



Ministerul Educației Naționale
Universitatea Tehnică de Construcții București
Facultatea de Inginerie a Instalațiilor
Departamentul de Termotehnică și Echipamente Termice

**Contribuții privind utilizarea energiei solare, prin sisteme
termice neconvenționale, în domeniul clădirilor**

Rezumatul tezei de doctorat

Conducător științific:

Prof. dr. ing. Florin Iordache

Doctorand:

ing. Radu Mihai-Lucian

Cuprins

1	Introducere	3
2	Modelarea proceselor termo-hidraulice dinamice.....	4
2.1	Calculul principalilor parametri energetici	4
2.2	Eficiențe termice	4
2.3	Cantități de energie.....	4
2.4	Gradul de acoperire	5
3	Studii de caz comparative	6
3.1	Studiu de caz pentru validarea experimentală a modelelor matematice	6
3.2	Studiu de caz comparativ de analiză energetică pentru mai multe tipuri de instalații solare întâlnite frecvent în România.....	8
3.3	Studiu economic comparativ între diverse soluții de instalații solare utilizate uzual în România.....	13
4	Procedură de auditare energetică rapidă a instalațiilor solare de preparare a apei calde menajere.....	17
5	Analiza energetică și de mediu pe întreaga durată de viață a instalației solare.....	18
5.1	Particularizarea analizei la situația climatică din România.....	18
6	Contribuții personale, posibilități de de continuare a cercetărilor în domeniu și concluzii.....	20
	Bibliografie:.....	22

1 Introducere

În prezent cea mai mare parte a energiei se obține prin arderea combustibililor fosili, care generează 80% din emisiile de gaze poluante evacuate în atmosferă, ducând la distrugerea mediului înconjurător. Dintre acestea dioxidul de carbon (rezultat din arderea combustibililor convenționali), freonii și oxizii de azot sunt principalii responsabili ai poluării mediului, ai intensificării efectului de sera.

Sectorul rezidențial reprezintă cel mai mare consumator de energie, urmat imediat de sectorul industrial și de cel terțiar, de aceea cele mai importante strategii și politici ce au drept scop reducerea consumului de energie și combustibili vizează în principal aceste sectoare. Asadar reducerea consumului de combustibil fosil în domeniul casnic reprezintă un deziderat extrem de important la momentul actual atât în România dar și pe plan european și internațional. Atingerea acestui obiectiv se face momentan în primul rând prin reabilitarea termică a clădirilor și eficientizarea funcțională a instalațiilor interioare. În acest context, utilizarea surselor regenerabile prin sisteme neconvenționale de producere, transport și livrare a energiei către consumatori reprezintă o posibilitate extrem de importantă de reducere în continuare a consumului energetic clasic. Astfel, acest proiect de cercetare vine în întinderea principalului obiectiv al strategiei sectorului energetic, care constă în satisfacerea necesarului de energie la un preț cât mai scăzut, corespunzător unei economii moderne și unui standard de viață civilizat, în condiții de calitate și siguranță în alimentare, cu respectarea principiului dezvoltării durabile.

Deoarece pe plan european a fost adoptată în anul 2002 Directiva 2002/91/CEE referitoare la performanța energetică a clădirilor, este necesar ca și metodele de calcul din reglementările naționale referitoare la PEC să fie reanalizate și să utilizeze aceleași ipoteze de calcul, terminologie și exprimare a rezultatelor, pentru a putea furniza rezultate care să poată fi ușor utilizate de orice persoană interesată din spațiul european.

Rezultă astfel necesitatea implementării reale a standardelor europene și completării reglementărilor în vigoare cu documente tehnice armonizate cu cele europene și compatibile cu acestea, pentru a se crea astfel cadrul necesar utilizării pe scara cât mai largă a instalațiilor bazate pe surse de energie regenerabilă.

La momentul actual, în România există destul de multe firme ce asigură consultanță, proiectare și execuție în domeniul energiilor regenerabile, însă cu toate că echipamentele de captare a energiilor regenerabile sunt în mare parte puse la punct, la ora actuală implementarea lor în domeniul clădirilor rezidențiale și terțiare nu a fost realizată decât în cazuri particulare dat fiind o serie de dificultăți tehnice și economice.

2 Modelarea proceselor termo-hidraulice dinamice

Energia solară reprezintă o posibilă sursă de energie pentru o anumită categorie de consumatori, în special pentru prepararea apei calde menajere, dar și pentru încălzirea apei piscinelor sau chiar pentru aducerea unui aport energetic în cazul încălzirii.

