q_{JT}$ , utilizabila  
 $\eta_{inst}$  - randamentul instalatiei

TABELUL 6.15

$Q_{iT}$ [MJ]	$Q_{ABT}$ [MJ]	$\eta_c$	$Q_{CDT}$ [MJ]	$\eta_{CD}$	$Q_{JT}$ [MJ]	$\eta_J$	$Q_{HT}$ [MJ]	$\eta_H$
971,8	291,4	0,35	268,6	0,92	202,3	0,75	135,5	0,67

Randamentul instalatiei este  $\eta_{tot} = Q_{HT}/Q_{iT} = 0,14$  sau

$$\eta_{tot} = \eta_c \cdot \eta_{CD} \cdot \eta_J \cdot \eta_H = 0,16$$

- Randamentul pina la intrarea in BS este:  $0,35 \cdot 0,92 = 0,32$
- randamentul de stocare - restituire a caldurii de catre piatra spre camera de disipare este:  $0,75 \cdot 0,67 = 0,5$ .

## CAPITOLUL 7. CONVERSIA FOTOVOLTAICA A ENERGIEI SOLARE SI PERSPECTIVELE APLICARII IN PRACTICA

### 7.1 ASPECTE TEORETICE

Fenomenul fizic prin care energia radiatiei solare (a fotonilor) este transformata direct in energie electrica se numeste conversie fotovoltaica.

Prezentam in continuare citeva aspecte teoretice necesare in studiul fenomenului de conversie fotovoltaica.

Conversia energiei radiatiei solare, luminoase, in energie electrica este realizata in celule solare, generatoare sau convertizoare fotovoltaice.

Un convertizor ideal foton-electron este conceput simplu in felul urmator [18]:

- un foton trebuie sa fie absorbit de catre materialul ce constituie dispozitivul. Energia sa este transferata materialului prin mecanismul de absorbtie optica.

- aceasta energie trebuie convertita in energie electrica (nu in caldura). Deci, energia fotonului trebuie transferata unui electron sub forma de energie potentiala, aceasta reprezentind fenomenul de conversie cuantica din moment ce, in general, nivelele de energie electronice intr-un solid sint cuantificate.

- in fine,este necesar ca electronii excitati prin interactia cu fotonii sa nu revina pe nivelul energetic initial printr-un mecanism de relaxare. Trebuie sa fie colectati pe directia electrozilor de iesire a celulei fotovoltaice inainte de realizarea recombinarii, fiind necesara o structura colectoare eficace.

Fie  $N(\lambda)$  fluxul de fotoni monocromatici receptionati de celula fotovoltaica. Daca  $R(\lambda)$  este coeficientul de reflexie va fi explatat efectiv doar fluxul  $N(\lambda) [1-R(\lambda)]$ . Daca  $J_f(\lambda)$  este densitatea de curent furnizat, raspunsul spectral este definit prin [3]:

$$R_s = \frac{J_f(\lambda)}{q \cdot N(\lambda) [1-R(\lambda)]} \quad (7.1)$$

Daca  $N(\lambda)$  este fluxul fotonilor atribuit unui spectru solar dat, ecuatia (1) permite calculul (cunoscind  $R_s$ ) contributiei curentului debitat de o celula fotovoltaica, curentul total reprezentind suma acestor contributii:

$$J_{sc} = q \cdot \int_0^{\infty} N(\lambda) \cdot [1 - R_s(\lambda)] \cdot R_s \cdot d\lambda \quad (7.2)$$

Fiind  $G_n$  si  $G_p$  procesele de generare, iar  $U_n$  si  $U_p$  cele de recombinare,  $I_n$  si  $I_p$  densitatile de curent pentru electroni, respectiv goluri, putem scrie:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_n - U_n + \frac{1}{q} \operatorname{div} J_n \quad (7.3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G_p - U_p + \frac{1}{q} \operatorname{div} J_p \quad (7.3a)$$

Cu ecuatiile relative ale densitatilor de curent se obtine:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_n - \frac{n_p - n_{p_0}}{\tau_n} + n_p \cdot \mu_n \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \mu_n \cdot \epsilon \frac{\partial n}{\partial x} + D_n \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \quad (7.4)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G_p - \frac{p_n - p_{n_0}}{\tau_p} + p_n \cdot \mu_p \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \mu_p \cdot \epsilon \frac{\partial p}{\partial x} + D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (7.4a)$$

Expresia  $n_{p_0}$  reprezinta concentratia electronilor minoritari intr-un material de tip "p" la echilibru.

O structura fotovoltaica are scopul de a crea un cimp electric intern cu rolul de a separa electronul si golul generati prin efect fotoelectric. Bineinteles putem aplica o tensiune electrica externa dar in acest caz nu vom dispune de un generator autonom. Contrar, un cimp electric intern poate fi mentinut prin crearea unei bariere de potential in material, modificind pozitia nivelului Fermi in raport cu extremele benzii, ce se realizeaza prin:

- varierea doparii, ceea ce conduce la jonctiunea p-n
- varierea compozitiei materialului (benzi interzise variabile)
- varierea ambelor (heterojonctiuni)

## 7.2 MODELUL FIZIC AL JONCTIUNII p-n

Efectul fotovoltaic in semiconductori presupune existenta unei bariere de potential, a unui cimp electric capabil sa separe cele doua tipuri de purtatori de neechilibru, electroni si goluri fotogenerati prin actiunea fotonilor. Pentru aparitia efectului fotovoltaic se impune ca energia fotonilor incidenti  $h\nu$  sa fie mai mare sau egala cu largimea benzii interzise a semiconductorului.

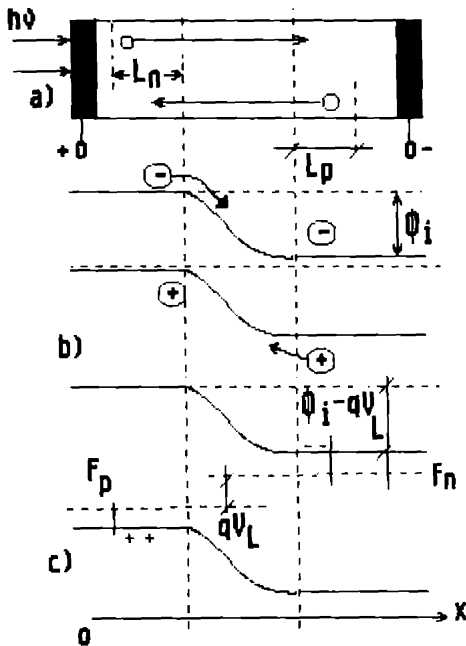


Fig.7.1  
Jonctiunea p-n  
iluminata

Purtatorii minoritari de neechilibru fotogenerati in vecinatatea jonctiunii p-n vor fi preluati de cimpul din regiunea de sarcina spatiala a jonctiunii si transferati in regiunile in care ei sint majoritari. Purtatorii de sarcina fotogenerati in regiunile neutre la o distanta mai mica sau egala cu lungimile de difuzie  $L_n$  respectiv  $L_p$  vor difuza spre jonctiune p-n. Prezenta purtatorilor de sarcina fotogenerati duce la micșorarea barierei interne de potential, ceea ce faciliteaza transferul purtatorilor minoritari dintr-o parte in alta a jonctiunii p-n astfel ca regiunea p se incarca pozitiv, iar regiunea n se incarca negativ (fig.7.1).



Curentul de scurtcircuit prin regiunea p-n este:

$$J_{sc} = q \cdot g \cdot A_f (L_n + L_p) \quad (7.5)$$

unde:  $A_f$  - aria efectiva a jonctiunii p-n,

$L_n, L_p$  - lungimile de difuzie ale purtatorilor minoritari

$g$  - rata de fotogenerare a purtatorilor minoritari

Acest curent va fi de sens opus curentului direct (de injectie) prin jonctiunea p-n, deci, cu acelasi sens cu curentul invers.

Tensiunea datorata fotogenerarii purtatorilor in cazul conectarii la bornele jonctiunii p-n a unei rezistente de sarcina finite ajunge la o valoare  $V$  (figura 7.1c), iar fotocurentul prin aceasta rezistenta de sarcina va fi mai mic decit curentul de scurtcircuit datorita curentului de injectie generat de trecerea purtatorilor de sarcina in sens invers.

Curentul prin jonctiunea p-n iluminata pentru orice valoare  $V$  a fototensiunii este:

$$I = J_{sc} - I_s \left[ e^{(qV)/(kT)} - 1 \right] \quad (7.6)$$

In conditii de circuit deschis ( $J_{sc} = 0$ , adica rezistenta de sarcina externa infinita) relatia devine:

$$V = V_{oc} = -\frac{kT}{q} \ln \left[ -\frac{J_{sc}}{I_s} + 1 \right] \quad (7.7)$$

### 7.2.1 SCHEMA ECHIVALENTA A UNEI CELULE SOLARE

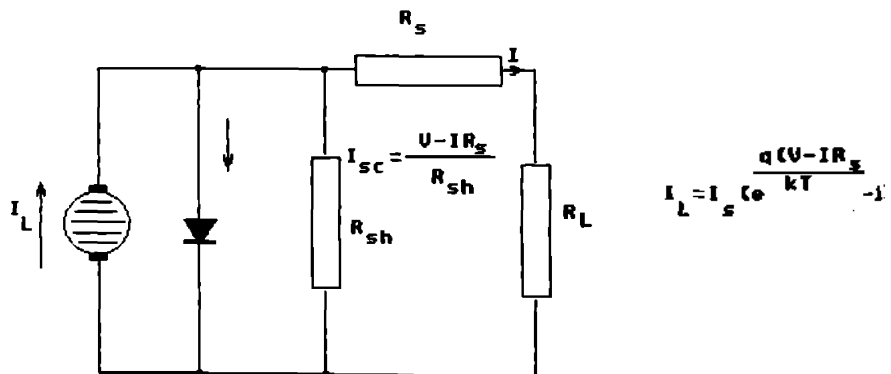


Fig.7.2 Schema echivalenta a unei celule solare

unde:  $R_s, R_{sh}, R_L$  - rezistențe serie, shunt și de sarcină  
 $I_L$  - generator de curent care reprezintă curentul datorat purtătorilor fotogenerați

Din circuitul prezentat în fig.7.2 aplicând legea lui Kirchhoff se obține caracteristica curent-tensiune a celulei solare:

$$I = I_s \left[ \exp - \frac{q(V - IR_s)}{kT} - 1 \right] + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} - I_L \quad (7.8)$$

Curentul de scurtcircuit al celulei solare:

$$J_{sc} = \left[ \frac{I_L}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}} \right]_{R_{sh} \rightarrow \infty, V=0} = I_L \quad (7.9)$$

Explicitând relația (7.9) se obține:

$$\ln \frac{I + I_L}{I} - \frac{V - IR_s}{I_s R_{sh}} + 1 = -\frac{q}{kT} (V - IR_s) \quad (7.10)$$

cu  $R_{sh} \rightarrow \infty$  obținem

$$\ln \frac{I + I_L}{I} + 1 = -\frac{q}{kT} (V - IR_s) \quad (7.11)$$

ceea ce reprezintă caracteristica  $I = f(V)$  a celulei solare.

### 7.2.2 JONCTIUNEA p-n LA ECHILIBRU

Dacă între doi semiconductori cu tipuri diferite de conducție se realizează un contact ideal, atunci datorită gradientului de concentrație a purtătorilor de sarcină majoritari, va avea loc difuzia lor prin planul metalurgic al jonctiunii spre regiunile cu purtătorii de sarcină liberi de semne opuse. Astfel datorită difuziei neutralitatea electrică din vecinătatea planului metalurgic al jonctiunii este perturbată. În regiunea p rămân acceptori ionizați, iar în regiunea n vor rămâne donori ionizați. De ambele părți ale planului metalurgic vor apărea sarcini spațiale necompensate care vor da naștere unui câmp electric de difuzie care va împiedica continuarea procesului de difuzie a purtătorilor de sarcină majoritari, determinând stabilirea unei stări de echilibru dinamic. Deci jonctiunea p-n reprezintă stratul de tranziție dintre două regiuni ale semiconductorului cu conductivități de tipuri diferite în care există un câmp electric de difuzie.

a) constituire:

Consideram cazul cel mai simplu, cazul jonctiunii abrupte in care doparile se fac uniform pe ambele parti ale interfetei metalurgice. (fig.7.3a). Din fig.7.3c constatam existenta a trei zone. Mai intii zona p, fara perturbari, zona ce se gaseste inca la echilibru termodinamic. Apoi zona n, la extremitatea opusa, care este la fel, in echilibru. Intre cele doua, se gaseste zona unde exista cimp electric. Datorita acestuia, purtatorii majoritari, mobili, sint evacuati, raminind fixe doar sarcinile asociate atomilor de impuritati. Numim aceasta regiune zona de sarcina spatiala sau de depletie. Aceasta regiune este singurul loc unde nu exista neutralitate electrica in toate punctele (fig.7.3a).

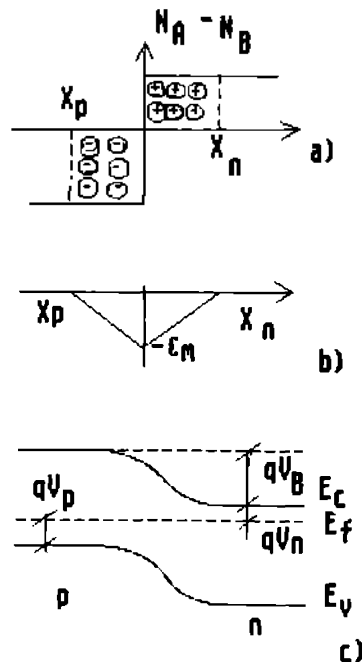


Fig.7.3

Jonctiunea abrupta in care doparile se fac uniform pe ambele parti ale interfetei metalurgice

b) tensiunea de difuzie:

Din fig.7.3c, adincimea gropii de potential este:

$$\begin{aligned}
 qV_B &= E_g - q(V_n + V_p) \\
 qV_B &= kT \log \frac{N_C N_V}{n_i} - kT \left[ \log \frac{N_C}{n_o} + \log \frac{N_V}{p_p} \right] = \\
 &= kT \log \frac{n_o p_p}{n_i} \simeq kT \log \frac{N_A \cdot N_D}{n_i} \quad (7.12)
 \end{aligned}$$

c) zona de sarcina spatiala:

In aceasta zona nu exista neutralitate electrica in toate punctele pentru ca exista un cimp electric, dar exista o neutralitate globala (fig.7.3).

$$N_D x_n = N_A x_p$$

Ecuatia Poisson se va scrie [3]:

$$-\frac{d^2 V}{dx^2} = \frac{d\epsilon}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon_m} = \begin{cases} -\frac{qN_D}{\epsilon_m} & (0 < x < x_n) \\ \frac{qN_A}{\epsilon_m} & (-x_p < x < 0) \end{cases}$$

de unde:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= qN_D (x - x_n) / \epsilon_m & (0 < x < x_n) \\
 \epsilon &= qN_A (x + x_p) / \epsilon_m & (-x_p < x < 0)
 \end{aligned}$$

$$\text{si } V_B = \frac{1}{2} \epsilon_{\max} (x_n + x_p) = \frac{1}{2} \epsilon_{\max} \cdot W$$

Cimpul maxim in  $x = 0$  este dat prin:

$$|\epsilon_{\max}| = q \cdot N_D \cdot x_n / \epsilon_m = q \cdot N_A \cdot x_p / \epsilon_m$$

Largimea totala a zonei de sarcina spatiala  $W$  este data de relatia

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_m}{q} \left( \frac{N_A + N_D}{N_A \cdot N_D} \right) \cdot V_B} \quad (7.13)$$

### 7.2.3 CARACTERISTICA CURENT-TENSIUNE IN STARE DE INTUNERIC

#### - Curentul de difuzie

Consideram jonctiunea p-n polarizata, mai bine spus conectata la o sursa de tensiune exterioara. Rolul acestei polarizari este de a impune o diferenta intre nivelele Fermi.

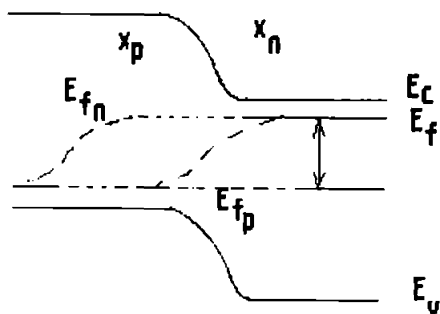


Fig.7.4 reprezinta cazul unei polarizari directe, cu bariera de potential coboritoare.

Fie  $V$  tensiunea aplicata. Diferenta de cuazi-nivele Fermi este egala la  $qV$ :

$$E_{F_n} - E_{F_p} = qV$$

$$p \cdot n = n_i^2 \cdot \exp \frac{-qV}{kT} \quad (7.14a)$$

In cazul particular cu  $x = -x_p$

$$n_p = \frac{n_i^2}{p_p} \cdot \exp \frac{-qV}{kT} = n_{p_0} \cdot \exp \frac{-qV}{kT} \quad (7.14b)$$

Iar la  $x = x_n$

$$p_n = p_{n_0} \cdot \exp \frac{-qV}{kT}$$

In zona n nu exista cimp electric, ecuatia de continuitate va fi

$$\frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n - p_{n_0}}{D_p \tau_p} = 0$$

Cele doua conditii la limita sint date una prin relatia (10b), iar alta prin  $p_n(x + \infty) = p_{n_0}$

$$p_n - p_{n_0} \approx p_{n_0} \cdot \exp\left(-\frac{x - x_0}{L_p}\right) \cdot \left(\exp\frac{qV}{kT} - 1\right)$$

de unde curentul de goluri (minoritari in aceasta regiune) este:

$$J_p = qD \frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x_n} = -\frac{q \cdot D_p \cdot p_{n_0}}{L_p} \left(\exp\frac{qV}{kT} - 1\right)$$

La fel curentul de electroni in zona p:

$$J_n = \frac{q \cdot D_n \cdot n_{p_0}}{L_n} \cdot \left(\exp\frac{qV}{kT} - 1\right)$$

Curentul care circula in jonctiune, egal cu  $J_n + J_p$ , va fi:

$$J_d = J_0 \left(\exp\frac{qV}{kT} - 1\right)$$

$$\text{cu } J_0 = \frac{q \cdot D_p \cdot p_{n_0}}{L_p} + \frac{q \cdot D_n \cdot n_{p_0}}{L_n} \quad (7.15)$$

In cazul unei jonctiuni asimetrice  $n^+p$  sau  $p^+n$ :

$$J_0 = q \frac{D}{L} \frac{n_i^2}{N} = q \sqrt{\frac{D}{\tau}} \cdot \frac{n_i^2}{N} \quad (7.16)$$

N fiind doparea regiunii nedegenerate.

Expresia  $D/\tau$  variaza in general putin in functie de temperatura. Variatia este de forma:  $T \cdot \gamma$  cu  $\gamma$  aproape de 1. Deci:

$$J_0 \sim T^{3+\gamma/2} \exp -E_g/kT$$

Aceasta relatie permite sa se traga doua concluzii generale:

- influenta temperaturii asupra curentului in stare de intuneric este importanta si depinde de  $E_g$
- daca latimea benzii interzise este mare curentul in starea de intuneric este slab.

- Curentul de generare-recombinare

Existența mecanismelor de generare-recombinare prin capcanele din zona de sarcină spațială provoacă un curent suplimentar ce poate fi superior curentului normal de difuzie. În această zonă contribuția netă de generare-recombinare  $U$  devine utilizând relația (10.a) în cazul tipic unde  $E_T \sim E_i$ ,  $\sigma_p = \sigma_n = \sigma$

$$U = \frac{\sigma \cdot v_{th} \cdot N_R \cdot n_i^2 \cdot \exp(qV/kT) - 1}{n + p + 2n_i}$$

$U$  maxim avem în cazul în care numitorul este minim. Acesta se poate scrie:

$$n_i \left[ 2 + \exp \frac{q}{kT} (E_{F_n} - E_{F_i}) + \exp \frac{q}{kT} (E_{F_i} - E_{F_p}) \right]$$

Valoarea maximă a acestuia se obține în punctul în care

$$E_{F_i} = \left[ E_{F_n} + E_{F_p} \right] / 2 \quad \text{și devine:}$$

$$2n_i \left[ \exp \frac{qV}{2kT} - 1 \right]$$

iar pentru  $V > kT/q$  obținem, identificând  $U$  maxim

$$U = \frac{1}{2} \sigma \cdot v_{th} \cdot N_R \cdot n_i \cdot \exp \left[ \frac{-qV}{2kT} \right]$$

Curentul de recombinare-generare  $J_{rg}$  este dat de

$$J_{rg} = q \int_0^w U dx = \frac{1}{2} q \cdot w \cdot \sigma \cdot v_{th} \cdot N_R \cdot n_i \cdot \exp \frac{qV}{2kT} \quad (7.17)$$

Prin combinarea expresiilor (7.16) și (7.17) obținem caracteristica  $I = f(V)$  a unei joncțiuni p-n în starea de întuneric:

$$J_{rg} = q \sqrt{\frac{D}{\tau}} \cdot \frac{n_i^2}{N} \cdot \exp \frac{qV}{kT} + \frac{1}{2} \cdot q \cdot w \cdot \sigma \cdot v_{th} \cdot N_R \cdot n_i \cdot \exp \frac{qV}{2kT} \quad (7.18)$$

$$J \approx J_0 \exp \frac{qV}{AkT} \quad (1 < A < 2, \quad V > kT/q)$$

- Cazul celulei fotovoltaice

Am presupus materialele n si p semiinfinite de o parte si cealalta a jonctiunii. In aceste conditii nici un foton nu poate patrunde aici. Zona frontala trebuie sa fie la fel de subtire. (fig.7.5).Datorita costului,grosimea H totala trebuie limitata [3].

In aceste conditii relatia (11) devine:

$$J_0 = q \frac{D_n n_i^2}{L_n N_D} \frac{(S_p L_p / D_p) \cdot \text{ch}(x_j / L_p) + \text{sh}(x_j / L_p)}{(S_p L_p / D_p) \cdot \text{sh}(x_j / L_p) + \text{ch}(x_j / L_p)} + q \frac{D_n}{L_n} \frac{n_i^2}{N_A} \frac{(S_n L_n / D_n) \cdot \text{ch}(H' / L_n) + \text{sh}(H' / L_n)}{(S_n L_n / D_n) \cdot \text{sh}(H' / L_n) + \text{ch}(H' / L_n)} \quad (7.19)$$

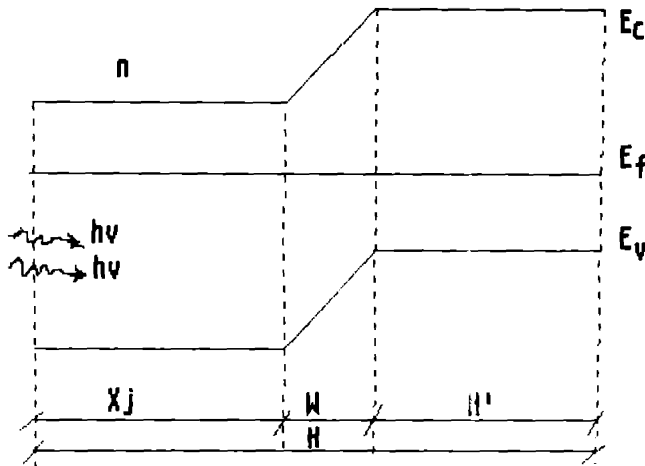


Fig.7.5 Celula fotovoltaica si parametrii ei geometrici

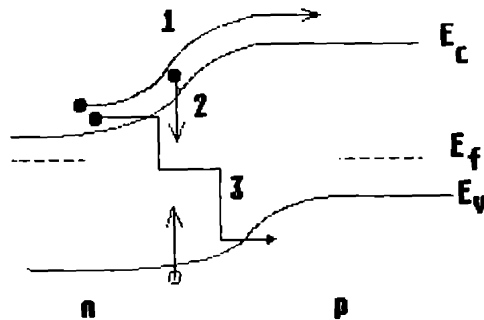


Fig.7.6

Mecanismele de curent

a unei jonctiunii p-n polarizata in sens direct in stare de intuneric

1 - curent de difuzie

2 - curent recombinare

3 - curent tunel



Cit despre curentul  $I_{rg}$  un calcul detaliat duce la expresia apropiata de (13)

$$J_{rg} = \frac{q \cdot n_i \cdot W}{\tau_p \cdot \tau_n} = \frac{\pi \cdot sh(gV/2kT)}{q(V_b - V)/kT} \quad (7.20)$$

In fine, in intreaga jonctiune poate exista un al treilea tip de curent de intineric corespunzind trecerii prin efect tunel a electronilor si golurilor de pe o banda pe cealalta.

#### 7.2.4 JONCTIUNE p-n DOPATA UNIFORM

In acest caz  $N_D$  si  $N_A$ , mobilitatile si timpul de viata al purtatorilor minoritari sint considerate constante. Deci cimp electric va exista doar in regiunea de sarcina spatiala [18].

Curentul de scurtcircuit pentru o jonctiune n-p dopata uniform avind in vedere si recombinarea la suprafata a purtatorilor minoritari este dat in relatia de mai jos (7.21):

$$J_{sc} = q \cdot \eta \cdot \phi_0 (1 - R) \cdot A_f \left\{ \frac{\alpha \cdot L}{\alpha^2 L_p^2 - 1} [L_1 - \alpha \cdot \exp(-\alpha \cdot x_j)] + \frac{\alpha L_n}{\alpha^2 L_n^2 - 1} \exp[-\alpha(x_j + W_{sp})] (\alpha L_n - L_2) + \exp(-\alpha x_j) [1 - \exp(-\alpha W_{sp})] \right\}$$

unde:

$$L_1 = \frac{\left( \frac{S_p L_p}{D_p} + \alpha \cdot L_p \right) - \exp(-\alpha \cdot x_j) \left( \frac{S_p L_p}{D_p} \operatorname{ch} \frac{x_j}{L_p} + \operatorname{sh} \frac{x_j}{L_p} \right)}{\frac{S_p L_p}{D_p} \operatorname{sh} \frac{x_j}{L_p} + \operatorname{ch} \frac{x_j}{L_p}}$$

$$L_2 = \frac{\frac{S_n L_n}{D_n} \left[ \operatorname{ch} \frac{W_p}{L_n} - \exp(-\alpha W_p) \right] + \operatorname{sh} \frac{W_p}{L_n} + \alpha L_n \exp(-\alpha W_p)}{\frac{S_n L_n}{D_n} \operatorname{sh} \frac{W_p}{L_n} + \operatorname{ch} \frac{W_p}{L_n}}$$

$S_n, S_p$  - vitezele de recombinare la suprafata ale purtatorilor minoritari electroni, respectiv golurile

$$W = x_j + W_{sp} + W_p$$

$W_p$  - largimea regiunii neutre p

$W$  - largimea regiunii de sarcina spatiala

Pentru obtinerea unui curent de scurtcircuit cit mai mare din relatia anterioara se observa ca sint necesare:

- reducerea reflexiei radiatiei la suprafata semiconductorului
- adincime mica a jonctiunii ( $x_j \rightarrow \text{mic}$ ,  $\alpha x_j \ll 1$ )
- largime mare a regiunii de sarcina spatiala ( $W_{sp}$  mare)
- recombinarea la suprafata a purtatorilor minoritari sa fie cit mai mica ( $S_n, S_p \rightarrow \text{minimum}$ )

### 7.2.5 JONCTIUNE p-n DOPATA NEUNIFORM

Un cimp electric intern sau un gradient al impuritatilor creat in regiunile neutre ca si modalitate de diminuare a recombinarii purtatorilor minoritari va determina deplasarea mai rapida a purtatorilor minoritari spre jonctiune datorita vitezei drift [7].

Valoarea cimpului este:

$$E = \frac{1}{q} \frac{dE_c}{dx} = \frac{1}{q} \frac{dE_v}{dx} = \frac{kT}{q} \frac{dN(x)}{dx} = \frac{D}{\mu N(x)} \frac{dN(x)}{dx} \quad (7.22)$$

unde:  $N(x)$  - concentratia impuritatilor ionizate.

Curentul de scurtcircuit intr-o jonctiune p-n (cu timpul de viata si mobilitatile purtatorilor minoritari constante) este:

$$J_{sc} = qn\phi_0(1-R)A_f \left\{ \frac{\alpha L_{pp}}{(\alpha + E_{pp})^2 L_{pp}^2 - 1} \left[ L_1' - \frac{\alpha + E_{pp}}{L_{pp}} \exp(-\alpha x_j) \right] + \frac{\alpha L_{nn} \exp(-\alpha W_{sp}) \exp(-E_{nn} x_j)}{(\alpha - E_{nn})^2 L_{nn}^2 - 1} \left[ \left( -\frac{\alpha - E_{nn}}{L_{nn}} - 1 \right) \exp\left[-(\alpha - E_{nn}) x_j\right] + \exp\left[-(\alpha - E_{nn})(W - W_{sp})\right] L_2' + \exp(-\alpha x_j) \left[ 1 - \exp(-\alpha W_{sp}) \right] \right] \right\} \quad (7.23)$$

unde:

$$L_1' = \frac{(\alpha + E_{pp}) L_{pp} \exp(E_{pp} x_j) - \exp(x_j/L_{pp}) \exp(-\alpha x_j)}{\left[ -\frac{S_p L_{pp}}{D_p} + E_{pp} L_{pp} \right] \text{sh} \frac{x_j}{L_{pp}} + \text{ch} \frac{x_j}{L_{pp}}} + \frac{\left[ -\frac{S_p L_{pp}}{D_p} + E_{pp} L_{pp} \right] \left[ \exp(E_{pp} x_j) - \exp(x_j/L_{pp}) \exp(-\alpha x_j) \right]}{\left[ -\frac{S_p L_{pp}}{D_p} + E_{pp} L_{pp} \right] \text{sh} \frac{x_j}{L_{pp}} + \text{ch} \frac{x_j}{L_{pp}}}$$

$$L_2 = \frac{\exp(-W_p/L_{nn}) \exp[(\alpha - E_{nn})W_p] - (\alpha - E_{nn})L_{nn}}{(E_{nn} + S_n/D_n)L_{nn} \operatorname{sh} W_p/L_{nn} + \operatorname{ch} W_p/L_{nn}} -$$

$$- \frac{(E_{nn} + S_n/D_n)L_{nn} [\exp(-W_p/L_{nn}) \exp(\alpha - E_{nn})W_p - 1]}{(E_{nn} + S_{nn}/D_n)L_{nn} \operatorname{sh} W_p/L_{nn} + \operatorname{ch} W_p/L_{nn}}$$

$E_{pp} = q E_1 / 2kT$  - cimpul normalat in regiunea frontala n

$E_{nn} = q E_2 / 2kT$  - cimpul normalat in regiunea bazei p

$L_{pp} = \left[ \sqrt{E_{pp}^2 + (1/L_p)^2} \right]^{-1}$  - lungimea de difuzie efectiva a golurilor

$L_{nn} = \left[ \sqrt{E_{nn}^2 + (1/L_n)^2} \right]^{-1}$  - lungimea de difuzie efectiva a electronilor

$$W = x_j + W_{sp} + W_p$$

Relatia anterioara indica dependenta curentului de scurtcircuit de cimpul electric produs de gradientul de impuritati din cele doua regiuni n si p ale jonctiunii p-n.

### 7.3 CARACTERISTICA DE PUTERE A UNEI CELULE FOTOVOLTAICE

Consideram "curba de putere"  $I = f(V)$  a unei celule functionind ca generator la un iluminat fix  $\phi$  in conditii de temperatura constanta T, data in fig.7.7.a.

Urmarim valoarea rezistentei R pe care disipeaza celula (fig.7.7.b).Punctul de functionare definit prin intersectia dreptei de panta 1/R si curba de putere a acestei celule, se poate gasi intr-una din cele trei zone MN, NP, PS [3].

In zona MN, corespunzind valorilor mici ale rezistentei R, celula se comporta la iluminare constanta ca un generator de curent practic constant, de valoare apropiata curentului de scurtcircuit al celulei. In zona PS, corespunzatoare valorilor ridicate pentru R, celula se comporta ca un generator de tensiune practic constanta apropiata tensiunii de mers in gol a celulei. Este evi-

dent ca maximul de putere electrica va fi furnizat in sarcina avind valoarea optima,  $R_{opt}$  corespunzatoare dreptei OA. Acest punct A se gaseste in zona NP unde curba  $I = f(V)$  a celulei iluminate este tangenta unei curbe de putere  $P_e$  echivalente. In punctul A regasim o regula generala caracteristica a unui transfer de putere optim intre generator si sarcina: panta curbei  $I = f(V)$  a celulei (generator) este egala cu panta dreptei OA (sarcina):  $|dI/dV| = |1/R|$

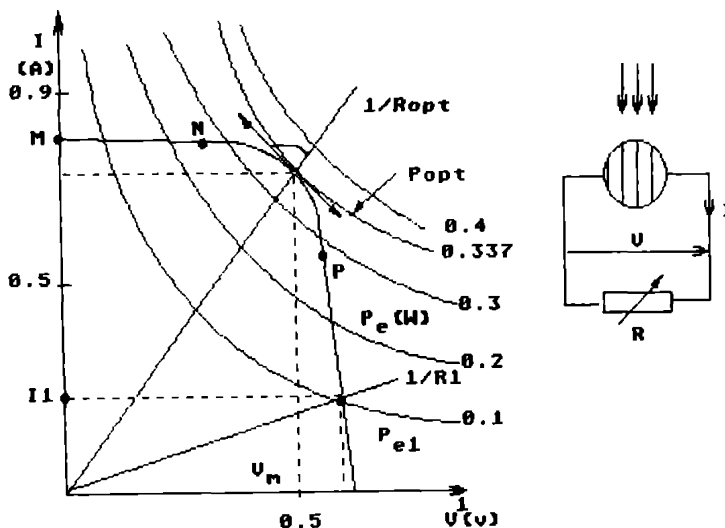


Fig.7.7 Caracteristica de putere a celulei fotovoltaice

Pentru aceasta parte a curbei caracteristice NP incadrind punctul de putere maxima, celula nu se comporta nici ca generator la tensiune constanta nici ca generator la curent constant.

Astfel apare o caracteristica fundamentala a celulei solare: in conditiile unui flux luminos si a unei temperaturi constante, celula "nu impune" nici o tensiune de functionare nici un curent; doar curba MNPS este fixata. Aceasta este valoarea rezistentei  $R$  unde este incadrat generatorul, valoare ce va determina punctul de functionare, caracterizat printr-un cuplu de valori  $(I, V)$  de curent si tensiune. Incadrata, de exemplu pe o rezistenta de valoare  $R_1$  (fig.7.7.a) si lucrind in conditii de flux luminos si

temperatura date, celula nu va ceda decit o putere  $P_{el}$ , inferioara puterii optime  $P_{opt}$  ( $I_1 V_1 < I_m V_m$ ).

Acest comportament foarte particular al celulei fotovoltaice functie de impedanta pe care aceasta este incadrata direct este legat de faptul ca echilibrul se stabileste intre trei marimi:

- fotocurentul  $I_f$  creat in structura prin o parte de radiatie absorbita (aceasta este practic curentul de circuit al celulei)
- curentul direct de obscuritate al jonctiunii  $I_D(V_j)$  unde  $V_j$  este tensiunea aparuta la nivelul jonctiunii
- curentul  $I$  generat de celula si furnizat in sarcina

Echilibrul acestor 3 variabile se va scrie:

$$I = I_f - I_D(V_j) \quad (7.24)$$

### 7.3.1 INFLUENTA FLUXULUI LUMINOS ASUPRA CARACTERISTICII DE PUTERE A UNEI CELULE FOTOVOLTAICE

Fotocurentul  $I_f$  este practic proportional cu fluxul luminos  $\phi$ . Curentul  $I_D(V_j)$ , fiind prin definitie curent direct al jonctiunii la obscuritate, normal, nu este modificat. Aceasta nu este variabil doar pentru celulele care nu utilizeaza concentrarea de radiatie solara [3].

Fotocurentul creat intr-o celula fotovoltaica este proportional cu suprafata  $S$  a jonctiunii supusa radiatiei solare; contrar, tensiunea de circuit deschis este independenta de aceasta suprafata, nefiind functie decit de material si tipul jonctiunii considerate. Fig. 7.8 prezinta caracteristica  $I=f(V)$  a unei celule solare, jonctiune p-n pe siliciu monocristalin de 57 mm diametru la 28 °C si la diverse valori ale fluxului luminos  $\phi$ . Fiecarei valori a fluxului luminos corespunde o putere electrica maxima ce poate fi furnizata de celula solara.

Aceasta figura pune in evidenta o problema de utilizare a celulelor solare. Alegem cazul extragerii a maximum de putere la fluxul luminos  $\phi = 1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ . Daca fluxul este micorat (valoarea  $\phi'$ ) punctul de functionare  $v$ -a trece din punctul A la punctul B, daca impedanta generatorului nu se modifica.

Puterea transferata in sarcina ( $I_B V_B$ ) va fi in consecinta, inferioara puterii  $I'V'$  pe care generatorul o poate furniza la fluxul  $\phi'$ . Impedanta corespunzatoare acestei puteri optime este super-

ricara lui  $R_{opt}$  si corespunde dreptei OC. Constatam pe fig.7.8 ca punctele de putere maxima se situeaza pe o verticala in diagrama curent-tensiune.

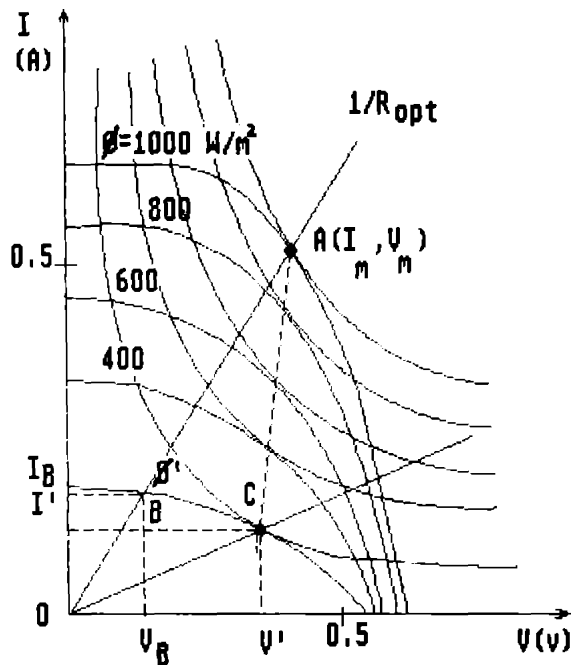


Fig.7.8  
Influenta fluxului luminos asupra caracteristicii de putere a unei celule foto-voltaice

Tensiunea de mers in gol  $V_{co}$  a unei celule corespunde conditiilor unde curentul direct in obscuritate  $I_D(V_j)$  egaleaza fotocurentul  $I_f$ , punctul S, fig.7.8; aceasta tensiune se va mica cu fluxul luminos (deci cu  $I_f$ ) asa cum este prezentat in fig.7.8.

### 7.3.2 INFLUENTA TEMPERATURII ASUPRA CARACTERISTICII DE PUTERE

Temperatura este un parametru foarte important si deseori neglijat in studiul comportarii celulei solare. Daca temperatura creste, fotocurentul creste cu diminuarea latimii benzii interzise a materialului. Acest efect nu poate fi singurul, asa ca mai intervin o variatie a coeficientului de absorbtie optic sau o imbunata-

tire a latimii de difuzie. Aceasta majorare a curentului cu temperatura  $T$  este de ordinul  $3 \cdot 10^{-2} \text{ mA K}^{-1}$  pe  $\text{cm}^2$  celula iar la AM 1 avem o variatie de 0,1 % pe grad.

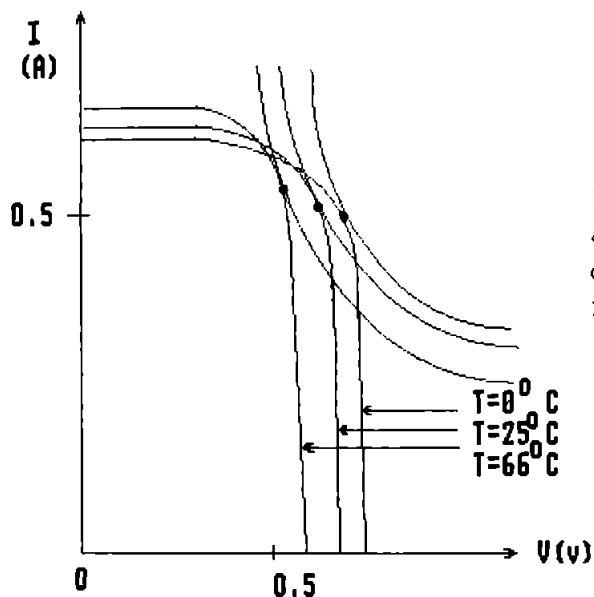


Fig.7.9  
Influenta temperaturii asupra caracteristicii de putere a unei celule fotovoltaice

Contrar, curentul direct la obscuritate  $I_D(V_j)$  majorandu-se rapid cu temperatura  $T$ , rezulta o diminuare a tensiunii de mers in gol ordinul a 2 mV pe grad. Aceste doua procese conduc la caracteristicile prezentate in fig.7.9 [3].

Majorarea temperaturii in total se traduce prin diminuarea puterii maxime disponibile, de ordin  $5 \cdot 10^{-5} \text{ WK}^{-1}$  pe  $\text{cm}^2$  de celula iar la AM 1 reprezinta o variatie de 0,35 % pe grad cit si prin modificarea valorii sarcinii, permitind extragerea acestei puteri optime.

Deci, in conceptia unui sistem fotovoltaic este necesar de a alege elemente plasate in avalul generatorului pentru a putea extrage maxim de putere din acest generator.

#### 7.4 ACUMULATOARE PENTRU STOCAJUL ENERGIEI FOTOVOLTAICE

În balanța energetică, energia fotovoltaică reprezintă o sursă inepuizabilă, fără probleme de transport și depozitare. Din păcate, această energie este disponibilă cu intermitențe mai mult sau mai puțin ciclice.

În perioadele cu soare abundent, energia solară disponibilă depășește necesarul (acesta având valori maxime tocmai în perioadele în care energia fotovoltaică lipsește cu desăvîrsire, îndeosebi noaptea).

Astfel pentru folosirea din plin a energiei fotovoltaice o parte din aceasta se folosește în acționari directe iar surplusul acesteia în stocaj sub forma de energie electrică în acumulatori dacă investițiile legate de captarea și stocarea acesteia în acumulatori sunt rentabile.

Captatorii solari, pe măsura ce producția lor se intensifică iar tehnologiile se modernizează, crescînd productivitatea, vor avea costuri de fabricație tot mai reduse și mai accesibile.

Se impune însă, ca această energie, disponibilă periodic să fie stocată în cantitate suficientă ca să acopere toate perioadele de lipsă. Pentru aceasta, în funcție de necesități, trebuie ales și generatorul fotovoltaic și capacitatea acumulatorului.

În afara de capacitatea corespunzătoare, tipul de acumulator ales trebuie să aibă o autodescărcare cit mai redusă altfel o parte importantă din energia depozitată se irosesc fără folos.

Stocajul energiei fotovoltaice se realizează în trei domenii de aplicații în dependență de puterea generatorilor:

- a) consumatori izolați (locuințe, case particulare situate la distanță, cabane, stații meteorologice sau hidrologice).

Generatoarele au puteri reduse (0,5-3 kW) iar bateriile de stocaj de tip convențional au capacitate de 2-10 kWh.



Tensiunea bateriilor este de 6, 12, 24, 48 sau 72 V in raport cu cea a panourilor solare, iar unitatile modul de 6 sau 12 V pot fi legate in serie sau paralel pentru a mari capacitatea de stocare

- b) institutii (centre comerciale, scoli, unitati industriale, agricole sau aplicatii militare). Generatoarele au puteri medii 5-50 kW iar bateriile de stocaj sint in general de tip neconventional, de capacitate corespunzatoare.
- c) centrale electrice, cuplate in sistem; puterea totala a generatoarelor, de ordinul (0,5-10) MW cu baterii de stocaj de mari capacitati compuse din module inseriate sau legate in paralel.

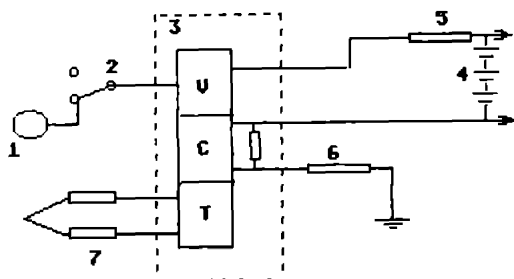


Fig.7.10 Schema de principiu a unei instalatii solare cu stocare in acumuloare electrice

- 1-panou solar; 2 - comutator cu pozitie repaus;
- 3 - bloc regulator de tensiune (V), de curent C si termic (T);
- 4 - acumulator de stocaj cu debitare pe sarcina;
- 5,6,7 - senzori de tensiune, curent si temperatura

Comutatorul 2 poate trece sistemul de incarcare pe panourile solare sau pe pozitia de repaus. Blocul regulator 3 adapteaza tensiunea panourilor solare la valori corespunzatoare bateriei de acumuloare, limiteaza supraincarea sau valorile exagerate de curent (C) regleaza parametri functionali la temperatura ambianta (-30 °C...+ 50°C daca este cazul).

#### 7.4.1 GENERATOR LA TENSIUNE CONSTANTA, LA CURENT CONSTANT

O pila chimica, un acumulator, o alimentare reglata prin tensiune sînt exemple de generatoare de tensiune constanta, caracterizate printr-o tensiune nominala  $V_N$  si curent nominal  $I_N$ .

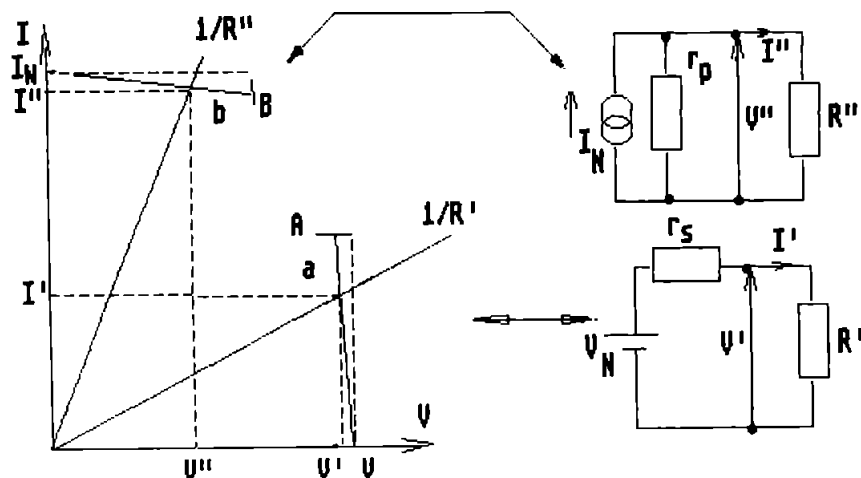


Fig.7.11

curba a - generator la tensiune constanta

curba b - generator la curent constant

#### 7.4.2 GRUPAREA CELULELOR ELEMENTARE IN SERIE

Tensiunea generata de o celula fiind foarte mica, vor trebui in majoritatea cazurilor asociate un oarecare numar de celule pentru a obtine o tensiune compatibila.