Modelul matematic utilizat permite calculul parametrilor energetici și economici ai unui captator solar, precum și ai unei instalații solare, în varianta cu rezervor de acumulare cu serpentină integrată sau fără serpentină. Modelul matematic este unul de tip iterativ, ce permite calculul precis, orar, al variației acestor parametri.

2.1 Calculul principalilor parametri energetici

Indicatorul principal care reflectă performanțele unui captator solar este randamentul. Se definește randamentul captatorului solar ca fiind raportul dintre puterea termică captată la nivelul fluidului încălzit și puterea termică incidentă [1],[3]:

$$\eta = \frac{a \cdot \rho \cdot c \cdot (t_f - t_0)}{I} \quad (2-1)$$

2.2 Eficiențe termice

Eficiența termică calitativă (ε) se definește ca valoarea puterii termice captate raportată la puterea termică maximă a fi captată de către debitul de agent termic:

$$\varepsilon = \frac{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_f - t_0)}{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_E - t_0)} = \frac{t_f - t_0}{t_E - t_0} \quad (2-2)$$

2.3 Cantități de energie

2.3.1 Cantitatea de energie livrată

Cantitatea de energie livrată consumatorului se calculează cu următoarea relație[1],[3]:

$$Q_{livrat} = \sum Q_{livrat,h} \quad (2-3)$$

$$Q_{livrat,h} = G_{cons} * \rho * c * (\theta - t_{AR}) \quad (2-4)$$

2.3.2 Cantitatea de energie acumulată

Cantitatea de energie acumulată în rezervorul de acumulare pe durata unei zile se calculează cu următoarea relație[1],[3]:

$$Q_{ac} = V * \rho * c * (\theta_{sf.zi} - \theta_{inc.zi}) \quad (2-5)$$

2.3.3 Cantitatea de energie captată

Cantitatea de energie captată pe durata unei zile se calculează cu următoarea relație[1],[3]:

$$Q_{cpt} = Q_{livrat} + Q_{ac} \quad (2-6)$$

2.3.4 Cantitatea de energie consumată

Cantitatea de energie consumată pe durata unei zile se calculează cu următoarea relație [1],[3]:

$$Q_{cons} = G_{total} * \rho * c * (\theta_{AC} - \theta_{AR}) \quad (2-7)$$

2.3.5 Cantitatea de energie incidentă

Cantitatea de energie incidentă pe durata unei zile se calculează cu următoarea relație[1],[3]:

$$Q_{incident} = \sum I_h * S_{cpt} \quad (2-8)$$

2.4 Gradul de acoperire

Gradul de acoperire a unei instalații solare pe o anumită perioadă se calculează cu următoarea relație [1],[3]:

$$\gamma = \frac{Q_{cpt}}{Q_{cons}} * 100 \quad (2-9)$$

3 Studii de caz comparative

3.1 Studiu de caz pentru validarea experimentală a modelelor matematice

Studiul de caz constă în compararea rezultatelor legate de performanțele termice ale unui captator solar calculate prin implementarea modelului matematic cu cele determinate experimental pe suportul unui stand de încercări realizat în incinta INCERC Bucuresti.

3.1.1 Descrierea standului experimental

Standul experimental pentru determinarea caracteristicilor captatoarelor solare cu agent termic lichid permite încercarea în condiții climatice naturale a acestora pentru verificarea cerințelor de durabilitate, de fiabilitate și de securitate, precum și pentru caracterizarea performanței termice a captatoarelor solare, în regim staționar precum și în regim zilnic, în condiții climatice variabile. Acesta a fost dezvoltat în cadrul unui proiect de cercetare național.

Schema funcțională a standului experimental este prezentată în figura 3-1.