Din figura 7.12 constatam urmatoarele: curentul generat de celule este acelasi, in tot cuplajul, la fel cu cel de incarcare. O prima regula este ca nu trebuie conectate in serie decit celule identice. Caracteristica (1) caracterizeaza una din cele  $N_S$  celule ale gruparii serie.

Caracteristica de putere a grupului G se obtine multiplicand punct cu punct si pentru acelasi curent, tensiunea cu  $N_S$ .

Incadrat pe rezistenta  $R'$ , gruparea serie va elibera curentul  $I$  de tensiune  $N_S \cdot V_i$ , fiecare din cele  $N_S$  celule generind curentul  $I$  si tensiunea  $V_i$ . Constructia grafica din fig.7.12.b presupune ca o conexiunea serie a celulelor nu introduce rezistente serie suplimentare.

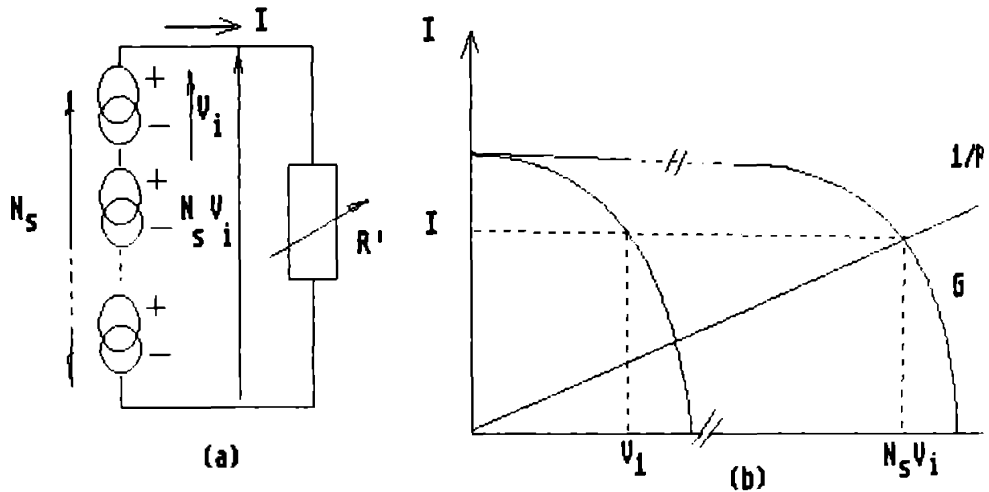


Fig.7.12 Caracteristica curent tensiune la gruparea in serie

#### 7.4.3 GRUPAREA CELULELOR ELEMENTARE IN PARALEL

Este posibil de a majora debitul furnizat la o incarcare conectand in paralel mai multe celule fotovoltaice asa cum indica si fig.7.13.a.

Constatam in acest caz ca tensiunea generata este la fel pentru toate celulele iar cea de a doua regula este: nu trebuie conectate in paralel decit celulele identice. Fig.7.13.b prezinta caracteristica de putere rezultanta (G) a grupului paralel considerat. Aceasta caracteristica a fost obtinuta multiplicand punct cu punct cu  $N_P$  (numarul de celule in paralel) si pentru fiecare valoare a tensiunii curentul caracteristicii (1) corespunde unei celule elementare. Incadrat pe o rezistenta "R" grupul paralel va

elibere curentul  $N_p I_i$  la tensiunea  $V$ , fiecare din celule generind curentul  $I_i$ .

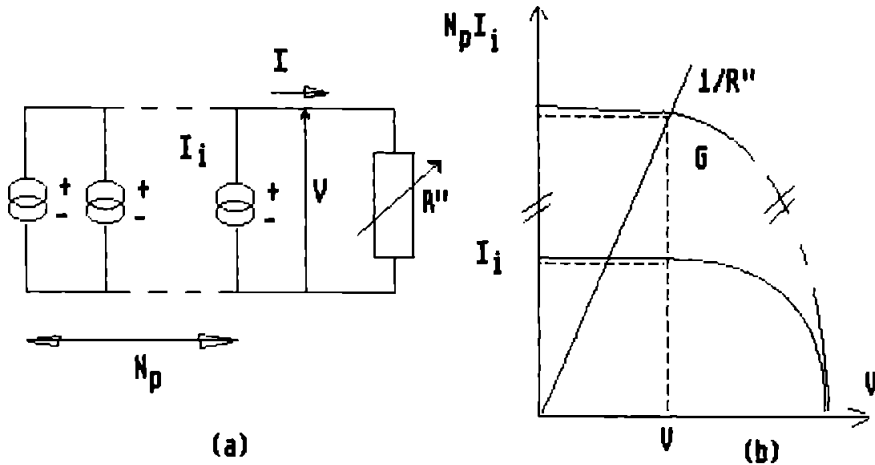


Fig.7.13 Conectarea in paralel a mai multor celule fotovoltaice

## 7.5 MATERIALE FOTOVOLTAICE

O celula solara este constituita dintr-un material absorbant si o structura colectoare. Materialul trebuie sa posede minim doua nivele de energie si sa fie bun conductor pentru a face posibil scurgerea curentului. Structura colectoare cea mai simpla este un cimp electric.

Cimpul electric este asociat unei bariere de potential:

$$E = - \text{Grad } V$$

(intr-o modelare unidimensionala  $E = - dV/dx$ ) bariera ce este intr-o dependenta directa de diferenta nivelelor de energie Fermi intre cele doua regiuni. Materialele fotovoltaice sint incadrate in categoria semiconductorilor, structura colectoare fiind o jonctiune p-n , o heterojonctiune sau o bariera Schottky.

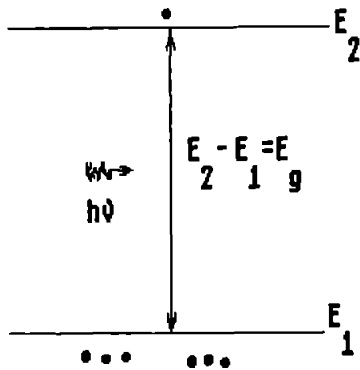


Fig.7.14

Cel mai simplu prototip al unui material este constituit dintr-un sistem avind doua nivele 1 si 2 de energii  $E_1$  si  $E_2$  asa cum se prezinta in figura.

Pentru realizarea unui model ideal al unui convertizor fotovoltaic se fac urmatoarele ipoteze [7]:

- electronii nu pot avea energiile cuprinse intre  $E_1$  si  $E_2$  pot sa se gaseasca pe nivelul 1 sau 2.

- un foton avind o energie inferioara energiei  $E_g = E_2 - E_1$  nu poate fi absorbit

- un foton de o energie egala sau superioara energiei  $E_g$  este absorbit total prin transferul unui electron de la nivelul 1 spre nivelul 2 care astfel lasa un gol pe nivelul 1

- mecanismele de relaxare a electronului spre nivelul 1 (numite recombinare electron-gol) sint presupuse suficient de lente ca electronul excitat sa fie colectat

- tensiunea de iesire a acestei celule fotovoltaice ideale este egala cu  $E_g/q$  unde  $q$  reprezinta sarcina electronului.

Conform principiului lui Pauli fiecare electron din atomul liber are o anumita energie si ocupa un nivel energetic discret. datorita interactiunii dintre atomi, in corpul solid, nivelele energetice discrete ale atomilor se desfac in benzi energetice. Electronii in corpul solid pot avea energii numai in interiorul benzilor energetice permise. In cazul elementelor din grupa a IV-a C, Si si Ge, fiind izolatori si semiconductori (nu metale asa cum ar rezulta din ocuparea cu electroni a nivelelor atomice) avem o situatie caracterizata prin suprapunerea si despicarea benzilor  $s$  si  $p$  in asa fel incit banda superioara (banda de conductie) sa

contina 4N stari libere, iar banda inferioara (banda de valenta) sa aiba 4N stari complet ocupate cu cei 4N electroni de valenta ai unui cristal format din N atomi (fig.7.15) [18].

Principalele proprietati ale semiconductorilor uzuali TABELUL 71

	Ge	Si	GaAs	
Banda interzisa	0,67	1,11	1,35	(eV)
Numar atomic	32	14		
Masa atomica	72,6	28,8	144,6	(g)
Densitate	5,32	2,33	5,32	(g·cm <sup>-3</sup> )
Atomi × cm <sup>-3</sup>	4,5·10 <sup>22</sup>	5·10 <sup>22</sup>	2,2·10 <sup>22</sup>	
Parametri retelei	5,567	5,431	5,653	(10 <sup>-10</sup> m)
Temperatura difuzie	937	1420	1238	(°C)
Tranzitie	ind(111)	ind(100)	dir(000)	
dE <sub>g</sub> /dT	-3,7	-2,3	-5,0	10 <sup>-4</sup> V/k
m/m <sub>0</sub> electroni	0,55	1,08	0,072	
m/m <sub>0</sub> goluri	0,31	0,56	0,5	
N <sub>C</sub>	1,03	2,82	0,46	10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup>
N <sub>V</sub>	0,43	1,04	0,89	10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup>
n <sub>i</sub>	2,4·10 <sup>13</sup>	1,5·10 <sup>10</sup>	1,1·10 <sup>7</sup>	(cm <sup>-3</sup> )
Indice refractie	4,0	3,42	3,30	
Coef.dilat.termica	6,1·10 <sup>-6</sup>	4,2·10 <sup>-6</sup>	6,0·10 <sup>-6</sup>	(°C <sup>-1</sup> )
Const. dielectrica	16	11,7	11	

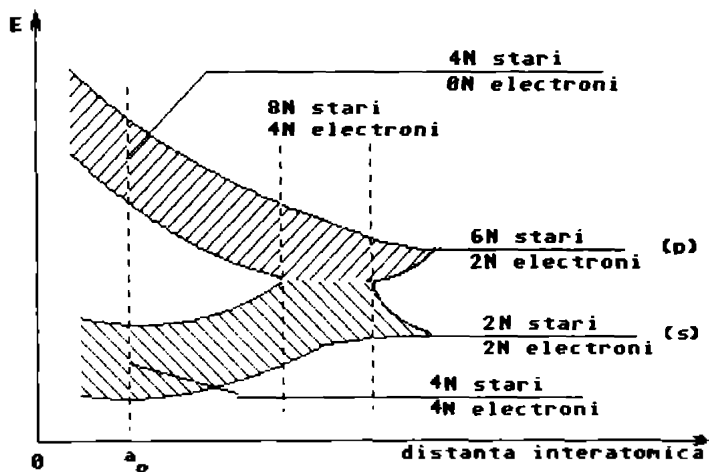


Fig.7.15 Formarea benzilor energetice in cazul semiconductorilor din grupa a IV-a cind benzile s si p interactioneaza

## 7.6 CELULE SOLARE CU SILICIU

Siliciul este cel mai utilizat semiconductor la realizarea celulelor solare atat in stare monocristalina cit si in stare policristalina sau amorfa. Prima celula solara a fost realizata in anul 1954 [18].

### 7.6.1 CELULE SOLARE CU SILICIU MONOCRISTALIN

Largimea benzii interzise a siliciului monocristalin de 1,12 eV este foarte apropiata de valoarea optima pentru utilizari in conversia fotovoltaica.

Cu o structura de benzi energetice indirecte siliciul are coeficientul de absorbtie mai mic, ceea ce permite o adincime mai mare de patrundere a radiatiei solare cu o influenta mai mica a recombinarii la suprafata asupra performantelor celulelor solare.

Adincimea jonctiunii celulelor solare cu siliciu este sub 0,5  $\mu\text{m}$ , iar grosimea totala este in jur de 300  $\mu\text{m}$  [3].

Contactul frontal realizat sub forma de grila acopera 5+7 % din suprafata utila a celulei solare.

Tipuri reprezentative de celule solare cu siliciu:

- cimp intern in regiunea bazei (BSF, Back Surface Field).
- celule solare texturizate (se realizeaza pe siliciu in care suprafata frontala pe care cade radiatia solara are aspect piramidal, o parte din radiatia incidenta distigindu-se prin refractie).
- celule solare cu contact reflector (pe spatele celulei solare se realizeaza un contact reflector pentru radiatia cu lungimea de unda  $\lambda \geq 1,1 \mu\text{m}$ , aceste celule fiind numite BSR, Back Surface Reflector).

### 7.6.2 CELULE SOLARE CU SILICIU POLICRISTALIN

Studiul silicului policristalin pentru utilizari solare a scos in evidenta citeva caracteristici ce se impun acestui material:

- dimensiunile cristalitelor sa fie mai mari decit lungimea de difuzie a purtatorilor minoritari
- orientarea in linie a cristalitelor

Eficienta conversiei de 12 % realizata face posibil ca pretul energiei obtinute sa scada sub 0,5 \$ USA/Watt<sub>v</sub>, deci, sa devina competitiva cu costul energiei electrice obtinute prin procedee clasice.

### 7.6.3 CELULE SOLARE CU SILICIU AMORF (a - Si)

Siliciul amorf considerat ca o posibilitate reala de obtinere a unor celule solare performante si ieftine ofera avantajele:

- tehnologii de obtinere simple
- se poate dopa atat cu impuritati donoare, cit si acceptoare
- largimea benzii interzise este cuprinsa intre (1,5+2 eV)
- coeficientul de absorbtie in domeniul spectral al radiatiei solare este cu un ordin de marime mai mare decit la siliciul monocristalin
- se pot realiza celule solare cu homojonctiuni, heterojonctiuni, Schottky, metal izolator semiconductor (MIS), cu si fara cimpuri interne

Prima celula solara cu siliciu amorf a fost obtinuta in anul 1974 avind eficienta 0,01.

Siliciul amorf dopat cu hidrogen (a-Si:H) sau cu hidrogen si fluor (a-Si:H:F) este obiectul experimentarilor pentru obtinerea unor celule solare de eficienta 7+9 %, ceea ce le-ar face competitive.



#### 7.6.4. CELULE SOLARE CU HETEROJONCTIUNI

Combinatiile dintre doi semiconductori de conductibilitati si largimi ale benzii interzise diferite, permit realizarea heterojonctiunilor. Mentionam cateva avantaje:

- eficienta mai mare a conversiei, mai ales la lungimi de unda mici, datorita efectului de fereastră;
- posibilitati largi de diminuare a rezistentei serie a celulelor solare prin reglarea grosimii stratelor semiconductoare

#### 7.6.5 CELULE SOLARE PENTRU RADIATIA SOLARA CONCENTRATA

Pentru a mentine (prin reducerea ariei active a celulelor solare) sau pentru a creste puterea debitata se recurge la concentrarea radiatiei incidente.

Conceptia, realizarea si functionarea celulelor solare in lumina concentrata este determinata de:

- temperatura ridicata datorata concentrării
- rate mari de fotogenerare a purtatorilor minoritari

Prezentam cateva modele de celule solare pentru lumina concentrata

- celule solare tandem sau in cascada (permit o absorbtie selectiva a radiatiei din spectrul solar)
- celule solare multijonctiune cu structura V (trapezoidala)
- celule solare interdigitale (regiunile  $n^+$  si  $p^+$  sint interconectate pe fata opusa celei pe care cade radiatia incidenta).

#### 7.6.6 CELULE SOLARE "MIS" (METAL-IZOLATOR-SEMICONDUCTOR)

Structura MIS standard sau mai recent denumita MINP (Metal-Izolator-Jonctiune p-n) se caracterizeaza prin prezenta stratului izolator intre contactul frontal semitransparent pentru radiatia solara si semiconductor sau jonctiunea p-n.

Pentru realizarea celulelor solare MIS cu siliciu, combinatii favorabile sint: Al, Cr, Ti, Mg-SiO<sub>2</sub>-pSi, Au, Ag, Cu, Ni, Pt-SiO<sub>2</sub>-nSi

Heterobarierile Schottky realizate in combinatia Au, Al<sub>0,5</sub>Ga<sub>0,5</sub>As/GaAs sau permis obtinerea unor tensiuni de circuit deschis de 880 mV si eficienta de 10,5 %.

## 7.7 REALIZARI PE PLAN MONDIAL

Eforturile depuse in cercetarea si proiectarea modulelor si sistemelor fotovoltaice au condus la imbunatatirea randamentelor cit si la micșorarea sensibilă a costului.

De la miliwati pentru ceasuri si calculatoare de buzunar pina la kilowati pentru aplicatii profesionale, productia de energie electricade natura fotovoltaica astazi cunoaste o expansiune rapida.

Sistemele fotovoltaice confirma prin utilizarea lor tot mai raspindita avantajele specifice lor:

- alimentare superioara fata de grupurile electrogene termice,
- furnizare continua, 24 din 24 de ore

Pe plan mondial situatia in fotovoltaic prezentata in tabelul 7.2 arata cresterea puterii instalate intre anii 1974-1992 [15]:

TABELUL 7.2

anul	1976	1987	1992
putere instalata [MW <sub>v</sub> ]	0,4	25	40

Pe plan mondial deja exista in exploatare utilizind celule fotovoltaice [14]:

- peste 1000 frigidere
- cca 3000 pompe solare
- 70.000 instalatii de telecomunicatii
- 1 milion instalatii de iluminat public
- 5 milioane calculatoare de buzunar

Incepind cu anul 1980 cele doua filiere de siliciu policristalin si amorf au substituit siliciul monocristalin, ducind la o reducere importanta a costului.

De la 8 % in 1978,randamentul celulelor policristaline a atins 12% asteptindu-se o majorare a acestuia pina la 15 % in 1993

Acestui progres tehnic i se adauga ameliorarea proceselor industriale permitind o utilizare mai eficace a materialului, astfel pentru obtinerea unei celule de un Watt/virf acum se folosesc 20 grame siliciu fata de 50 grame in 1982 [18].

Astazi accentul in conversia fotovoltaica de putere se pune pe celula fotovoltaica de siliciu cristalin. Randamentul de

conversie al acesteia poate atinge 28 % cu concentrare, 22 % fara concentrare si 14 % in straturi subtiri. Prin compozitie siliciul amorf conduce la 12 % pentru celule simple si 13,7 % pentru celule complexe tandem.

Instalatiile dezvoltate de firma franceza Photowatt permit decuparea simultana a 500 placute de 0,200 mm grosime fata de 0,400 mm realizate cu instalatii clasice sperind sa se poata obtine placute de 0,120 mm grosime anul acesta [15].

Acesti factori au determinat reducerea sensibila a costului la module de la 50 \$ USA in 1974 la 8 \$ USA in 1988 cu tendinta de a ajunge la 4 \$ USA/Watt<sub>v</sub> in decursul anului.

Numarul unu in Europa, producator de module de siliciu cristalin este societatea franceza Photowatt cu 20.000 module de putere 42 Watt<sub>v</sub> (total 0,9 MW/an). Alti producatori europeni sint: AEG, in Germania (numarul unu in productia de celule spatiale), BP Solar in Spania, Ital Solar in Italia, Solpro in Belgia.

Siliciul amorf descoperit in 1976 la Universitatea Dundee a aparut pe piata japoneza in anul 1981. Primele module comercializate in 1984 au avut un randament de 4 %. Astazi randamentele atinse sint 5-6 % , telul propus pentru anul viitor fiind 9 % la un pret inferior a 2,5 \$ USA/Watt<sub>v</sub> [18].

Unitati producatoare de module comercializate cu siliciu amorf exista in USA (Arco, Solarex, Chronar) Japonia, in Europa (Total, Solems, Phototronics - Franta; Siemens, M.B.B.- Germania; trei uzine dupa licenta Chronar in Franta, Jugoslavia si Irlanda). In cazul celulelor utilizate in aplicatii terestre, criteriul de alegere al acestora nu este randamentul, ci pretul modulului/Watt<sub>v</sub>. Celulele policristaline ale anilor '80 au fost produse la pretul de 10 si apoi 5 eccu/Watt. Siliciul amorf insa a dat sperante mari prin pretul de 3 eccu/Watt cu tendinte de micorare.

Astazi siliciul amorf are un avantaj in ceea ce priveste pretul, dar si doua handicapuri: stabilitate insuficienta si randament slab.

In momentul de fata exista celule fotovoltaice de randament inalt. Ameliorarea randamentului la celulele fotovoltaice in siliciul cristalin este obiectul a doua echipe: Stanford in SUA si Sydney in Australia. Se foloseste o combinatie de calitati: un

material monocristalin de înalta calitate, pierderi reduse pe cimpul posterior si anterior (pasivizarea de suprafata) o miniaturizare a zonelor din semiconductori dopati puternic.

Cele mai înalte randamente au fost obtinute la celulele GaAs în USA, dar cele mai perfectionate sînt sistemele tandem. Aceste sisteme sînt bazate pe utilizarea optima de doua celule fotovoltaice a doua benzi diferite a radiatiei solare. Randament obtinut: 31 % cu posibilitati de imbunatatire.

Asocierea unui concentrator si a unei celule fotovoltaice are un alt avantaj: reducerea suprafetei celulei fotovoltaice divizata prin raportul de concentrare.

Studii în acest domeniu se efectueaza si în Europa: INSA Lyon, CNRS Valbonne - Franta; CISE Milano - Italia; Universitatea din Stuttgart, Institutul Fraunhofer din Freiburg - Germania [14].

Cercetarile efectuate invoca promisiuni industriale, sperante si convingerea ca sîntem în fata unui viitor promitator în ceea ce priveste conversia fotovoltaica.

## 7.8 STUDIUL EXPERIMENTAL

În cadrul catedrei de fizica a Facultatii de Electrotehnica a U.T.T, pe diferite perioade ale anilor 1987-1991, am efectuat studiul experimental al unui panou solar de tip SM 12-36150 pentru determinarea parametrilor teoretici, conform schemei din fig.7.16.

Masuratorile au fost efectuate în conditii naturale avînd posibilitatea de orientare a panoului în raport cu pozitia soarelui pe bolta. Au fost efectuate masuratori în plan ce realizeaza normalitatea razelor la suprafata celulelor, în plan orizontal si în plan vertical raportat la suprafata pamîntului [13].

Parametrii utilizati în studiul experimental:

$I_0$  - intensitatea radiatiei solare masurata cu solarimetrul, valoare data în plan orizontal  $[W/m^2]$

$I_{DIF}$  - componenta difuza  $I_{DIF} = \frac{I_0}{3} \quad [W/m^2]$

$I_{DIR}$  - componenta directa  $I_{DIR} = \frac{2}{3} \frac{I_0}{\cos H} \quad [W/m^2]$

H - unghiul facut de Soare cu planul orizontal  $[^\circ]$

$I_{ef}$  - intensitatea pe panou  $I_{ef} = I_{DIF} + I_{DIR}$  [W/m<sup>2</sup>]

$P$  - puterea primita de la Soare  $P = I_{ef} \cdot S$  [W]

$S$  - suprafata celulelor [m<sup>2</sup>]

$R_s$  - rezistenta de sarcina (variare in trepte  $0 \rightarrow \infty$ )

Pentru  $R = 0$  se citește  $I_{sc}$

$R = \infty$  se citește  $V_{gol}$ , iar pentru celelalte valori au

fost cititi  $V$  si  $I$  si trasate curbele  $I = f(V)$

de unde a rezultat  $R_{optim}$

$P_{el}$  - putere electrica  $P_{el} = V \cdot I$  [W]

$E_{el}$  - energia pe partea electrica  $E_{el} = P_{el} \cdot t$  [J]

$\eta$  - randamentul  $\eta = \frac{P_{el}}{P}$  [%]

$K_u$  - factor de utilizare  $K_u = \frac{V \cdot I \text{ (pentru } R_{optim})}{V_{gol} \cdot I_{sc}}$

Curba  $I = f(V)$  se traseaza la  $I_s = const$

$P_{el} = f(R_s)$  se traseaza la  $I_s = constant$

$P_{ef} = f(I_s)$  se traseaza la  $R = constant$

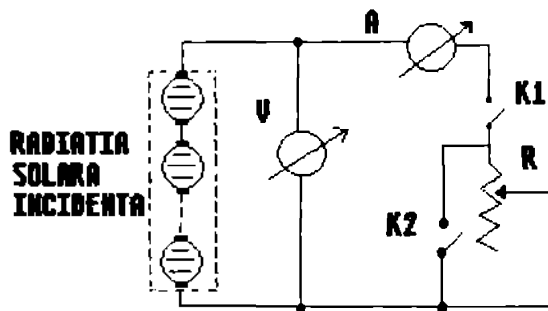


Fig.7.16 Schema electrica a instalatiei experimentale utilizata pentru masuratori

In efectuarea calculului propriu-zis am utilizat programe pentru calculul:

- unghiului  $H$  facut de Soare cu planul orizontal,
- energiei solare medii pe o suprafata orientata catre Soare, situata la limita superioara a atmosferei terestre
- energiei solare medii la suprafata pamintului in plan orizontal si vertical
- parametrilor ce intervin in masuratorile experimentale.

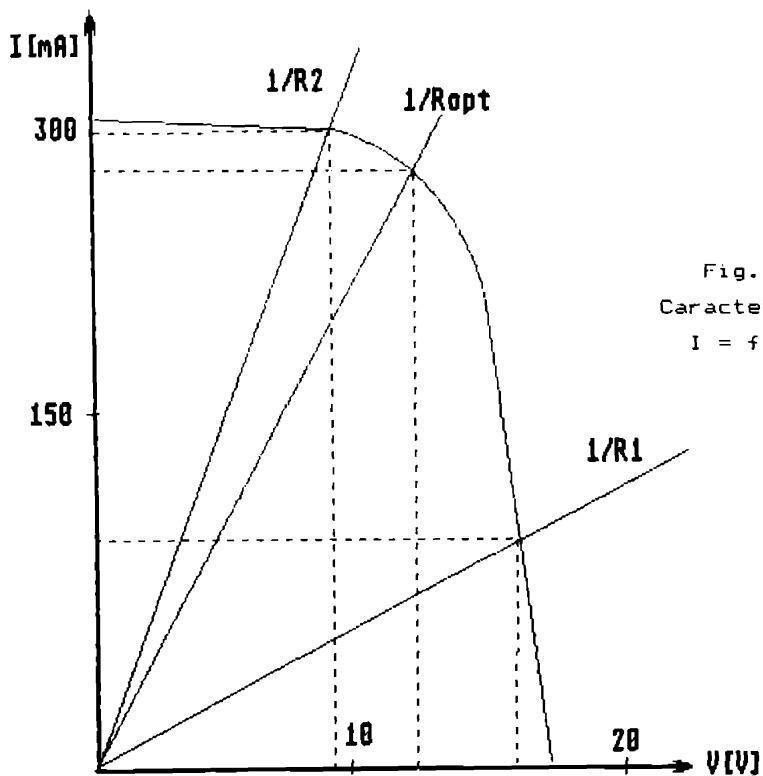


Fig.7.17  
Caracteristica  
 $I = f(V)$

In fig.7.17 este reprezentata caracteristica  $I = f(V)$  cu domeniul de functionare la curent constant  $\Delta I = 10\%$  si la tensiune constanta ( $\Delta V = \pm 5\%$ ).

Din masuratori, facind calculele necesare a rezultat rezistenta de sarcina  $R_s$

$$R_1'' = -\frac{V_1}{I_2} = 30 \Omega \quad \text{deci } R_s \in (0, 30) \Omega$$

$$R_1' = -\frac{V_1}{I_1} = 110 \Omega \quad \text{deci } R_s \in (110, \infty) \Omega$$

Din caracteristica  $I = f(V)$  se obtine rezistenta optima de sarcina:

$$R_{opt} = -\frac{V_{max}}{I_{max}}$$

Puterea maxima pe panou a fost obtinuta, pentru  $I_{ef} = 450 \text{ W/m}^2$

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} = 3,83 \text{ W}$$

Coefficientul de utilizare se calculeaza:

$$k_u = -\frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{gol} \cdot I_{sc}} = 0,62$$

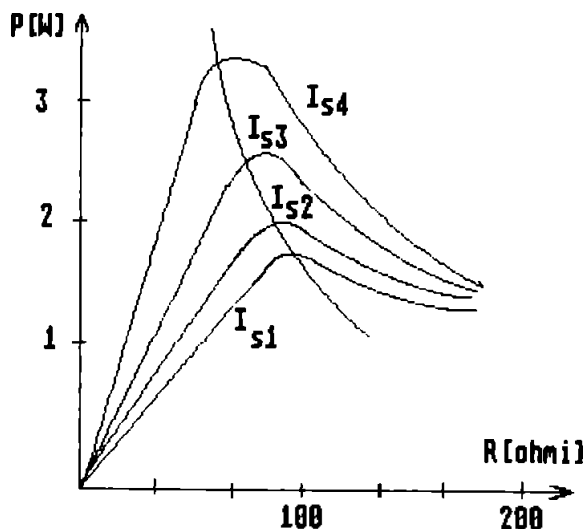


Fig.7.18  
caracteristica puterii  
electrice in functie de  
rezistenta de sarcina  
la diferite intensitati

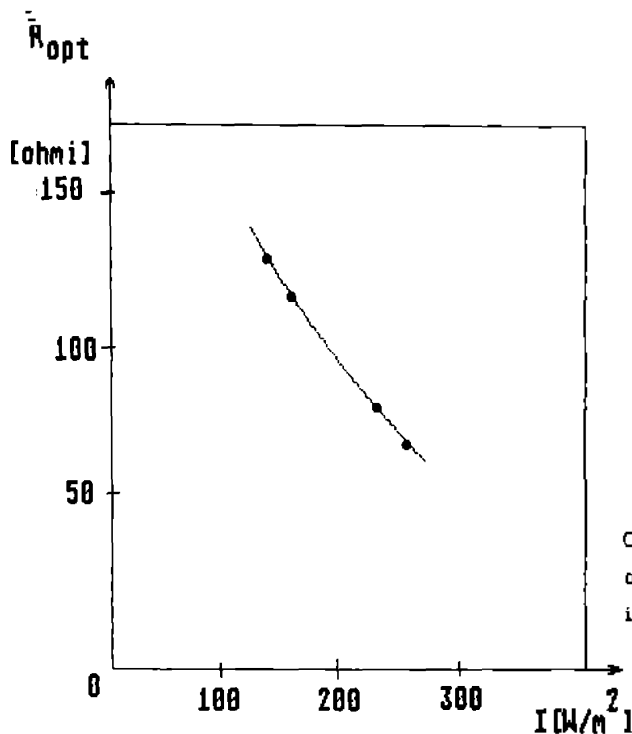


Fig.7.19  
Caracteristica rezistentei optime in dependenta de intensitate

Maximul caracteristicii puterii electrice in functie de rezistenta de sarcina determina un interval ingust pentru valoarea rezistentei de sarcina la care se obtine puterea electrica maxima. Caracteristica  $P = f(R_g)$  se aplatizeaza pentru valori mai mici ale intensitatii radiatiei, astfel domeniul de lucru pentru rezistentele electrice devine mai larg, dar se micsoreaza puterea electrica obtinuta.

Problema utilizarii panourilor solare la putere maxima pentru instalatii puternice poate fi rezolvata prin:

- adaptarea rezistentei electrice a consumatorului la valoarea ceruta de maximul din caracteristica  $P = f(R_g)$
- legarea mixta a mai multor panouri astfel incit sa se



realizeze pentru rezistenta totala o valoare apropiata de valoarea ceruta la functionarea eficienta a panoului solar.

Randamentul panoului solar prezentat in fig.7.20 conform [13] se calculeaza:

$$\eta = \frac{P_e}{P_{inc}} = \frac{VI}{nS_c I} \qquad \eta_{max} = \frac{P_{max}}{P_{inc}}$$

In ziua de 02.11.1989 au fost efectuate masuratori asupra intensitatii radiatiei solare. In fig.7.20 se reprezinta randamentul determinat pentru diferite pozitii ale panoului solar.

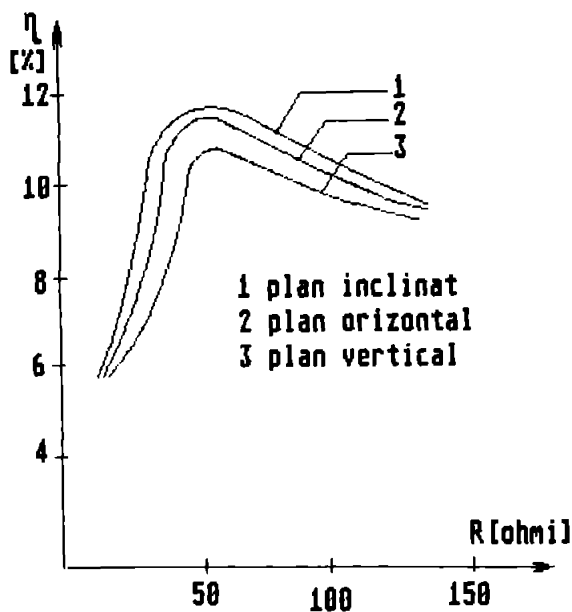


Fig.7.20  
Randamentul panoului solar in functie de rezistenta pentru diferite valori ale intensitatii

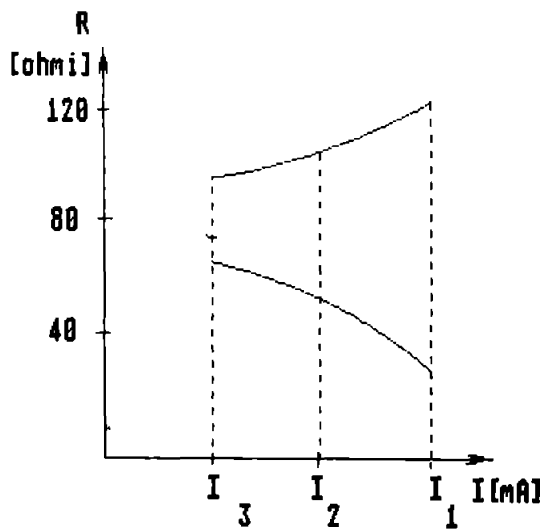


Fig.7.21  
Valoarea rezistentei  
de sarcina la diferite  
intensitati

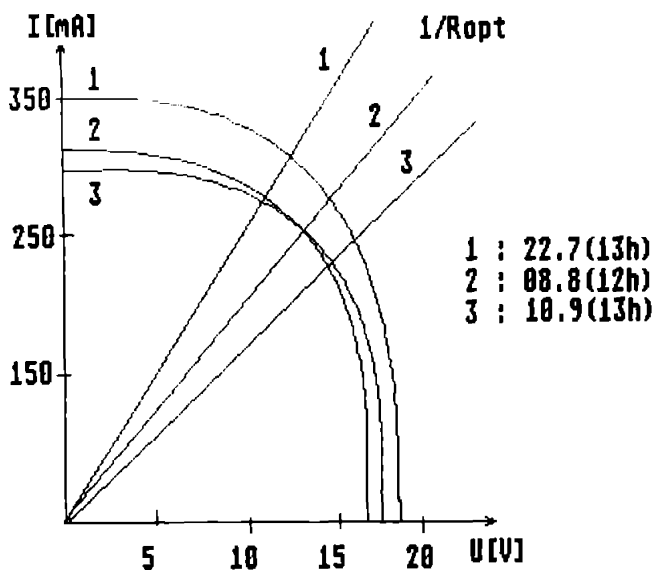


Fig.7.22

In fig.7.22 se prezinta caracteristica  $I = f(V)$  cu rezistenta optima  $1/R_{opt}$  pentru diferite ore si zile.

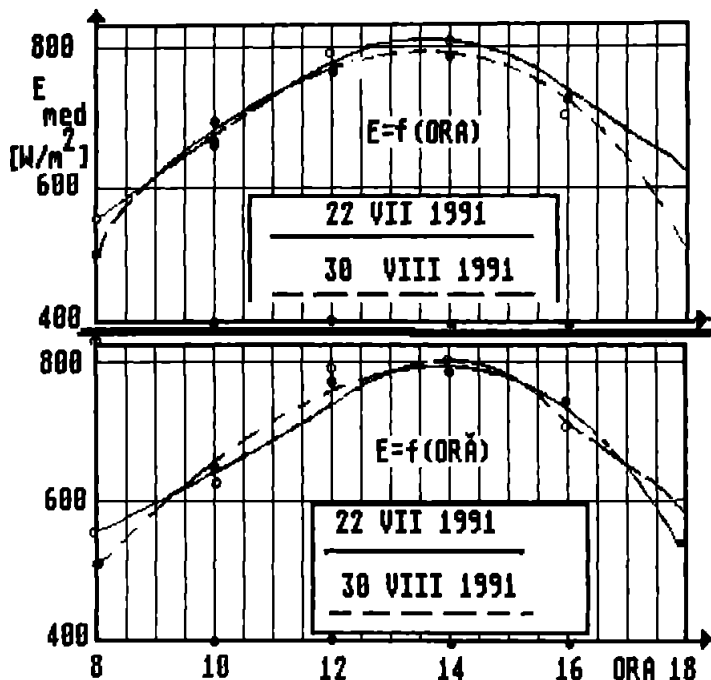
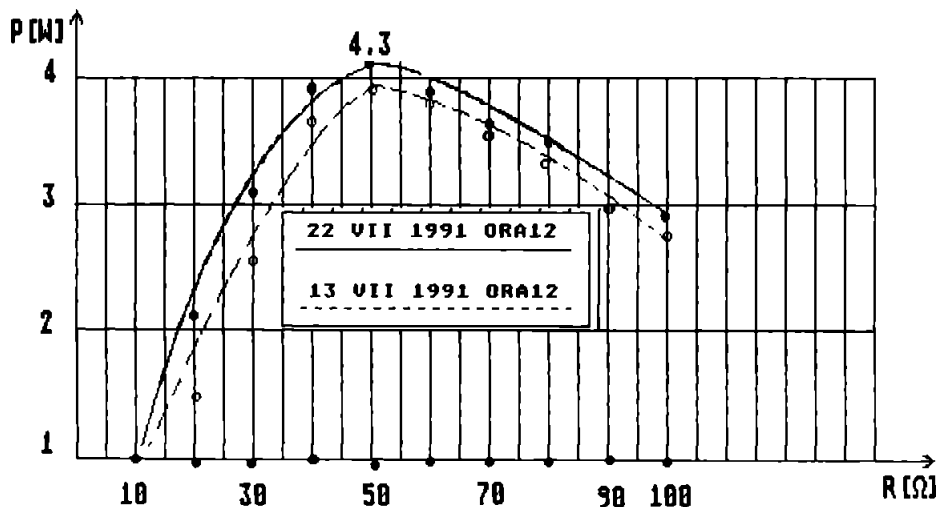


Fig.7.23  
Intensitatea radiatiei solare in plan orizontal pentru diferite zile si medii lunare



In fig.7.24 se prezinta caracteristica de putere in functie de rezistenta pentru cite doua zile din lunile iulie si august cit si puterea medie in functie de rezistenta pentru lunile iulie si august. In cazul lunii august este prezentata si o zi in care intensitatea radiatiei solare a fost minima datorita conditiilor atmosferice.

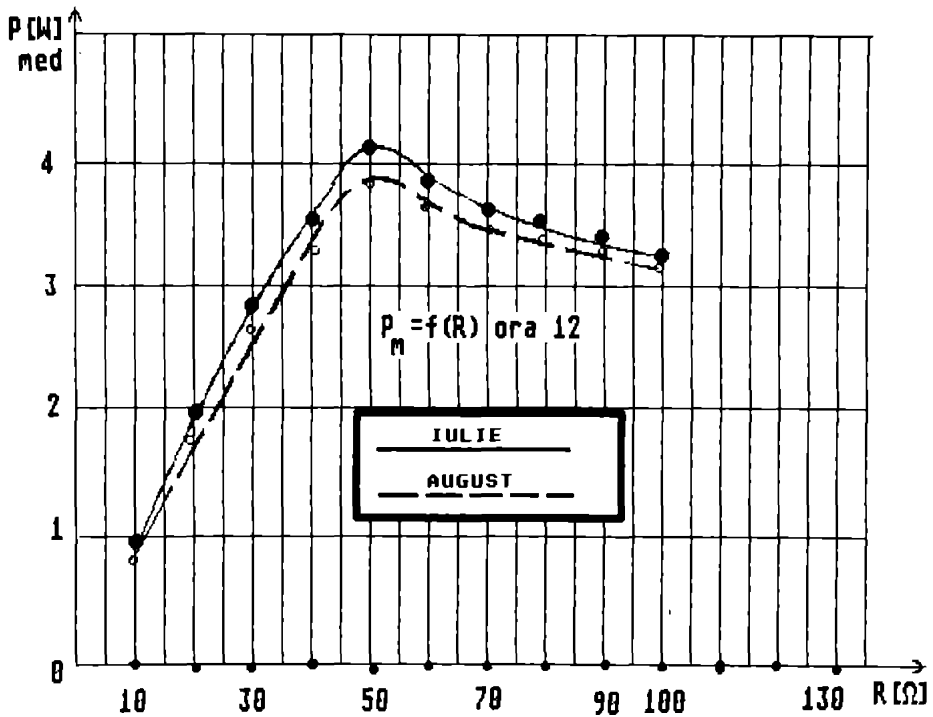
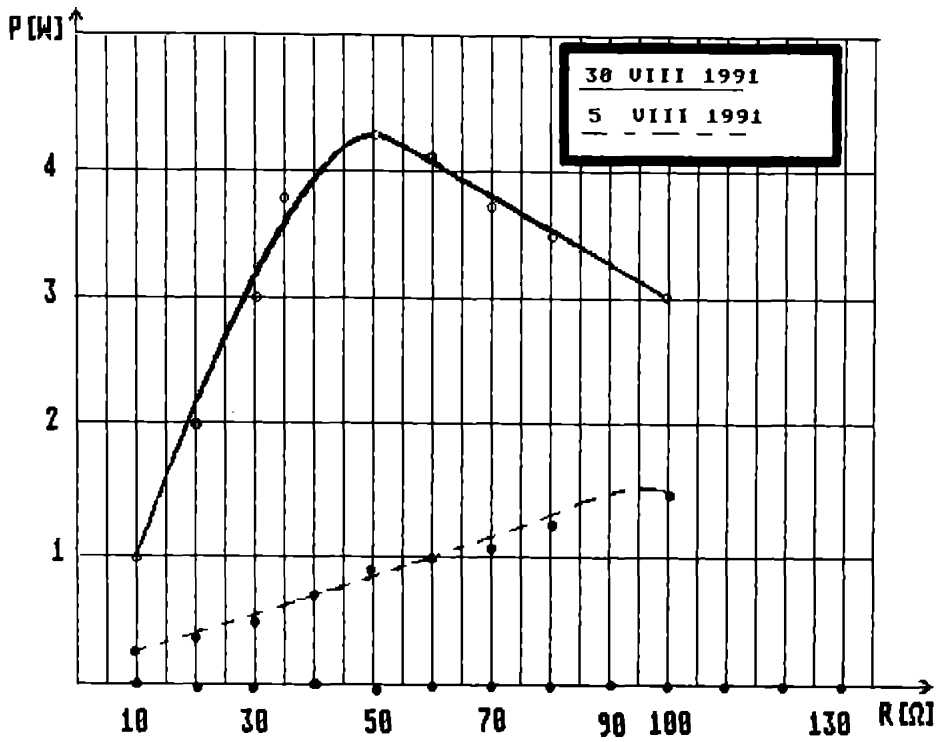


Fig. 7.24

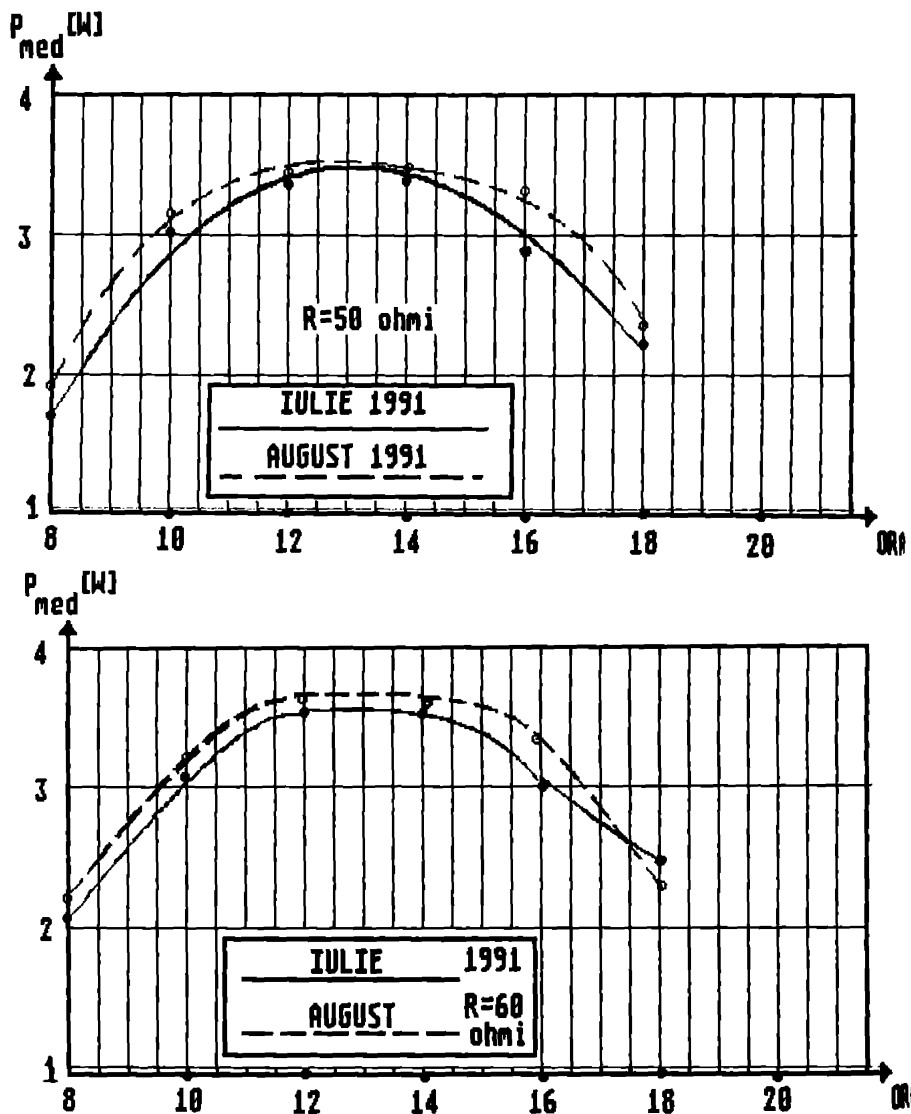
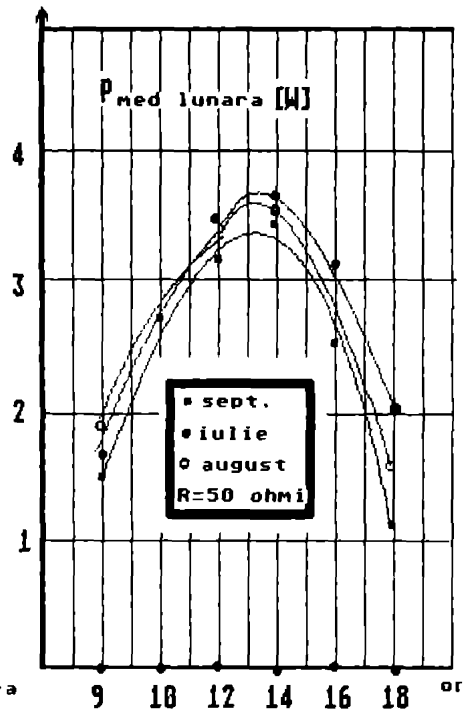
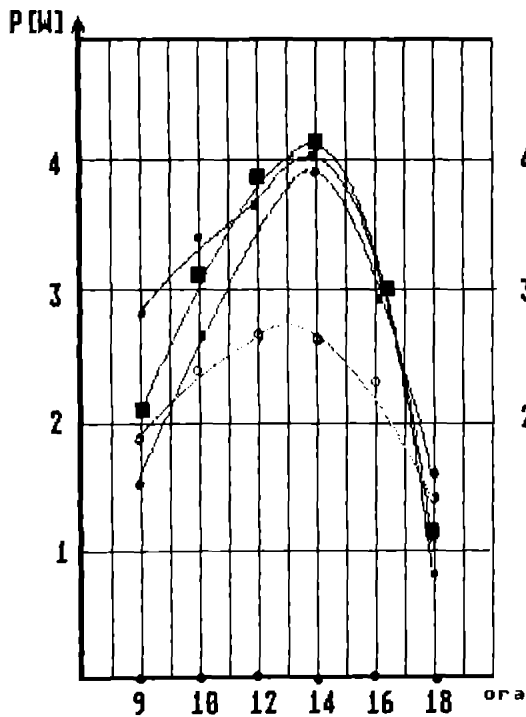
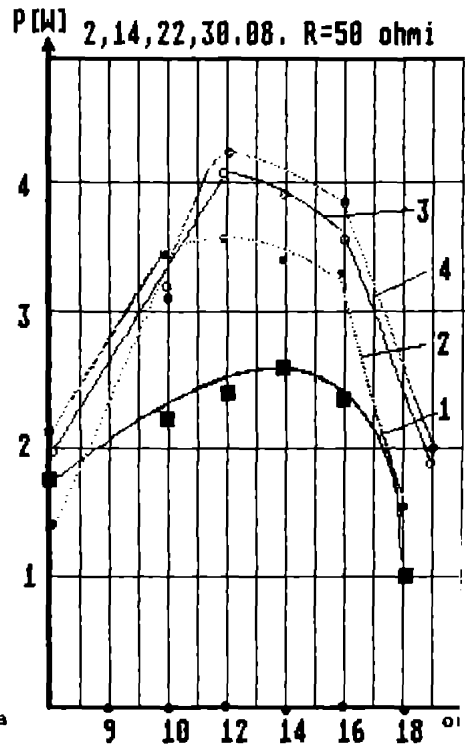
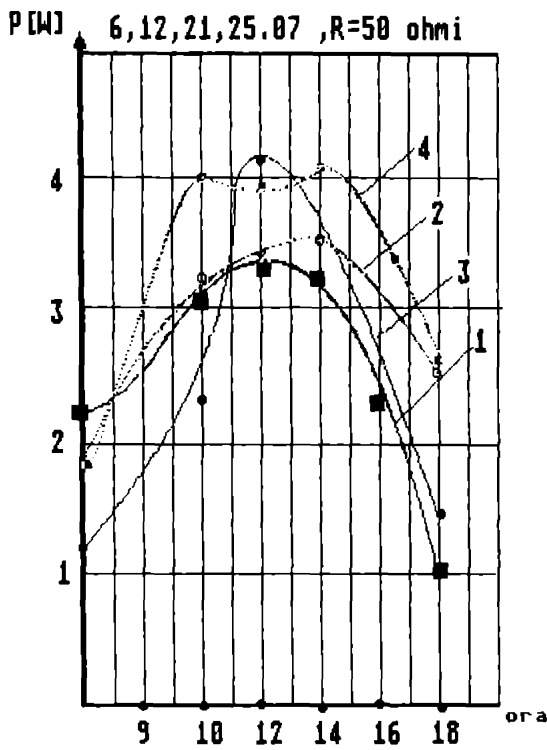


Fig.7.25

In fig.7.25 se prezinta caracteristica de putere medie in functie de ora pentru lunile iulie si august la diferite rezistente de sarcina. Se constata urmatoarele:

- la rezistenta de sarcina  $R = 50 \Omega$  puterea medie maxima este aceeași, iar puterea medie este mai mare in august
- la rezistenta de sarcina  $R = 60 \Omega$  puterea medie in luna august are o valoare mai ridicata pe toata durata zilei.

In fig.7.26 se prezinta caracteristica puterii in functie de ora pentru o zi din fiecare saptamina a lunilor iulie, august si septembrie 1991.



## 7.9 ANALIZA TEHNICO-ECONOMICA

In tabelul 1 prezentam o analiza comparativa a costului pentru un kWh furnizat in Franta tinind cont de modalitatea de productie si distributie a energiei electrice [10].

TABELUL 7.3

energie electrica din:	F:0,01	0,1	1	10	100	1000
rețele electrice	0,06		1,5			
agregate diesel		0,6		15		
eolian		0,6	1,5			
celule fotovoltaice			5	25		
baterii				20	300	
pile de combustie					300	

Din tabel se observa ca energia electrica de natura fotovoltaica in momentul de fata se situeaza intr-o "zona intermediara" pretul unui kWh fotovoltaic furnizat variaza intre 5+25 F in dependenta de puterea instalata, de amplasament, de fiabilitatea echipamentului utilizat. Prezentam o metoda de calcul a costului pentru un kWh fotovoltaic [14].

$$C = C_i + C_e$$

unde:  $C_i$  rezulta din amortizarea investitiei  $C_i = A/E_a$  cu:

-  $E_a$  - productia anuala in kWh a sistemului considerat.

In prima aproximatie  $E_a = 365 K_p P E_i$  unde:

-  $E_i$  - radiatia energetica zilnica medie in planul modulelor [ $kWh \cdot m^{-2} \cdot zi$ ]

-  $p$  - puterea nominala a instalatiei: suma puterii de virf a modulelor pentru instalatii de putere nominala in conditii de referinta ( $1000 W \cdot m^{-2}$  si temperatura ambianta de  $20^\circ C$ ) pentru centrale conectate la o retea.

-  $K_p$  este un coeficient mediu de pierderi (variaza de la 0,65 pentru un sistem autonom cu stocaj pina la 0,85 pentru un sistem racordat la retea)

- A, reprezinta amortizarea avind anuitate constanta, cu valoarea data de relatia

$$A = I(t/100)(1 + t/100)^n / [(1 + t/100)^n - 1]$$

unde: I - valoarea investitiei

n - numarul anilor considerati in amortizarea investitiei

t (%) - dobinda anuala

$C_e$  rezulta din cheltuielile de functionare/exploatare intretinere,  $C_e = D_e/E_a$  unde  $D_e$  reprezinta cheltuielile anuale de exploatare, intretinere.

Pentru compararea solutiilor apropiate sau concurente consideram:

- $I_{up}$  = investitia unitara  $I_{up} = I/P$  [F/W]
- $K_a$  - coeficient de actualizare  $K_a = A/I$
- $K_{ei}$  - coeficient de exploatare, intretinere  $K_{ei} = D_e/I$

Cu cele trei relatii obtinem:

$$C = I_{up} (K_a + K_{ei}) / K_p E_i$$

In fig.7.27 prezentam o diagrama pentru determinarea costului pentru un kWh furnizat de un sistem autonom. Astfel pentru o zona avind  $E_i = 1800$  kWh/m<sup>2</sup>·an se deduce:

- costul actual pentru un kWh este 10,6 F/kWh
- costul la orizontul anilor 1995 - 2000 poate cobori la 8 respectiv 5 F/kWh

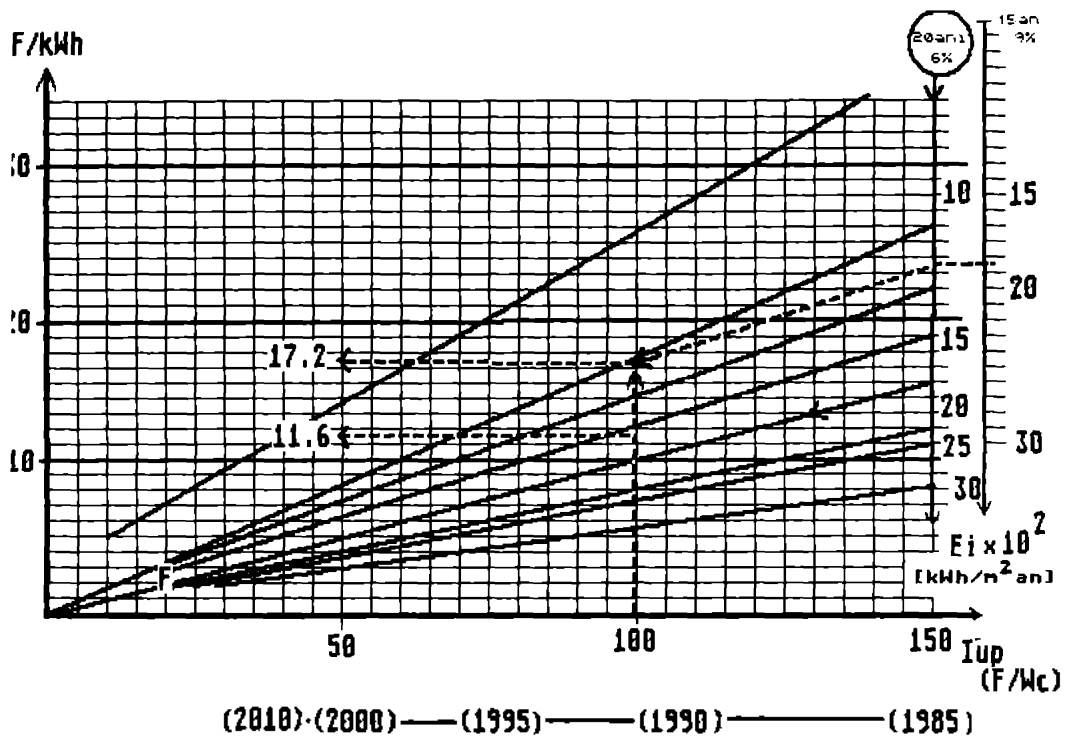
Din studiul analizat se observa ca pretul va ramine ridicat. CU toate acestea realizările in acest domeniu de pina acum (de la citeva instalatii fotovoltaice in case si refugii izolate in anul 1980 la mai mult de 20.000 in anul 1990 pe plan mondial) demonstreaza ca ceea ce este cel mai important pentru utilizatorul final nu este costul unui kWh fotovoltaic ci valoarea serviciului si a confortului asigurat.

In fig.7.28 prezentam performante a citorva instalatii fotovoltaice de productie franceza cit si costul acestor instalatii comparat cu costul unei linii electrice de joasa tensiune si cu costul pentru racordarea unui abonat la retea.

In fig.7.29 prezentam o evolutie probabila a costului pentru generatoare fotovoltaice autonome pentru case izolate conform [5].



COSTUL UNUI kWh FOTOVOLTAIC (SISTEME AUTONOME 0.5<P<5 kW)



$$C = \frac{I_{up}}{K_p E_j} (K_A + K_{Ei})$$

$$K_A = \frac{t(1+t)^n}{(1+t)^n - 1}$$

Fig. 7.27

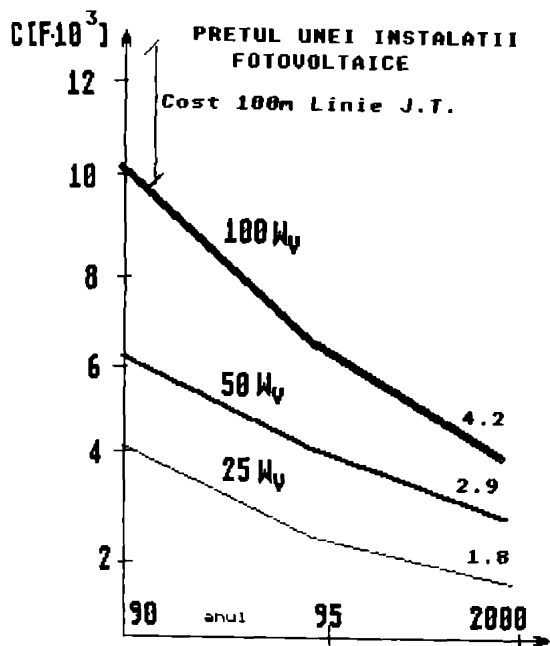


Fig.7.28

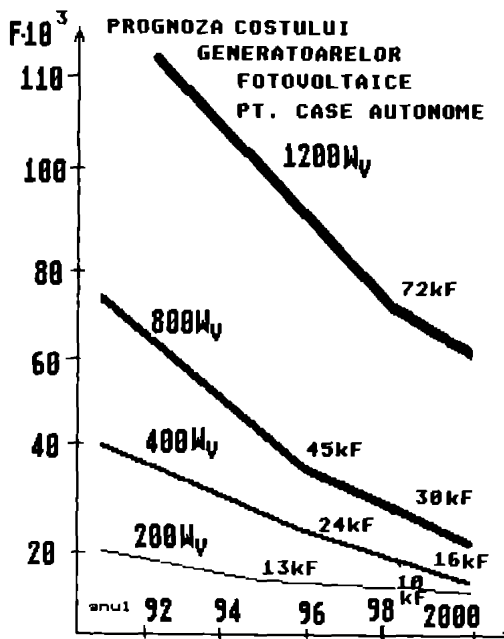


Fig.7.29

### 7.10 CALCULUL NECESARULUI DE ENERGIE ELECTRICA DE NATURA FOTOVOLTAICA PENTRU O CASA IZOLATA

Energia electrica fotovoltaica prezinta o optiune tehnica si economica interesanta pentru localitati izolate ce nu pot fi racordate la rețeaua de distributie centralizata, fiind raspunsul optim pentru diferite probleme.

In cazul in care necesarul pentru acoperire cu energie electrica nu este mare, sistemela fotovoltaice isi gasesc justificarea.

Performanta unei instalatii fotovoltaice este data de urmatoorii parametrii:

- randament global = energia electrica de origine fotovoltaica furnizata de instalatie intr-o perioada raportata la radiatia masurata cu un piranometru in planul modulelor pentru aceeași perioada si la o suprafata echivalenta cu suma suprafatelor a tuturor modulelor.

- factor de randament - energia medie fotovoltaica furnizata zilnic in sarcina raportata la puterea de vîrf a generatorului

- randament specific: energia medie fotovoltaica furnizata

zilnic in sarcina raportata la un metru patrat de captator

- suprafata specifica: suprafata captatorului corespunzatoare unei energii medii fotovoltaice furnizate zilnic in sarcina de 1 kWh.

Trebuie mentionat ca acesti parametri sint intr-o dependenta de energiile transferate in sarcina, deci de consum. De exemplu, randamentul global al unei instalatii analizate este de ordinul 5% si poate fi superior daca aceasta instalatie este utilizata rational.

Pentru evaluarea sistemelor fotovoltaice trebuie considerati patru parametri:

- performantele tehnice
- factorul economic
- factorul de interactiune cu mediul inconjurator
- factorul social referitor la comportamentul utilizatorului

In calculul necesarului de energie fotovoltaica pentru o casa izolata am pornit de la proiectarea propriu-zisa utilizind echipament fotovoltaic deja existent pe piata mondiala [13].

Majoritatea echipamentului utilizat functioneaza in 12 V sau 24 V curent continuu.

Illuminatul: este asigurat de tuburi fluorescente 24 V de randament ridicat, rezistente la variatii de temperatura si anume:

- tuburi fluo 8 W (corespunzatoare becurilor de 60 W) la intrare in hol, coridor, toaleta
- tuburi fluo 13 W (corespunzatoare becurilor de 80 W) in bucatarie, camera, garaj
- tuburi fluo 18 W (corespunzatoare becurilor de 100 W) in sufragerie

Refrigerare, congelare: in perioada calda din decursul anului pentru pastrarea alimentelor se utilizeaza congelatoare sau refrigeratoare solare de 140 l/24 V.

Radio - televiziune: echipamentul functionind in general la tensiuni de 12 V curent continuu, se utilizeaza convertizoare de 24 V/12 V de randament ridicat.

Instalatii de forta: se utilizeaza aparataj in curent continuu 24 V sau 12 V, in cazuri deosebite se pot folosi invertoare pentru a obtine curent alternativ.

Modulele solare propuse a fi utilizate sint de tip policristalin marca PHOTOWATT PWP 402 de 40 W<sub>virf</sub>.

Reglajul automat se realizeaza pentru a asigura o fiabilitate maxima:

- un regulator de sarcina, evita supraincarea bateriei de acumuloare avind posibilitatea asigurarii temporare a unei incarcari de egalizare

- un lumnator de descarcare, evita descarcarea completa a bateriei de acumuloare

- protectia sistemului contra supratensiunilor este asigurata de instalatii electronice

Stocarea energiei electrice este asigurata de o baterie de acumuloare

Cablajul instalatiei electrice este realizat pentru tensiuni nominale de 24 V pentru a limita pierderile de tensiune in cazul in care se realizeaza instalatii si pentru tensiuni de 12 V.

In hol, la intrare, garaj se vor monta intrerupatoare cu temporizare pentru a reduce risipa de energie.

Din datele anterioare, fiind propus un modul fotovoltaic PHOTOWATT PWP 402 de 40 W<sub>virf</sub> se obtine:

$$n_m = \frac{P_i}{P_m} = \frac{473}{40} \cong 11,6 \approx 12$$

$n_m$  - numarul modulelor

$P_i$  - putere instalata [W]

$P_m$  - putere/modul [W]

Puterea instalata si consumul zilnic

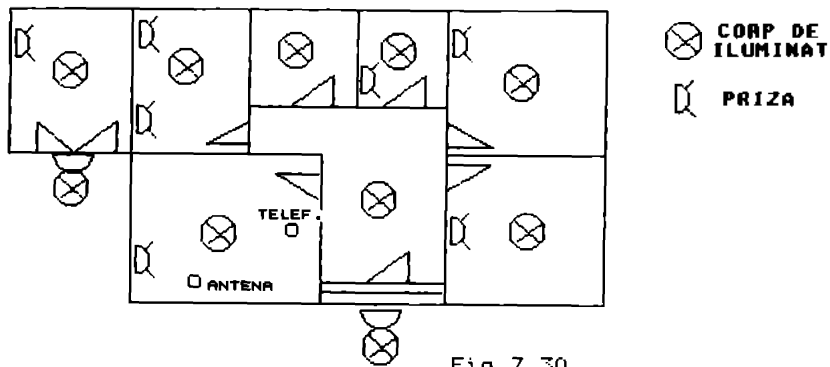
TABELUL 2

	P <sub>i</sub> putere in- stalata [W]	Durata medie zilnica (h)		Consumul zilnic (Wh)	
		vara	iarna	vara	iarna
iluminat	123	2	4	246	492
radio - telefon	30	0,5	0,5	15	15
TV	40	2	4	80	160
frigider	80	5	-	400	-
aparataj	200	0,5	0,5	100	100
total	473			841	767

Numarul modulelor obtinut prin calcul este 12.

Pentru a evita o pana completa in caz de avarie datorita faptului ca in locuri izolate o interventie este mai dificila propunem divizarea generatoarelor fotovoltaice in subansambluri de

- 2 sau 3 module de cite  $40 W_{Vinf}$
- 1 regulator
- 2 sau 3 acumuloare corespunzatoare



## CONCLUZII

In final din studiul si cercetarile efectuate in elaborarea tezei referitoare la posibilitatile acoperirii cu energie solara a necesitatilor unei localitati atat in ceea ce priveste caldura cit si energia electrica in aplicatiile casnice, concluziile noastre sint:

- o cantitate importanta de energie termica poate fi obtinuta prin metoda de termoconversie si stocaj termic de scurta si medie durata in bazine cu piatra, cit si prin utilizarea planseurilor radiante si a peretelui Tromb-Michel asigurindu-se in acest fel climatizarea locuintelor si imbunatatirea confortului termic mai ales in perioadele de trecere primavara si toamna.

- energia electrica de natura fotovoltaica din aspectul confortului superior asigurat cit si din aspectul realizarii tehnologice pe plan mondial, devenind competitiva in anume conditii cu electricitatea provenita din alte surse se impune, investitia fiind justificata pentru localitati mici, izolate, pentru case de vacanta, refugii in munti, casute de week-end, casute din vii adica acolo unde aceasta investitie este mai mica decit investitia necesara construirii unei linii electrice de joasa sau inalta tensiune cu punctul de transformare necesar.

- pe baza experientei dobindite in cadrul cercetarilor pentru asigurarea independentei in alimentarea cu energie solara a unei localitati propunem o solutie a instalatiilor mici pentru case familiale unde se poate asigura un randament inalt prin utilizarea echipamentelor de inalta fiabilitate si prin asigurarea unei bune exploatare si intretinere.

## INTRODUCERE

In introducerea s-a facut prezentarea citorva aspecte generale referitoare la necesitatea utilizarii energiei solare in aplicatii practice, respectiv la posibilitatile de acoperire cu energie solara a necesitatilor unei localitati - atat in ceea ce priveste utilizarea caldurii cit si a energiei electrice de natura fotovoltaica in aplicatiile casnice.

## CAPITOLUL 2

In capitolul 2 s-a facut prezentarea surselor energetice, evolutia situatiei energetice mondiale si prognoza dezvoltarii energeticii pe plan mondial.

Dupa gradul de integrare a surselor energetice in satisfacerea nevoilor economice acestea se pot clasifica in:

- a) surse conventionale "clasice"
- b) surse neconventionale cu o participare mai modesta in balanta energetica deocamdata
- c) alte surse aflate in faza de incercari de laborator si in statii pilot bazate pe tehnologii fizice si chimice noi, unele foarte promitatoare

Prognoza dezvoltarii energeticii la nivel mondial prezentata la Sesiunea WEC (World Energy Conference) in anul 1980 se caracterizeaza prin datele din tab.1.

Prognoza dezvoltarii energeticii TABELUL 1

tipul combustibilului si energiei	participare [%]				
	1800	1900	2000	2100	2250
combustibil vegetal	84,4	40	2,0		
carbune lignit	5,5	56	20,0	7,0	1,0
titei si gaze naturale	-	3	56,5(48)	1,0	
energie nucleara	-	-	16,5(25)	36,0	4,0
energie hidro, resurse noi si recuperabile, tehnologii noi	10,1	0,8	5,0	56,0	95,0
total			100		

## CAPITOLUL 3

In capitolul 3 am tratat problema energiei solare din punct de vedere al fenomenelor fizice si al legilor implicate tinind seama de aspectul corpuscular si ondulator al cimpului electromagnetic, am prezentat compozitia atmosferei, interactia radiatiilor solare cu atmosfera terestra si notiuni de energie incidenta, putere incidenta si intensitate spectrala a radiatiei, notiuni de baza in studiul experimental al energiei solare.

Intrucit in lucrare este analizata termoconversia energiei solare, am prezentat fenomene fizice si legi de baza cu privire la transferul de caldura intre elementele din instalatii implicate in acest proces.

## CAPITOLUL 4

In acest capitol am prezentat o sistematizare a metodelor de stocare a energiei solare.

In instalatiile de conversie a energiei solare se utilizeaza mai ales sisteme de stocare termica. Stocarea termica se realizeaza:

- direct, sub forma de caldura sensibila sau caldura latentă
- indirect, prin intermediul stocării chimice (termochimice, fotochimice, electrochimice)

Stocarea energiei termice este un proces fizic sau chimic care se desfasoara intr-un acumulator in timpul operatiilor de incarcare si descarcare.

Sistemul de stocare termica este definit de:

- modul de obtinere a energiei necesare incarcării acumulatorului
- modul in care energia extrasa din acumulator este convertita in forma de energie ceruta de consumator.

In lucrare am prezentat detaliat ecuatiile de baza, parametrii caracteristici ai sistemului de stocaj in piatra, analiza teoretica fiind necesara in vederea interpretării rezultatelor experimentale.



## CAPITOLUL 5

În vederea stabilirii posibilităților de climatizare a locuințelor prin stocajul de scurtă și medie durată a energiei solare pe paralela  $45^{\circ}\text{N}$  în Europa, ne-am propus evaluarea disponibilităților de energie solară în România și Iugoslavia pe baza măsurătorilor efectuate în laboratoarele catedrei de fizică de la UTT cit și pe baza unor date de la stațiile meteorologice din Timișoara, Belgrad și Virset. În teza am sintetizat pe baza măsurătorilor efectuate, variația intensității radiației solare zilnice pentru lunile mai-septembrie 1985 și 1988 cit și media zilnică a intensității pentru lunile respective.

Din analiza datelor pentru cei doi ani în care a fost urmărită variația intensității radiației solare zilnice în plan orizontal în perioada mai-septembrie cit și din media zilnică a intensității pentru lunile respective se constată:

- intensitatea radiației solare este maximă în luna iulie anul 1988, fiind  $830 \text{ W/m}^2$  și minimă în luna septembrie, anul 1985 fiind  $520 \text{ W/m}^2$ .

- alura curbelor este cea așteptată cu excepția lunii iulie 1985 când se constată o deplasare a valorii maxime între 13-14 h

În continuare în teza am făcut o analiză a unei case familiale cu etaj având suprafața utilă de  $160 \text{ m}^2$  din zona Belgradului pe care am definit-o prin noțiunea de "obiect energetic". Analiza am făcut-o pornind de la condițiile:

1) sistemele de încălzire în zona Belgradului se proiectează astfel ca temperatura interioară  $T_{\text{int}}$  să poată fi menținută la  $22^{\circ}\text{C}$  la o temperatură exterioară  $T_{\text{ext}} = -16^{\circ}\text{C}$ . În acest caz conform calculului, în decursul a 24 ore casa ar cheltui  $Q_{\text{tc}} = 336 \text{ kWh}$ .

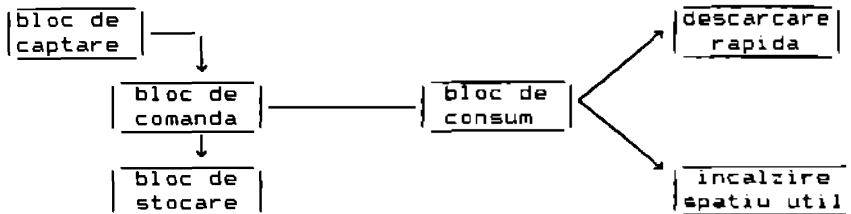
2) pentru luna ianuarie când temperatura medie zilnică la Belgrad este  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , energia termică pierdută de casa în luna ianuarie  $Q_{\text{p(ian)}} = 5051 \text{ kWh}$ .

Făcând calculele pentru întregul sezon rece din luna octombrie pînă în luna martie, rezultă energia totală necesară pentru încălzire  $Q_{\text{ts}} = 22.781 \text{ kWh}$ . În cazul cel mai nefavorabil, pentru luna ianuarie se constată că suprafața captatoarelor solare necesară pentru realizarea încălzirii casei este  $S = 60 \text{ m}^2$ .

## CAPITOLUL 6

In acest capitol am prezentat baza experimentală pentru studiul stocajului de scurtă și medie durată a căldurii obținută prin termoconversia energiei solare, baza unică în România realizată în cadrul catedrei de fizică a UTT.

Baza experimentală a fost studiată și realizată pe blocuri independente conform schemei bloc din fig.3



In lucrare se prezintă dimensionarea laboratorului utilizat, plecând de la:

- blocul de captare: energia anuală captată  $E = 4.563$  [Gcal/an]
- blocul de stocare în piatră: energia stocată în piatră  
 $E = 0,11$  Gcal/ciclu =  $0,462 \cdot 10^9$  [J/ciclu]
- blocul de disipare (consum):
  - coeficientul mediu de pierdere termică calculat  
 $K_{med} = 0,58$  [Kcal/m<sup>2</sup>h°C]
  - căldura pierdută (totală)  $Q = 566,5$  [Kcal/h]
  - energia medie lunară, cu  $\eta = 0,8$   $E_1 = 0,51$  [Gcal/lună]
  - posibilitățile de acoperire a necesarului de energie ale încălții cu  $\eta = 0,75$   $n_p = 0,16$  luni sau cca. 5 zile
  - numărul de cicluri anuale de încărcare a acumulatorului  
 $n_{cp} = 30$  [cicluri/an]

In intervalul 1987-1991 în cadrul catedrei de fizică am efectuat măsurători asupra intensității radiației solare, a comportării blocului de captare prin măsurarea debitului de apă și a temperaturii în punctele stabilite. În baza măsurătorilor am putut evalua

- puterea incidentă pe captator
- căldura furnizată de captator
- căldura preluată de aer în schimbător
- căldura acumulată în stația de stocaj
- căldura furnizată stației de disipare

Studiul regimului de incarcare-stocare-descarcare a fost efectuat in mai multe variante. Astfel am efectuat cicluri de incarcare-stocare-descarcare de cîte o zi, de cîte sapte si respectiv zece zile pentru a verifica comportarea BS in timp.

Din analiza datelor experimentale conform masuratorilor efectuate in luna septembrie se constata ca exista posibilitate de stocare a caldurii. Astfel in doua din zilele studiate, caldura acumulata in bazinul de stocare a fost  $Q_j = 202,3$  MJ, temperatura in bazinul de stocare a crescut cu  $13$  °C, iar randamentul termoconversiei a fost  $\eta = 0,33$ .

Pentru studiul regimului alternativ de incarcare termica si de asteptare a BS cu ciclul (7+10) zile am efectuat masuratori in perioada august-noiembrie 1991. Am masurat si calculat:

- intensitatea radiatiei solare in plan orizontal cu solarimetrul "Solaris 2"
- energia corespunzatoare captata
- temperatura medie a aerului suflat in bazin prin schimbatorul de caldura
- variatia medie zilnica a temperaturii aerului din bazin
- energia acumulata (+) respectiv energia extrasa (-) pentru consum

Pe baza consideratiilor de mai sus prezentam concluziile citorva cicluri efectuate in regim de incarcare:

- energia solara captata maxima a fost de ordinul a 40 [kWh/zi]
- energia solara acumulata maxima: 30 [kWh/zi]
- energia solara pierduta maxima: 13 [kWh/zi]
- temperatura medie zilnica a inregistrat o crestere de la  $24$  °C in prima zi la  $56$  °C la sfirsitul primului interval cind aceasta a avut valoare maxima
- variatia temperaturii medii in BS: (0,5 - 6,3) [°C/zi]
- randamentul de acumulare variaza in limite largi si relativ aleatorii, depinzind esential de conditiile meteorologice, avind valoarea  $\eta = 0,27 \pm 0,74$

In regim de stocare fara extragere de caldura am obtinut valori din care redam cîteva rezultate:

- energia solara pierduta zilnic: (0,860 - 7,55) [kWh/zi]
- temperatura medie zilnica a aerului din BS: (22,04 - 59,57) °C

In regim de consum, din valorile obtinute mentionam citeva rezultate:

- energia extrasa pentru consum: (2,20 - 8,0) [kWh/zi]
- energia pierduta: (2,60 - 5,26) [kWh/zi]
- temperatura medie zilnica a aerului din BS a inregistrat o descrestere cuprinsa intre valorile 48,34 [°C] si 27,96 [°C]
- ecartul de temperatura: (8,38 - 9,92) [°C/ciclu]

In ceea ce priveste eficienta climatizarii si bilantul energetic al ciclului de incarcare-descarcare am constatat:

- pe parcursul celor doua nopti din luna septembrie prezentate, piatra a cedat 101 MJ din care 68 MJ a fost utilizata in incinta de disipare restul de 33 MJ fiind pierduta prin procesul de transport
- din cantitatea de caldura acumulata 202,3 MJ poate fi extrasa cantitatea de 135,5 MJ. Rata medie de livrare a caldurii este 34 MJ pentru fiecare interval de 12 ore. Deci caldura extrasa poate acoperi un numar de 4 intervale a 12 ore.
- randamentul global al instalatiei pentru studiul stocarii de scurta si medie durata este  $\eta = 0,16$
- randamentul pina la intrarea in bazin este  $\eta = 0,32$
- randamentul de stocare-restituire a caldurii de catre piatra spre camera de disipare este  $\eta_s = 0,5$

Pentru a cunoaste in profunzime rolul bazinului de stocare in cadrul unei instalatii de captare-conversie-stocare-utilizare a energiei solare am facut o analiza a influentei dimensiunilor acestuia asupra caracteristicilor de stocare.

Deoarece caldura stocata depinde de cantitatea de material adica de volumul bazinului iar pierderile depind de suprafata totala a acestuia, am ajuns la constatarea ca la dimensiuni mai mari decit  $6 \times 6 \times 6$  m raportul suprafata/volum (S/V) devine sub-unitar, ceea ce este foarte convenabil.

In cazul nostru, bazinul experimental de stocare a fost realizat pentru a asigura incalzirea unei singure camere asa ca acesta nu se situeaza la cele mai bune performante, raportul S/V fiind apropiat de valoarea 2 ceea ce exprima valorile relativ reduse ale randamentului total.

Dupa experienta noastra in urma studiului efectuat subliniem ca metoda de stocare in piatra a caldurii obtinuta prin termoconversia energiei solare poate fi utilizata pentru durate scurte sau medii, de la o zi la cel mult doua saptamini, in conditiile meteorologice ale Europei pe paralela  $45^{\circ}$ N (RO si YU).  
! Tinind cont de investitii, in cazul constructiilor noi, metoda de stocare in piatra a caldurii merita luata in considerare in investitia totala.

La o capacitate a bazinului suficient de mare in dependenta de valoarea raportului S/V, la valori subunitare al acestuia, izolatia bazinului practic nu mai este necesara, putindu-se folosi in acest fel pietre de riu intr-o cuva ieftina din beton de felul celor care se afla ca fundatie la casele familiale.

Investitia initiala a unei case fiind majorata datorita costului instalatiei de captare si stocare a energiei solare cit si datorita costului izolatiei termice, poate fi recuperata prin diminuarea costului incalzirii intr-o perioada de maxim 10 ani, stiut fiind ca o casa este construita pentru a fi folosita intre 50-100 de ani.

Tot din cercetarile efectuate, tinind seama de temperaturile de lucru ale agentului termic rezulta necesitatea utilizarii planseurilor radiante sau a gurilor de aer cald distribuite pe linga pereti, inchise si deschise dupa necesitati.

In ceea ce priveste folosirea peretelui Trombe-Michel, pentru ameliorarea incalzirii unei case, studiul efectuat in cadrul Catedrei de fizica, arata necesitatea inchiderii cu sticla a balcoanelor si logiilor precum si majorarea grosimii zidurilor pentru a fi folosite ca si acumulator cu cedare intirziata de caldura, la timpul potrivit.

Din studiul experimental efectuat, conchidem ca pe paralela  $45^{\circ}$ N metoda de stocare termica in bazin cu piatra poate asigura incalzirea incaperilor in perioadele de trecere toamna si primavara si partial iarna. Este evidenta necesitatea unei incalziri suplimentare in perioadele cu cer acoperit, sau foarte reci utilizand energie electrica la tarif redus in sobe cu acumulare de caldura, cu gaz metan sau cu sisteme clasice.

In concluzie, apreciem ca metoda de stocare termica in bazin cu piatra, este convenabila pentru a fi utilizata in cadrul caselor de tip familial si mai ales in cazul in care investitia initiala poate fi majorata cu costul instalatiei solare, pentru a se imbunatati confortul termic intr-o casa familiala.

## CAPITOLUL 7

In acest capitol am facut o prezentare referitoare la situatia pe plan mondial in conversia fotovoltaica analizand:

- materiale fotovoltaice utilizate
- structuri fotovoltaice
- modelul fizic al jonctiunii p-n
- ecuatii de baza pentru determinarea parametrilor caracteristici unei celule fotovoltaice:
  - curentul de scurtcircuit
  - tensiunea de mers in gol
  - factorul de forma
  - randamentul energetic
  - caracteristica de putere
- stocarea energiei electrice de natura fotovoltaica
- o metoda de calcul a costului pentru un kWh fotovoltaic, costul actual si de prognoza a anilor 2000 pentru o instalatie fotovoltaica autonoma

In cadrul catedrei de fizica a UTT, in perioada 1987-1991, partial pe tot parcursul anului am efectuat masuratori asupra intensitatii radiatiei solare cu solarimetrul : "Solaris 2" cit si studiul experimental al unui panou solar romanesc pentru determinarea parametrilor teoretici.

Am efectuat masuratori in conditii naturale cu posibilitatea de orientare a panoului in raport cu pozitia Soarelui pe bolta. Au fost efectuate masuratori in plan orizontal, in plan vertical, cit si in plan ce realizeaza normalitatea razelor la suprafata Pamintului.

Cu datele obtinute prin masuratori am calculat si am reprezentat grafic:

- caracteristica  $I = f(V)$
- caracteristica puterii electrice in functie de rezistenta
- caracteristica rezistentei optime in functie de intensitate
- randamentul panoului solar
- caracteristica intensitatii radiatiei solare pentru anumite zile si luni, media lunara pentru anumite luni in functie de ora
- caracteristica de putere in functie de rezistenta pentru anumite zile si luni, puterea medie pentru anumite luni
- caracteristica de putere medie in functie de ora pentru anumite perioade, la diferite rezistente de sarcina
- caracteristica de putere in functie de ora pentru anumite zile din fiecare saptamina a catorva luni.

Din analiza efectuata si tinind cont de echipamentul fotovoltaic deja existent pe plan mondial am efectuat calculul necesarului de energie electrica de natura fotovoltaica pentru o casa izolata, autonoma (tab.1)

PUTEREA INSTALATA SI CONSUMUL ZILNIC

TABELUL 1

	P <sub>instalata</sub> putere	Durata medie zilnica, h		Consumul zilnic (Wh)	
		vara	iarna	vara	iarna
iluminat	123 W	2	4	246	492
radio-telefon	30 W	0,5	0,5	15	15
TV	40 W	2	4	80	160
frigider	80 W	5	-	400	-
aparataj	200 W	0,5	0,5	100	100
	473 W			841	767

Din datele anterioare, am calculat numarul de module fotovoltaice necesare, utilizind un modul PHOTOWATT PWP 402 de 40 W<sub>virf</sub>. Am obtinut un numar de 12 module necesare.

Tinind cont de situatia energetica pe plan mondial, de realizarile tehnologice actuale, de confortul asigurat, de calculele tehnico-economice cit si de calculele de prognoza referitoare la necesitatea utilizarii si costul energiei electrice fotovoltaice, concluzia noastra este:

- valoarea investitiei pentru generatoare fotovoltaice autonome (sub 10 % din costul unei case izolate) incepe sa fie competitiva cu valoarea investitiilor pentru alte surse energetice astfel ca asteptam in anii urmatiori o penetrare mai puternica pe piata mondiala a energiei electrice de natura fotovoltaica mai ales in locurile cu un numar mare de ore de insolare in decursul anului, cit si in tarile dezvoltate economic pentru care, dealtfel, au fost facute majoritatea analizelor.



## BIBLIOGRAFIE

- [1] C.DE SABATA, M.BORNEAS,B.ROTHENSTEIN, A.MUNTEANU: "Bazele fizice ale conversiei energiei solare "Editura Facla, Timisoara 1982
- [2] ROGER BERNARD,GILBERT MENGUY, MARCEL SCHWARTZ: Le rayonnement solaire.Conversion Thermique et applications; Paris 1983
- [3] A.LAUGIER,J.A.ROGER Les photopiles solaires, Technique et documentation, Paris 1981
- [4] AL.DANESCU, S.BUCURENCIU, ST.PETRESCU. Utilizarea energiei solare. Ed.tehnica, Bucuresti 1980
- [5] IEA International Conference, Technology responses to global environmental challanges, 6th - 8th November, 1991, Kyoto Japan
- [6] M.ILINA, C.BRANDRABUR, N.DANCEA: Energii neconventionale utilizate in instalatiile din constructii Ed.tehnica Bucuresti 1987
- [7] C.DE.SABATA Fizica solidului IPT 1980
- [8] BRANKO LALOVIDI: Nasusno sunce, Nolit Beograd 1982
- [9] C.DE SABATA, V.MAIOGAN Asupra posibilitatii de climatizare a locuintelor in sezoanele de trecere folosind energia termosolara stocata in bazine cu piatra,AIIR,Timisoara, aprilie 1992
- [10] V.MAIOGAN: Asupra rentabilitatii de utilizare a instalatiilor fotovoltaice in cazul cladirilor izolate,AIIR, Timisoara, aprilie 1992
- [11] C.DE SABATA, V.MAIOGAN, I.LUMINOSU: Studiul experimental a unui sistem de stocare utilizind piatra, pe paralela 45 °N in Romania, Lucrarea trimisa la cel de-al doilea Congres Mondial al Energiilor Renuverabile,septembrie 1992 Universitatea Reading Anglia
- [12] V.MAIOGAN:Studiul stocarii caldurii obtinuta prin termoconversia energiei solare in bazinul cu piatra, Referat de doctorat UTT 1989
- [13] V.MAIOGAN:Conversia fotovoltaica a energiei solare, Referat de doctorat UTT 1990

- [14] Commission of the European Communities: Photovoltaic Power Generation, Participating Contractors, edited by G.Caratti and R.A.W.Shock, Brussels 1989
- [15] Commission des communantes europeennes: L'electrification photovoltaique de 35 refuges alpins en France, Projets de demonstration,Coordination:L.Lefebvre Rhonalpenergie, Bruxelles, Luxembourg, 1989
- [16] THERESE FOURNIER: Le solaire a votre portee, Total,Nathan, La Nouvelle Librairie, 1985
- [17] G.MENGUY: Exposition solaire, ALEDES, Lyon 1986
- [18] S.NAU, I.MUNTEANU, GH.BALUTA: Dispozitive fotonice cu semi-conductori, Editura Tehnica, Bucuresti 1986
- [19] EMIL LUCA: Elemente de fizica moderna Editura Junimea Iasi 1974
- [20] VLADIMIR FARA, ANTOINE DINULESCU, RADU GRIGORESCU: Stocarea termica a energiei solare, Editura CERES Bucuresti 1991
- [21] V.NITU Energetica Generala si Conversia Energiei EDP 1980
- [22] TRAIAN CRETU: Fizica generala, Ed.Tehnica Bucuresti 1984
- [23] GH.SEMENESCU, S.RIPEANU, T.MAGDA: Fizica atomica si nucleara Editura Tehnica, Bucuresti 1976
- [24] N.LUPEI: Zestrea energetica a lumii, Editura Albatros Cluj Napoca 1986
- [25] I.MOLDOVAN: Tehnologia resurselor energetice, Ed.Tehnica Bucuresti, 1986
- [26] M.MALITA: Prezentul si viitorul energiei solare, Editura Academiei RSR Bucuresti 1982
- [27] Noi dimensiuni ale revolutiei stiintifice si tehnice, Editura stiintifica si enciclopedica, Bucuresti 1988
- [28] ENERGI, vol.I Editura Tehnica, Bucuresti 1986
- [29] ENERGI, vol IX, Editura Tehnica Bucuresti 1990
- [30] D.D.SANDU: Electronica fizica, Editura Academiei RSR 1983
- [31] V.IDANID: Urbanism si energie, Ed.Tehnica Bucuresti 1985
- [32] M.BABESCU: Conversia energiei, UTT 1991
- [33] N.DANCEA: Termotehnica si aparate termice, IPT 1983
- [34] STAS 1907-82
- [35] C.DE SABATA: Studiul comportarii unei incaperi cu pierderi termice minime, Ashbad 15-21 septembrie 1986

- [36] Lucrarile seminarului de matematica si fizica, IPT, mai 1986
- [37] Lucrarile seminarului de matematica si fizica, IPT, noiembrie 1986
- [38] Lucrarile seminarului de matematica si fizica, IPT, ianuarie decembrie 1990
- [39] Das Solarzeitalter- Eurosolar - Journal fur okologische Politik, Villingen, 1990, 1991
- [40] W.D.METZ, A.L.HAMMOND: Am.Ass. for the Adv. of Science, 1979
- [41] M.P.THEKAEKARA: "Data on incident radiation" Supplement to Proc. 20 Th Annual Meeting of Instr. for Environmental Sci., 21, 1974
- [42] J.A.DUFFIE, W.A.BECKMANN: "Solar Energy Thermal Processes", Willea Interscience Publication, John Wiley and Sone, New York, 1980
- [43] \*\*\* Handbook of Chemistry and Physics, Chemical Rubber, Ohio, 1971
- [44] C.DE SABATA, C.MARCU: Curs de fizica IPT 1975
- [45] C.DE SABATA, I.LUMINOSU: "Analiza contributiei efectului de sera simplu si dublu la optimizarea functionarii unui insolator plan" Bul.St.si Tehn.,IPT, vol.24, nr.1, 1978
- [46] K.REINHARD: "A high performance solar energy collector", Congres de energie solara, New Delhi, India, abstr.1117, 1979
- [47] C.DE SABATA, C.MARCU, I.MIHALCA, I.LUMINOSU: "Studiul absorbtiei radiatiei infrarosii de catre unele materiale utilizate in captarea energiei solare" Bul.St.si Tehn. IPT, vol.24 nr.1 1978
- [48] B.WRIGHT, J.J.MASON : "Field performance of certain selective an neutral surfaces in solar collectors", Congres de energie solara, New Delhi, India, 1979
- [49] C.DE SABATA, A.MUNTEANU, C.MARCU, I.LUMINOSU: "Cercetari de laborator in vederea maririi randamentului optic a insola toarelor plane". Bul.St si Tehn. IFT, vol24, nr.1, 1978
- [50] Systemes solaires, revue internationale d'information sur les energies renouvelables, Paris 1989

- [51] CH.CARDONEL: Solaire actif et passif, Les editions Parisiennes, 1983
- [51] Solar Engineering, The american society of mechanical engineers USA 1985
- [52] Solar Engineering: The american society of mechanical engineers, USA 1986
- [53] T.CABRIOL, D.ROUX: "Chauffage de l'habitat et energie solaire" Edisod 1984
- [54] R.DUMON "Energie solaire et stockage d'energie", Paris, 1978
- [55] BERNARD CHABOT Economie de l'electricite photovoltaique, Aloushta (URSS) 22-26 avril 1991
- [56] J.M. CHASSERIAUX "Conversion thermique du rayonnement solaire", Dunod, Paris, 1984
- [57] DICKINSON W.C. et Cheremisinoff P.N.Ed. "Solar Energy Technology Handbook", New York, 1980
- [58] KREITH K. et KREIDER J., "Principles of Solar Engineering". McGraw-Hill, New York, 1978
- [59] MEINEL A.B. et MEINEL M.P. "Applied solar energy: an introduction", Addison-Wesley, Reading Massachusetts, 1976
- [60] SFEIR A.A et GUARACINO G., "Ingenierie des systemes solaires", Technique et documentation, Paris, 1980
- [61] HOTTEL H.C. et SAROFIM A.F. "Radiation Transfer", McGraw-Hill, New York, 1967
- [62] SACADURA et al. "Initiation aux transferts thermiques", Technique et Documentation, Paris, 1978
- [63] FOULADGAR D., "Contribution a l'analyse et a la modelisation temporelle du rayonnement solaire direct", These 3<sup>e</sup> cycle Universite Paul Sabatier Toulouse, 19 mai 1980
- [64] PERRIN de BRICHAMBAULT C. et LAMBLEY G. "Le rayonnement solaire et ses mesures", Cahier de l'AFEDES nr 2, Thermique et Industrie, Paris, 1974
- [65] ADOOT J., BOURGES B., CAMPANA D. et GIGQUEL R. "Utilisation de courbes de frequences cumulees pour le calcul d'installations solaires", dans "Analyse statistique des processus meteorologiques appliquee a l'energie solaire" CNRS, Paris, 1979

- [66] COLLARES-PEREIRA M. et RABL A., "The average distribution of solar radiation. Correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values", Solar Energy, 22, 155, 1979
- [67] HOTTEL H.C. "A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres", Solar Energy, 18, 129, 1976
- [68] LIU B. et JORDAN R.C. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation", Solar Energy, 4, 1-19, 1960
- [69] LOF G.O.G. DUFFIE J.A. et SMITH C.O. "World distribution of solar radiation", Engineering Experiment Station Report nr 21, University of Wisconsin, Madison, 1966
- [70] PAGE J.K. "The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N - 40°S", Proceedings of the UN Conference on new sources of energy, 4, 378, 1964
- [71] WHILLIER A. "The determination of hourly values of total radiation from daily summations", Arch. Met. Geoph. Biokl. serie B, 7, 197, 1956
- [72] DEVIN B., "Analyse physique et experimental des capteurs plans en regime statique", Energie Solaire: Conversion et applications CNRS, Paris, 1978
- [73] MEINEL A.B et MEINELL M.P. "Applied solar energy", Addison-Wesley Pub. co., Reading, 1972
- [74] RABL A., GOODMAN N.B., WINSTON R., "Practical design considerations for CPC solar collectors", Solar Energy, 22, 373, 1979
- [75] VANT-HULL L.L., HILDEBRANDT A.F. "Solar thermal power systems based on optical transmission", Solar Energy, 18, 31-39, 1976
- [76] TANASESCU F.T. si colectiv "Conversia energiei. Tehnici neconventionale" Ed. Tehn. 1986
- [77] BITA O "Unele aspecte ale influentei parametrilor meteorologice asupra eficientei instalatiilor solare", in: Energetica, 1980, nr.9

- [78] BITA O. "Rezultate privind performantele captatoare solare pentru incalzit apa", in:Instalatii in constructii, 1982, nr.1
- [79] CIMPOCA V., BICA G. "High efficiency silicon solar cell design and experimental results.International Conference Photovoltaic and Optoelectronic Processes, 4-7 iulie 1984, Bucuresti
- [80] FARA V. s.a "Conversia energiei solare in energie termica" Ed.Stiintifica si Enciclopedica, Bucuresti 1982
- [81] MORARIU D., POPESCU CR. "Generatoare solare", Ed.Stiint. si Enciclopedica, Bucuresti 1978
- [82] MORARU D. "Conversia directa a energiei solare in energie electrica. Studiu si perspective" Primul Simpozion National de Conversie a Energiei Solare, Iasi 18-20 oct. 1980, p.7
- [83] TANASESCU FL.T. "Conversia energiei si impactul sau asupra tehnicii" Electrotehnica, nr.8, p.277, 1978
- [84] DORN W.S., Mc CRACKEN D.D "Metode numerice cu programe in FORTRAN IV, Ed.Tehn. Bucuresti 1976
- [85] DANCEA I. "Programarea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic si de cercetare stiintifica, Ed.Dacia, Cluj, 1973
- [86] ROSCULET ., BALEA P., MOLDOVEANU S. "Programarea si utilizarea masinilor de calcul si elemente de calcul numeric si informatica, Ed.Did. si Ped. Bucuresti 1980
- [87] DEMIDOVITCH B., MARON I. "Elements de calcul numerique", Ed. Mir, 1973
- [88] NICULESCU S. "Initiere in programarea structurata", Ed. Tehn. Bucuresti, 1978
- [89] CAZACU C., JUCAN T. "Programarea in limbajul FORTRAN", Ed.Junimea, Iasi 1978
- [90] SOCENEANTU A. si colectiv "Programarea si utilizarea calculatoarelor", Litografia IPTVT, 1980
- [91] A.SANDRU "Prezentarea sistemului de operare MS-DOS, Ed. Cristian Bucuresti 1990
- [92] MS-DOS User's Guide, Microsoft Corporation 1987
- [93] MS-DOS User's Reference, Microsoft Corporation 1987

- [94] Sistemul de operare DOS-PC, Cluj Napoca 1986
- [95] ChiWriter The scientific/Multifont Word Processor, Version 3.12 Horstmann Software Design Corporation 1986-1989
- [96] Stad.Plus, Heidelberg 1989
- [97] Dictionar de informatica, Ed.Stiint. si Rnciclop. 1981
- [98] L.NEGRESCU Introducere in limbajul "C" Colectia Glob,Cluj '91
- [99] Ghid de utilizare World Star, Ed. Romanian Software Comp. Cluj Napocaa 1991
- [100] Turbo Pascal 5.5 Ed.Romanian Software Comp. Cluj Napoca 1991
- [101] BARBAT S.,CRISTODULO "Ciculatele personale de tip IBM-PC utilizate sub MS-DOS Ed. CONSOFT-COMPUTER, Sibiu 1991
- [102] SVET KOMPJUTERA, Beograd 1990,1991,1992

## CUPRINS

INTRODUCERE	1
CAPITOLUL 2. SURSE ENERGETICE	5
2.1. Clasificari	5
2.2. Energii primare. Prognoze	14
CAPITOLUL 3 ENERGIA SOLARA. ASPECTE GENERALE. LEGI FIZICE SPECIFICE DOMENIULUI	19
3.1. Scurt istoric	19
3.2. Soarele ca furnizor de energie	21
3.2.1. Caracteristici fizico-geometrice	21
3.2.2. Reactii termonucleare de obtinere a energiei solare	23
3.3. Fenomene fizice de baza privind energia furnizata de Soare	25
3.3.1. Ecuatiile Maxwell ale cimpului electromagnetic	26
3.3.2. Aspecte cuantice	28
3.3.3. Radiatia termica	34
3.4. Compozitia atmosferei	38
3.5. Interactia radiatiilor solare cu atmosfera terestra	39
3.6. Bilantul energetic al sistemului Pamint - atmosfera	43
3.7. Energie incidenta. Putere incidenta	46
3.8. Transferul de caldura. Legi fundamentale	48
3.8.1. Transferul de caldura cu suport material	48
3.8.2. Transferul de caldura fara suport material	49
3.9. Determinarea intensitatii energiei solare receptionata de un captator plan	52
3.10. Conversia fototermica	54



CAPITOLUL 4	METODE DE STOCARE A ENERGIEI SOLARE. FENOMENE FIZICE DE BAZA	61
4.1.	Aspecte generale	61
4.2.	Stocarea energiei solare sub forma de caldura sensibila	63
4.3.	Stocarea energiei solare sub forma de caldura latentă	65
4.4.	Stocarea termochimica	66
4.5.	Stocarea fotochimica	67
4.6.	Stocarea electrochimica	67
4.7.	Stocarea caldurii solare in paturi de roci (piatra)	67
4.8.	Peretele Trombe-Michei (TM)	72
4.9.	Planseuri radiante	75
CAPITOLUL 5	ASUPRA POSIBILITATII DE CLIMATIZARE A LOCIN- TELOR PRIN STOCAREA DE SCURTA SI MEDIE DURATA A ENERGIEI SOLARE (Paralela 45° Romania si Iugoslavia)	77
5.1.	Introducere	77
5.2.	Disponibilitati de energie solara in Iugoslavia	77
5.3.	Casa, ca obiect energetic	83
5.4.	Bilantul energetic al unei case familiale	85
CAPITOLUL 6	BAZA EXPERIMENTALA FENTRU STUDIUL STOCARII DE SCURTA SI MEDIE DURATA A CALDURII OBTINUTE PRIN TERMOCONVERSIA ENERGIEI SOLARE	89
6.2.	Descrierea laboratorului experimental	90
6.3.	Dimensionarea laboratorului	97
6.4.	Analiza calitatilor termice ale camerei de disipare	98
6.5.	Experimentari in regim dinamic	100
6.5.1.	Calculul energiei incidente pe captator	100
6.5.2.	Studiul bazinului de stocare (BS)	106
6.5.3.	Regimul de functionare in bazinul de stocare	108
6.5.3.1.	Regim de incarcare si stocare diurn	109
6.5.3.2.	Regim de descarcare fortata si de asteptare diurn	111

6.5.3.3.	Regim alternativ de incarcare termica a BS si de asteptare cu ciclul (7+10) zile	112
6.5.3.4.	Analiza comparativa a stocajului fara extragere de caldura in lunile august, septembrie si noiembrie	118
6.5.3.5.	Studiul experimental al regimurilor de consum	120
6.6.	Eficienta climatizarii	123
6.7.	Bilantul energetic al ciclului incarcare - descarcare	124
CAPITOLUL 7 CONVERSIA FOTOVOLTAICA A ENERGIEI SOLARE SI PERSPECTIVELE APLICARII IN PRACTICA		127
7.1.	Aspecte teoretice	127
7.2.	Modelul fizic al jonctiunii p-n	129
7.2.1.	Schema echivalenta a unei celule solare	130
7.2.2.	Jonctiunea p-n la echilibru	131
7.2.3.	Caracteristica curent-tensiune in stare de intuneric	134
7.2.4.	Jonctiunea p-n dopata uniform	138
7.2.5.	Jonctiune p-n dopata neuniform	139
7.3.	Caracteristica de putere a unei celule fotovoltaice	140
7.3.1.	Influenta fluxului luminos asupra caracte- risticii de putere a unei celule foto- voltaice	142
7.3.2.	Influenta temperaturii asupra caracte- risticii de putere	143
7.4.	Acumulatori pentru stocajul energiei fotovoltaice	145
7.4.1.	Generator la tensiune constanta, la curent constant	147
7.4.2.	Gruparea celulelor elementare in serie	147
7.4.3.	Gruparea celulelor elementare in paralel	148
7.5.	Materiale fotovoltaice	149
7.6.	Celule solare cu siliciu	152
7.6.1.	Celule solare cu siliciu monocristalin	152
7.6.2.	Celule solare cu siliciu policristalin	153

7.6.3.	Celule solare cu siliciu amorf (a - Si)	154
7.6.4.	Celule solare cu heterojunctiuni	154
7.6.5.	Celule solare pentru radiatia solara concentrata	154
7.6.6.	Celule solare "MIS"	154
7.7.	Realizari pe plan mondial	155
7.8.	Studiul experimental	157
7.9.	Analiza tehnico - economica	168
7.10.	Calculul necesar de energie electrica de natura fotovoltaica pentru o casa izolata	171
CONCLUZII		175
REZUMAT		177
BIBLIOGRAFIE		187
CUPRINS		195
ANEXA		199

**ANEXA**

```

Program CALCULUL_ENERGIEI;
USES CRT;
CONST Ssud=10.08;Sev=8.4;Stav=10.8;DE_LA=7;PINA_LA=20;
CO='-----';
C1='!H;SOLARIS:TAVAN;PERETE SUD;PERETE EST-VEST;TOTAL!';
C2='!---!---!---!---!---!---!---!---!---!---!';
C3='!   !DIV !W/m*m;kJ !W/m*m;kJ !W/m*m;kJ!';
C4='! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !';
VAR
  I,J:INTEGER;
  Z,SOL:REAL;
  CH,HC:CHAR;
  NAVA:STRING[8];
  STR:STRING[96];
  CO:ARRAY [0..8,DE_LA..PINA_LA] OF REAL;
Procedure CONTUR(x1,y1,x2,y2:INTEGER);
  BEGIN
    FOR J:=y1 TO y2 DO FOR I:=x1 TO x2 DO IF(J=y1) OR (J=y2) THEN
      BEGIN
        GOTOXY(I,J);WRITE ('-');
      END;
    FOR J:=y1 TO y2 DO FOR I:=x1 TO x2 DO IF (I=x1) OR (I=x2)
      THEN BEGIN
        GOTOXY(I,J);WRITE('*');
      END;
    END;
  procedure SI(VALO:real;NC,PO:integer);
    BEGIN
      CLREOL;
    END;
  procedure PRIMANTA;
    BEGIN
      CLRSCR;WRITELN(CO);WRITELN(C1);WRITELN(C2);WRITELN(C3);
      WRITELN(C2);
      FOR I:=de_la TO pina_la DO
        BEGIN
          STR:=C4;SI(I,2,2); SI(CO[0,I],6,5); SI(CO[0,I]*12,8,12);
          SI(CO[3,I],6,21); SI(CO[3,I] * STAV *3.6,8,28);
          SI(CO[6,I],6,37);
          SI(CO[6,I] * 3.6,8,44);
          IF ROUND (CO[7,I]) <> 0 THEN SI(CO[7,I],6,53)
          ELSE SI(CO[8,I],6,53);
          IF ROUND (CO[7,I])<> 0 THEN SI(CO[7,I]*SEV *3.6,8,60)
          ELSE SI(CO[8,I]*SEV*3.6,8,60);SI(CO[3,I]+CO[6,I]+CO[7,I]+ CO[8,I],6,6
          SI(CO[3,I]*STAV+CO[6,I]*SSUD+(CO[7,I]+CO[8,I]*SEV)*3.6,8,76);
          WRITELN(STR);
          REPEAT
            UNTIL KEYPRESSED;
          END;
        END;
      procedure MENIU;
      BEGIN
        CLRSCR;
        WRITELN(' REZULTATE LA INDIGO -----> "P" ');WRITELN;
        WRITELN(' REZULTATE PE ECRAN -----> "E" ');WRITELN;
        WRITELN(' ABANDON PROGRAM -----> "Q" ');WRITELN;

```

```

CONTUR(1,17,45,23);
REPEAT
  GOTOXY(40,20);READ(HC);WRITE(CHAR(7));
  UNTIL HC IN['P','Q','E'];
  IF HC='E' THEN WRITE ('<-');
END;
procedure DATEIN ; | SE PREIAU DATELE INITIALE PRIN TASTATURA|
BEGIN
  CLRSCR;CONTUR(3,13,50,17);CONTUR(3,3,50,7); CONTUR( 3,8,50,12);
  FOR i:=DE_LA TO PINA_LA DO
  BEGIN
    GOTOXY(5,5);CLREOL;
    WRITE('INTRODUCETI AZIMUTUL PENTRU ORA ',I,'->');
    READLN(CO[1,I]);
    GOTOXY(5,10);CLREOL;
    WRITE('INTRODUCETI INALTIMEA PENTRU ORA',I,'->');
    READLN(CO[2,I]);
    GOTOXY(5,15);CLREOL;
    WRITE('DIVIZIUNI PE "SOLARIS" ->');
    READLN(CO[0,I]);
    WRITELN;
  END;
END;
procedure FUNCTIA; |EVALUAREA FUNCTIEI|
BEGIN
  FOR I:=de_la TO pina_la DO
  BEGIN
    Z:=SIN(CO[2,I] * PI/180);
  END;
END;
procedure CALCUL ;|calcule|
BEGIN
  FOR I:=de_la to pina_la DO
  BEGIN
    Z:=SIN(CO[2,I]*PI/180);CO[3,I]:=1080*EXP(1.22*LN(Z));
    CO[4,I]:=1230*EXP(-1/3.8*Z);CO[5,I]:=125*EXP(0.4*LN(Z));
    CO[6,I]:=CO[4,I]*COS(CO[2,I]*PI/180)*COS(CO[1,I]*PI/180);
    CO[7,I]:=CO[4,I]*COS(CO[2,I]*PI/180)*COS((CO[1,I]-90)*PI/180);
    CO[8,I]:=CO[4,I]*COS(CO[2,I]*PI/180)*COS((CO[1,I]+90)*PI/180);
    FOR J:=3 TO 8 DO IF CO[J,I] <0.1 THEN CO[J,I]:=0;
  END;
END;
procedure AFISARE; |AFISAREA REZULTATELOR|
BEGIN
  GOTOXY(10,10);
  WRITE('PENTRU CE ORA ?(','DE_LA','-','pina_la,')');
  CONTUR(6,6,60,14);GOTOXY(55,10);
  REPEAT
    READ (I);
  UNTIL (I>=DE_LA) AND (I<=PINA_LA);
  CLRSCR;
  WRITELN(' PENTRU ORA ',I);WRITELN('.....');
  WRITELN(' AZIMUT=',CO[1,I]:6:1,'9');
  WRITELN(' INALTIME=',CO[2,I]:6:1,'G');

```

```

WRITELN('=====');
WRITELN(' INTENSITATI . watt/m*m      kjoule/ora');
WRITELN('=====');
WRITELN('GLOBAL-ORTIZONTALA=');
IF CO[3,I]>0 THEN
WRITELN(CO[3,I]:10:1, ' -> TAVAN <-',CO[3,I]*STAV*3.6:10:1)
ELSE WRITELN(' perete umbrit ');
WRITELN('-----');
WRITE('DIRECT-NORMALA =');
IF CO[4,I]>0 THEN WRITELN(CO[4,I]:10:1)
ELSE WRITELN(' PERETE UMBRIT ');
WRITELN('-----');
WRITE('DIFUZA =');IF CO[5,I]>0 THEN WRITELN (CO[5,I]:10:1)
ELSE WRITELN(' PERETE UMBRIT ');
WRITELN('-----');
WRITE('VERTICAL_SUD =');
IF CO[6,I]>0 THEN
WRITELN(CO[6,I]:10:1, ' ->perete SUD <-',CO[6,I]*$sud *3.6:10:1)
ELSE WRITELN(' perete UMBRIT ');
WRITELN('-----');
WRITE('VERTICAL_EST = ');
IF CO[7,I]>0 THEN WRITELN(CO[7,I]:10:1, '->perete EST <-',CO[7,I]*SEV*3.6:10:1)
ELSE WRITELN ('PERETE UMBRIT ');
WRITELN('-----');
WRITELN('VERTICAL_VEST = '); IF CO[8,I]>0 THEN
WRITELN(CO[8,I]:10:1, ' -> perete VEST <-',CO[8,I]*SEV*3.6:10:1)
ELSE WRITELN ('PERETE UMBRIT');
WRITELN('=====');
REPEAT
UNTIL KEYPRESSED;
END;

{ *****PROGRAM PRINCIPAL***** }
BEGIN
DATEIN;
FUNCTIA;
CALCUL;
HC:='S';
WHILE HC <>'Q' DO
BEGIN
MENU;
IF HC='E' THEN AFISARE;
IF HC='P' THEN PRIMANTA;
END;
END.

```





```

0(46,61,11,'-');0(63,78,5,'-');0(29,44,19,'%');
0(2,27,6,'-');0(2,27,11,'-');0(29,44,12,'-');0(46,54,5,'-');
0(46,61,7,'-');0(46,61,15,'-');0(46,61,18,'-');
W(2,22,1,'X');W(2,22,28,'%');W(2,22,45,'%');W(2,22,62,'%');
W(2,22,79,'X');W(2,10,49,'%');W(2,10,51,'%');W(2,10,55,'%');
W(14,22,70,'%');W(12,22,49,'%');W(16,22,51,'%');
end;
PROCEDURE PAS;                                %BALEIAJ TASTATURA PINA SE APASA%
                                                %O TASTA%
begin repeat read(k,i,ch); until ch2chr(0);
end;
PROCEDURE LIPAN(k:byte);                       %CALCULEAZA NR.DE ZILE DIN LUWA K%
begin case k of                                %Y1=1 IN ANI BISECTI, IN REST Y1=0%
    2:nz:=20+y1;
    1,3..12:nz:=trunc(30.5-0.5*cos(PI*(k+trunc(k/8))));
end;
end;
PROCEDURE NORU(lu,zl:byte); var k:byte;       %CALCULEAZA NR.DE ORDINE AL%
begin case lu of                                %ZILEI INTR-UN AN%
    1:e9:=zl-y1;
    2..12:begin suma:=0;
        for k:=1 to lu-1 do
            begin LIPAN(k);suma:=suma+nz;
            end;
        e9:=suma + zl;
    end;
end;if lu in %2% then e9:=e9-y1;
end;
PROCEDURE SEXY(var ser:strig);                %SINTEZA SIR PTR.EXPRIMARE %
                                                %UNGHI IN GRADE,MIN., SEC%
begin str(gra:4,gra0);insert(gra0,ser,ct);
str(min:2,min0);insert(min0,ser,ct+5);
str(sec:2,sec0);insert(sec0,ser,ct+8);
ct:=ct+12;
end;
PROCEDURE ZEXY;begin if ct230 then            %SINTEZA SIR PTR.EXPRIMARE%
                                                %UNGHI IN GRADE, ZECIMI%
begin str(pain:7,pin);insert(pin,ze,ct);
str(pair:2,pfr);insert(pfr,ze,ct+8);end else
begin str(pain:6,pin);insert(pin,ze,ct);
str(pair:4,pfr);insert(pfr,ze,ct+7);end;
ct:=ct+12;
end;
PROCEDURE GMS(v:real);                        %DET. NR DE GRADE,MIN,SEC%
begin if v230 then sig:=v/abs(v) else sig:=0;
gra:=trunc(v);
min:=trunc(60*sig*frac(v));
sec:=trunc(3600*sig*frac(v)-60*min);
if ct1 then SEXY(se);
end;
PROCEDURE DECI(v:real);begin if v230 then %DET. NR.DE GRADE IN ZECIMI DE GRADE
begin pain:=trunc(v);
if ct230 then pair:=trunc(100*v/abs(v)*frac(v)+0.5) else
pair:=trunc(10000*v*frac(v)/abs(v)+0.5);
if ct1 then ZEXY;

```

```

        end else pain:=0;pafr:=0;
        end;
PROCEDURE USA;
        %TRIMITE REZULTATELE LA IMPRIMANTA%
        %"P" SAU PE ECRAN "E"%
        begin if fan in %'P'% then
                begin case g7 of
                        1:write(LST,se);
                        2:write(LST,ze);
                        end;writeln(LST);
                end;
                case g7 of
                        1:write(se);
                        2:write(ze);
                        end;writeln;
                end;
PROCEDURE RG;
        %TRANSFORMARE DIN RADIANI IN GRADE%
        begin A:=A/c0;E:=E/c0;H:=H/c0;teta:=90-E;
        if a2>0 then sig:=-A/abs(A) else sig:=0;fi:=-A-180*sig*(1-sig);
        alfa:=sin(teta)*cos(fi);beta:=sin(teta)*sin(fi);
        gama:=cos(teta);
        end;
PROCEDURE B(ch:char);
        %TIPARESTE PE ECRAN UN CARACTER%
        %"CH" PE VIDEO INVERS%
        begin write(μ%, 'V', $ZB0, ch, μ%, 'V', $ZB0);
        end;
PROCEDURE LAT;
        %DATE INITIALE:%
        begin P(3,3);write('LATITUDINE:grade.zecimi');
        P(17,4);read(12);P(2,2);B('1');
        end;
PROCEDURE LON;
        begin P(3,8);write('LONGITUDINE:grade.zecimi');
        P(17,9);read(11);P(3,9);write('Est-Vest? ');TAS;ww:=ch;
        case ch of
                'E':j3:=-1;
                'V':j3:=1 else LON;
        end;write(ch);P(2,7);B('2');
        end;
PROCEDURE FUS;
        begin P(30,6);write('ptr.ROMANIA=2');P(34,4);write('0..23');
        P(30,3);write('FUSUL orar: ');
        read(z);if z in %0..23% then z:=24-z else FUS;
        P(29,2);B('3');
        end;
PROCEDURE OVI;
        begin P(30,14);write('Vara Iarna');P(32,10);write('Ora de: ')
        TAS;write(ch);case ch of
                'V':z1:=0;
                'I':z1:=1 else OVI;
        end;fa:=ch;P(29,9);B('4');
        end;
PROCEDURE PASS;
        begin P(30,21);write('PASUL min:');read(s0);P(29,20);B('5');
        end;
PROCEDURE LUZI;
        begin P(47,10);write('Z');P(47,9);write('..%3% 4');

```

```

P(47,8);write('z');P(57,8);write('Z..Z');
P(47,6);write('Z %1% 2');P(50,3);write('L%L-L% L..L');
P(47,3);read(g8);P(57,5);read(18);
  case g8 of
    1:begin 19:=18;P(57,9);read(d8);d9:=d8;end;
    2:begin P(59,5);write('-');read(19);P(57,9);read(d8);
      d9:=d8;end;
    3:begin 19:=18;P(57,9);read(d8);write('-');read(d9);
    4:begin P(59,5);write('-');read(19);P(57,9);read(d8);
      write('-');read(d9);end else LUZI;
  end;P(46,2);B('6');
end;
PROCEDURE ANO;
begin P(65,3);write('ANUL :');read(yy);P(63,2);B('8');
end;
PROCEDURE ORAR;
begin P(47,21);write('0');P(47,20);write('..%2');P(47,19);write('
P(47,17);write('0 %1');P(53,14);write('H M S');
P(50,13);write('INTERVAL');P(47,13);read(g6);
  if g6 in %1,2% then case g6 of
    1:begin P(53,17);read(o1);write(' ');read(o2);
      write(' ');read(o3);h9:=o1;m9:=o2;s9:=o3;
    end;
    2:begin P(53,19);read(o1);write(' ');read(o2);write(
      read(o3);P(53,21);read(h9);write(' ');
      read(m9);write(' ');read(s9);
    end;
  end else ORAR;P(46,12);B('7');
end;
PROCEDURE OUTD;
begin P(64,21);write('polar % Oz');P(64,20);write('FI % CosDir
P(64,18);write('polar % Oy');P(64,17);write('TETA % CosDir
P(64,15);write('orar % Ox');P(64,14);write('UNghi % CosDir
P(67,12);write('INALTIME');P(65,10);write('1 AZIMUT 2');
P(64,7);write('Date iesire :');read(g7);P(63,6);B('9');
  if (g7^2=1) and (g7^2=2) then OUTD;
end;
PROCEDURE CAP;begin
t8:=o1+(o2+o3/60)/60; %CALCUL PRELIMINAR%
t9:=h9+(m9+s9/60)/60; %TRANSF.ORELE EXTREME DIN H,M,S%
y0:=yy-1980; %IN ORE SI ZECIMI%
y1:=trunc(1-((yy)mod(4))/4);%Y1=1 IN AN BISECT%
end;
PROCEDURE MODIF;
begin P(6,13);write(pX,'V',%EBO,'MODIFICARI',pX,'V',%E80);
P(3,5);write(12);P(3,10);write(111);P(14,9);write(ww);
P(42,3);write(24-z);P(40,10);write(ia);P(30,22);write(s0:
P(57,5);write(18,' ',19);P(57,9);write(d8,' ',d9);
P(53,17);write(o1,' ',o2,' ',o3);P(53,21);write(h9,' ',m9,
P(71,3);write(yy);P(77,7);write(g7);
P(3,17);write('1-LAT. 4-Ora L. 7-Ore');
P(3,19);write('2-LONG. 5-Pasul 8-Anul');
P(3,21);write('3-Fusul 6-Lu.Z. 9-Dout');
P(30,17);write('MOD-P:');TAS;write(ch);
  case ch of '1':LAT;'2':LON;'3':FUS;'4':OVI;'5':PASS;

```

```

        '6':LUZI;'7':ORAR;'8':ANO;'9':OUTO;'L': 'P':FAN:=ch;
end;P(43,17);TAS;if ch ^3 'R' then MODIF;
end;
EDURE DATEIN;                                %CITIRE DATE INITIALE%
begin EC;PUS;LAT;LON;OVI;LUZI;ORAR;PASS;ANO;OUTD;
end;
EDURE CALC;                                    %CALCUL COORDONATE SOLARE%
begin t:=y0*365+int(y0/4)+d-1+t0/24-y1;
o4:=b0*t/365.25;
g:=-31271E-6-4.53963E-7*t+o4;
l:=4.900968+t*367474E-12+(33434E-6-t*2.3E-9)*sin(g);
l:=l+349E-6*sin(2*g)+o4;
f:=40914E-5-6.21337E-9*t;
o5:=sin(l);
a1:=o5*cos(f);
a2:=cos(l)+1E-20;
if j^2=0 then begin
    if a2=0 then l1:=360-l1 else l1:=180-l1;
end;
r:=arctan(a1/a2);if r=0 then r:=r+b0;
s5:=o5*sin(f);
d1:=arctan(s5/sqrt(1-s5*s5));
t1:=1.759335+b0*(t/365.25-y0)+t*3.66519E-7;
if t1^3=b0 then t1:=t1-b0;
s:=t1-j3*11*c0+j3*15*c0*1.002738*(z-z1+t0);
if s^2=b0 then s:=s-b0;
h:=r-s;
f1:=c0*12;
s6:=SIN(f1)*sin(d1)+cos(f1)*cos(d1)*cos(h);
e:=arctan(s6/sqrt(1-s6*s6));
s7:=cos(d1)*sin(h)/cos(e);
a:=arctan(s7/sqrt(1-s7*s7));
if sin(e)^2*sin(d1)/sin(f1) then
    begin if a=0 then a:=a+b0 else a:=pi-a;end;
    if a^3pi then a:=j3*(pi-a) else a:=a*j3;
end;
end;
n clrscr;DATEIN;repeat MODIF;CAP;            %BLOCUL PRINCIPAL%
for i:=18 to 19 do me:=d8-1;
begin NORD(i,d8);e8:=e9;NORD(i,d9);
for d:=e8 to e9 do me:=me+1;
begin ANDET;t0:=t8;while t0^2=t9 do
begin ct:=1;gms(t0);se:=sex;ze:=zex;
SEXY(se);ct:=1;SEXY(ze);l1:=l11;CALC;RG;
case g7 of
1:begin GMS(a);GMS(e);GMS(h);GMS(teta);GMS(fi);USA;
end;
2:begin DECI(a);DECI(e);DECI(alfa);DECI(beta);DECI(gama)
end;
end;t0:=t0+s0/60;
end;
end;
end;
end;write('DECLINATIE ',d1/c0);TAS;clrscr;EC; until ch='Q';

```

22-10-1989 LATITUDINE 44,4500  
 LONGITUDINEA 26, 900 E

ORA	MinSec	AZIMUT	INALTIME	UNGHI-orar	TETA-polar	FI-polar
7	0m 0s	86 36'41"	-12 26'10"	263 22'16"	102 26'10"	86 36'41"
7	30m 0s	81 25'57"	-7 6'15"	270 53'27"	97 6'15"	81 25'57"
8	0m 0s	76 14'20"	-1 50'41"	278 24'39"	91 50'41"	76 14'20"
8	30m 0s	70 56'41"	3 17'52"	285 55'50"	86 42' 7"	70 56'41"
9	0m 0s	65 28' 4"	8 16'32"	293 27' 1"	81 43'27"	65 28' 4"
9	30m 0s	59 43'41"	13 21' 5"	300 58'12"	76 57'54"	59 43'41"
10	0m 0s	53 38'54"	17 30'52"	308 29'23"	72 29' 7"	53 38'54"
10	30m 0s	47 9'24"	21 38'41"	316 0'34"	68 21'18"	47 9'24"
11	0m 0s	40 11'39"	25 20'46"	323 31'45"	64 39'13"	40 11'39"
11	30m 0s	32 43'33"	28 31'49"	331 2'56"	61 28'10"	32 43'33"
12	0m 0s	24 45'16"	31 6'21"	338 34' 8"	58 53'38"	24 45'16"
12	30m 0s	16 20' 3"	32 59' 2"	346 5'19"	57 0'57"	16 20' 3"
13	0m 0s	7 34'49"	34 5'23"	353 36'30"	55 54'36"	7 34'49"
13	30m 0s	-1 20'19"	34 22'29"	361 7'41"	55 37'30"	358 39'40"
14	0m 0s	-10 13'33"	33 49'34"	368 38'52"	56 10'25"	349 46'26"
14	30m 0s	-18 53'21"	32 28' 7"	376 10' 3"	57 31'52"	341 6'38"
15	0m 0s	-27 10'31"	30 21'36"	383 41'15"	59 38'23"	332 49'28"
15	30m 0s	-34 59'18"	27 34'51"	391 12'26"	62 25' 8"	325 0'41"
16	0m 0s	-42 17'29"	24 13'17"	398 43'37"	65 46'42"	317 42'30"
16	30m 0s	-49 5'43"	20 22'24"	406 14'48"	69 37'35"	310 54'16"
17	0m 0s	-55 26'39"	16 7'18"	413 45'59"	73 52'41"	304 33'20"
17	30m 0s	-61 24' 6"	11 32'36"	421 17'11"	78 27'23"	298 35'53"
18	0m 0s	-67 2'31"	6 42'18"	428 48'22"	83 17'41"	292 57'28"

```

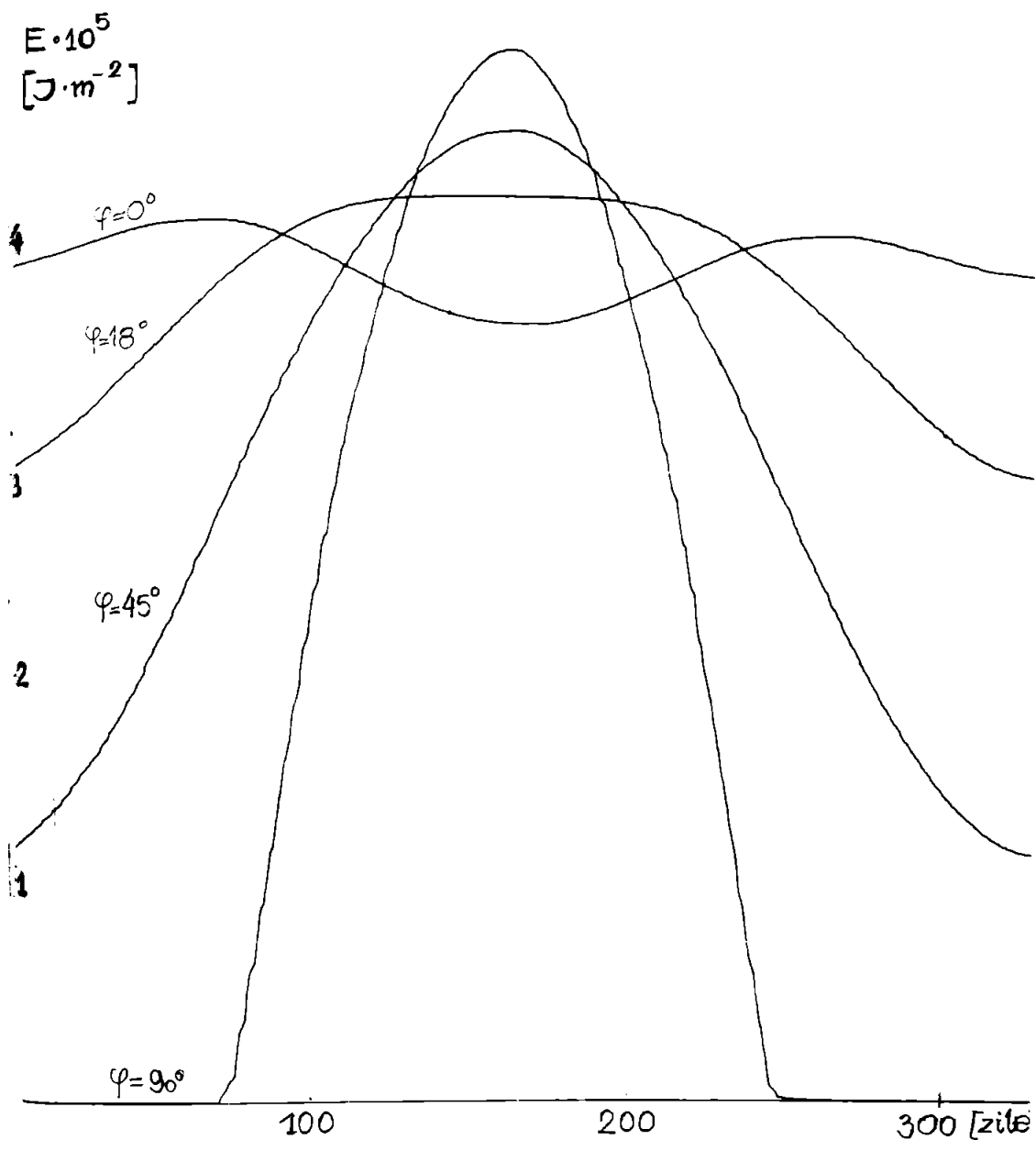
1 INIT
2 DATA 0, 31, 59, 90, 120, 151, 181, 212, 243, 273, 304, 334, 365
3 DIM Q(13)
4 L=1
6 FOR I=1 TO 13
7 READ Q(I)
8 NEXT I
9 PRINT "   INTRODUCEM LATITUDINEA   IN GRADE";
10 INPUT F
11 F=F*PI/180
21 GOTO 200
22 D=23.45*SIN(360/365*(284+N)*PI/180+1E-5)
23 PRINT AT(3,3)"DECLINATIE =" ;D; " GR"
24 PRINT AT(1,10)"DATA: ";N-Q(L); "- ";L
40 D=D*PI/180
48 IF F=90*PI/180 THEN B0
50 A=-TAN(F+1E-6)*TAN(D)
51 IF ABS(A)2=1 THEN 57
55 W=ATN(SQR(1-A2)/(A+1E-7))
56 GOTO 70
57 V=PI
58 GOTO 90
70 V=W-PI/2*SGN(W)*(1-SGN(W))
75 GOTO 90
80 V=PI/2*SGN(D)*(1+SGN(D))
90 H=86.4/PI*1353*(1+0.033*COS(2*PI*N/365))
100 H=H*(COS(F)*COS(D)*SIN(V)+V*SIN(F)*SIN(D))
130 PRINT AT(5,3)"ENERGIE/ZI ";H;" J/MP"
140 PRINT "===== "
150 RETURN
200 INIT
210 PRINT AT(20,4)"OPTIUNI : ", AT(22,3)"1-ENERGIE INTEGRALA LUNARA"
220 PRINT AT(24,3)"2-ENERGIE MEDIE LUNARA"
230 PRINT AT(26,3)"3-ENERGIE DIURNA"
235 PRINT AT(28,3)"4-GRAPIC"
240 INPUT S
2500 NSGOTO 300,500,700,1000
300 PRINT "NR.LUNA";
304 INPUT L
307 IF L=2 THEN 310
308 Z=INT(30.5-0.5*COS(PI*(L+INT(L/8))))
309 GOTO 312
310 Z=28
311 PRINT Z
312 FOR N=Q(L)+1 TO Q(L)+Z
316 GOSUB 22
320 H1=H1+H
324 NEXT N
328 PRINT "EN.TOT.LUNA ";L;" =" ;H1;" J/MP"
330 INPUT S0
332 GOTO 200
500 PRINT "NR.LUNA";
504 INPUT L
507 IF L=2 THEN 510
508 Z=INT(30.5-0.5*COS(PI*(L+INT(L/8))))
509 GOTO 512
510 Z=28
512 H1=0
513 FOR N=Q(L)+1 TO Q(L)+Z
516 GOSUB 22

```

```

520H1=H1+H
524NEXTW
528H1=H1/Z
530PRINT"EN. MEDIE/ZI IN LUNA";L;" ";H1;"J/MP"
540INPUTS0
550GOTO200
699INIT
700PRINT"INPUT NR.ZIUA,NR.LUNA"
710INPUTN,L
720N=N+Q(L)
721IFN>Q(L+1)THEN699
730GOSUB22
740PRINT"ENERGIE DIURNA =" ;H;" J/MP"
750INPUTS0
760GOTO200
790FORO=OT05E2
791NEXTO
792RETURN
100CALL(6)
101ON=1
102GOSUB22
103OX=10*N
104OY=H/11
105OCALL(1,X,Y)
106GOSUB790
107OCALL(7)
108GOSUB790
109OFORN=2T0365STEP3
110OX=10*N
111GOSUB22
112OY=H/11
113OCALL(1,X,Y)
114ONEXTN
115GOSUB790
116OCALL(8)
117GOSUB790
118OE£="D"
119OPRINTAT(1,1)"AXE,Y/N?";
120OINPUTE£
121OIFE£="N"THEN9
122OIFE£="Y"THEN1240
123GOTO1190
124OCALL(1,0,0)
125GOSUB790
126OCALL(7)
128GOSUB790
129OFORX=OT04E3STEP20
130OCALL(1,X,0)
131ONEXTX
132GOSUB790
133OCALL(8)
134GOSUB790
135OFORX=4E3T00STEP-20
136OCALL(1,X,0)
137ONEXTX
138GOSUB790
139OCALL(7)
140GOSUB790
141OFORY=OT04E3STEP20
142OCALL(1,X,Y)
143ONEXTY
144GOSUB790
145OCALL(8)
146GOSUB790
147OFORY=4E3T00STEP-20
148OCALL(1,X,Y)
149ONEXTY
150GOSUB790
151GOTO9

```





## STOCAREA CALDURII

Programul urmareste comportarea unui acumulator de caldura pe parcursul anului. Se studiaza:

1. regimul de incarcare (introducere energie, baleiere de omogenizare)
2. regim de stocaj (baleiere de omogenizare)
3. regim de consum (baleiere de omogenizare si consum orar)
4. efectul izolatiei
5. efectul marimii acumulatorului
6. influenta numarului de elemente si a dimensiunii acestor elemente

Consideram un acumulator alcatuit din mai multe elemente unitare (consideram matricea elementelor). Parametrii caracteristici utilizati:

$Q(I)$  - cantitatea de caldura cu care se incarca pe ora volumul

$I(E)$  - ore/zi,  $I(L)$  - zile luna

AST ADR ASUS ASOS - izolatiile

AX AY - dimensiunea elementelor

AT - pasul de timp

AL - coeficient  $\lambda$  [W/mK]

AC - caldura specifica [J/kgK]

AR - densitatea materialului [kg/m<sup>3</sup>]

BST,BDR,BSUS,BJOS ~ temperaturi de contur



```

WRITE (5,71)
FORMAT (3X,'DATI TEMP,INIT TST,TDR,TSUS,TJOS SI TI.')
```

1

```

READ (5,72) BST,BDR,BSUS,BJOS,BI
WRITE (1,72) BST,BDR,BSUS,BJOS,BI
FORMAT (5F10.5)
DO 80 I=1,IX
T(I,1,1)=BST
T(I,1,2)=BDR
T(I,1Y,1)=BDR
T(I,1Y,2)=BDR
CONTINUE
DO 81 J=1,IY
T(1,J,1)=BSUS
T(1,J,2)=BSUS
T(IX,J,1)=BJOS
T(IX,J,2)=BJOS
CONTINUE
I1=IX-1
I2=IY-1
DO 82 K1=2,I1
DO 82 K2=2,I2
T(K1,K2,1)=BI
T(K1,K2,2)=BI
CONTINUE
WRITE (1,14)
FORMAT (10X,'CIMP TERMIC INITIAL :')
```

2

```

CALL S2 (T,IX,IY)
DO 100 IL=1,I2
IF (IE(IL).EQ.0) GOTO 100
AD=Q(IL)
YY=AQ*AT/(AR*AC)
IR=IZI(IL)
DO 200 IZ=1,IR
DO 300 I=1,IY
ION=IC(IL)
ILIE=IE(IL)/AT
IF (IZ-ION) 90,90,91
IF (I-ILIE) 92,92,91
CONTINUE
DO 400 IA=2,I1
DO 400 IB=2,I2
T(IA,IB,2)=T(IA,IB,1)+YY
CONTINUE
CONTINUE
CALL S1 (T,I1,I2,AST,ADR,ASUS,AJOS,AL,AW,AX,AY)
IA=2
IB=2
T(IA,IB,1)=T(IA,IB,2)
IB=IB+1
IF (IB-(IY-1)) 600,600,601
IA=IA+1
IF (IA-(IX-1)) 602,602,603
CONTINUE
CONTINUE
IF (IZ.EQ.15) GOTO 625
IF (IZ.EQ.IR) GOTO 625
GOTO 627
WRITE (1,630) IL,IZ
FORMAT (10X,'CIMP TERMIC IN LUNA-ZIUA',215)
CALL S2 (T,IX,IY)
CONS=AR*AC*AX*AY/1000.
CALL S3 (T,IX,IY,CONS,PI)
CONTINUE
CONTINUE
CONTINUE
STOP
END
SUBROUTINE S1 (T,I1,I2,AST,ADR,ASUS,AJOS,AL,AW,AX,AY)
DIMENSION T(50,50,2)
DO 80 I=1,I1
DO 80 J=1,I2
```

```

TST=T(IA,IB-1,1)
TDR=T(IA,IB+1,1)
TC=T(IA,IB,1)
)MM=1)
INN=12
XST=AL
XDR=AL
XSUS=AL
XJOS=AL
IF(IA.EQ.2) XSUS=ASUS
IF(IB.EQ.2) XST=AST
IF(IA.EQ.INN) XJOS=AJOS
IF(IB.EQ.INN) XDR=ADR
COEL=AM*AY/AX*(XST*(TST-TC)+XDR*(TDR-TC))
COEL=COEL+AM*AX/AY*(XSUS*(TSUS-TC)+XJOS*(TJOS-TC))
Y(IA,IB,2)=T(IA,IB,1)+COEL
30 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE S2(T,IX,IY)
DIMENSION T(50,50,2),IQ(50)
DO 55 I=1,50
IQ(I)=1
55 CONTINUE
WRITE(1,1)
1 FORMAT(3X,108(' '))
WRITE(1,2) (IQ(I),I=1,18)
2 FORMAT(3X,18(I6))
DO 3 LL=1,50
IF(T(LL,1,1).EQ.0.) GOTO 7
WRITE(1,4) LL,(T(LL,JJ,1),JJ=1,18)
4 FORMAT(2X,18(I6,2))
3 CONTINUE
IF(T(1,19,1).EQ.0.) GOTO 40
WRITE(1,2) (IQ(I),I=19,36)
DO 13 LL=1,50
IF(T(LL,19,1).EQ.0.) GOTO 13
WRITE(1,4) LL,(T(LL,JJ,1),JJ=19,36)
13 CONTINUE
IF(T(1,37,1).EQ.0.) GOTO 40
WRITE(1,2) (IQ(I),I=37,50)
21 FORMAT(3X,14(I6))
DO 23 LL=1,50
IF(T(LL,37,1).EQ.0.) GOTO 23
WRITE(1,4) LL,(T(LL,JJ,1),JJ=37,50)
24 FORMAT(2X,14(I6,2))
23 CONTINUE
40 WRITE(1,1)
RETURN
END
SUBROUTINE S3(T,IX,IY,CONS,B1)
DIMENSION T(50,50,2)
TOT=0.
TM=0.
IC=0
IMM=IX-1
INN=IY-1
DO 1 I1=2,IMM
DO 1 I2=2,INN
IC=IC+1
TM=TM+(T(I1,I2,2)-B1)
TOT=TOT+T(I1,I2,2)
1 CONTINUE
TM=TOT/IC

```

```
WRITE (1,2) T,UN
```

```
2   FORMAT (10X, 'TMED = ',F9.5, ' EN. INMAGAZIN. = ',F12.3)
   IR=(IX+1)/2
   IP=(IY+1)/2
   WRITE (1,3) T(IR,IP,2)
3   FORMAT (10X, 'TEMP. IN CENTRU : ',F9.5)
   RETURN
   END
```