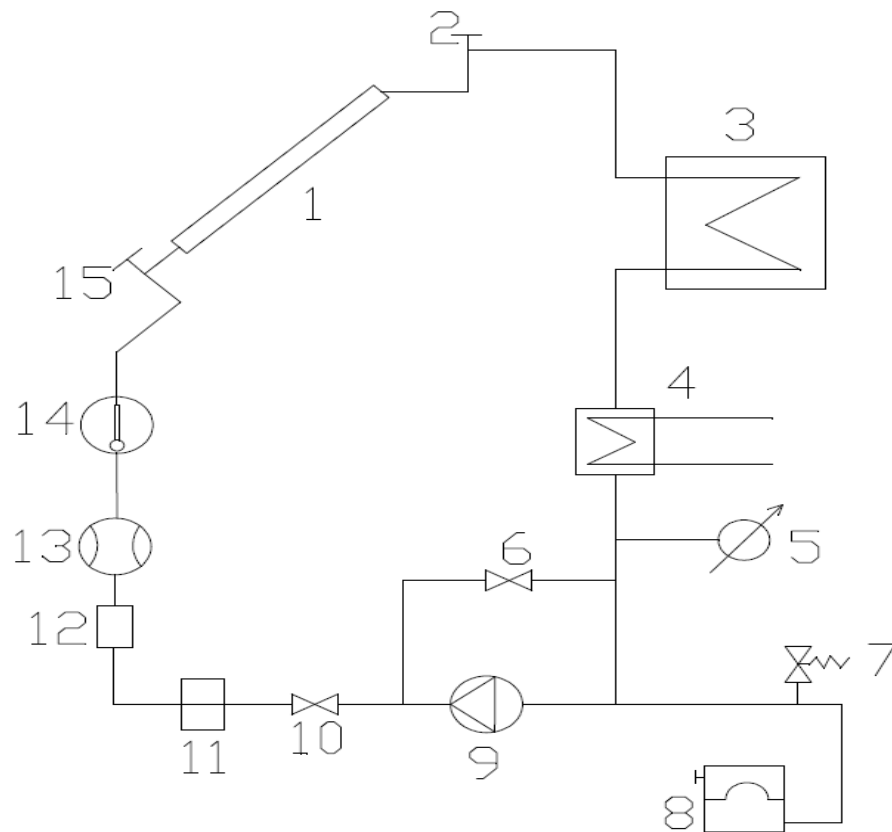


Figura 3-1 Schema standului experimental

Implementarea s-a facut pentru captator și pentru ambele tipuri de sisteme, comparația cu datele experimentale și validarea modelului fiind realizată doar pentru sistemul format din captator solar și rezervor de acumulare fără serpentină.

Pe baza modelului matematic s-a calculat variația lunara a parametrului definitoriu temperatura în rezervorul de acumulare în decursul unui an calendaristic.

Implementarea modelului matematic s-a realizat cu ajutorul unei file Excel.

3.1.2 Rezultate obținute

Comparația la nivelul captatorului solar

Comparația cu rezultatele experimentale s-a realizat prin intermediul temperaturii de ieșire din captatorul solar. Analiza se face considerând un pas de timp de un minut. Valorile calculate diferă față de cele măsurate cu maxim 5%, erori ce pot proveni din incertitudinile de măsurare.

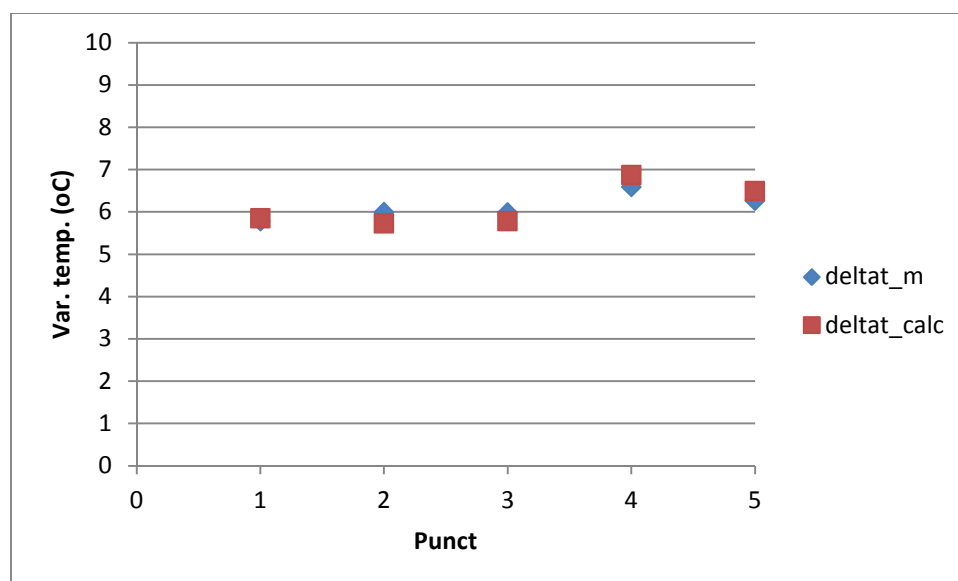


Figura 3-2 Diagrama variației temperaturii apei în interiorul captatorului solar

Comparația la nivelul sistemului captator solar cu rezervor de acumulare fără serpentină

Comparația la nivelul sistemului captator-rezervor acumulare se face prin intermediul temperaturii din interiorul rezervorului de acumulare.

În cazul validării modelului matematic pentru sistemul captator solar și rezervor de acumulare, s-a studiat ritmul de încălzire al apei din rezervor, pe parcursul unei zile.

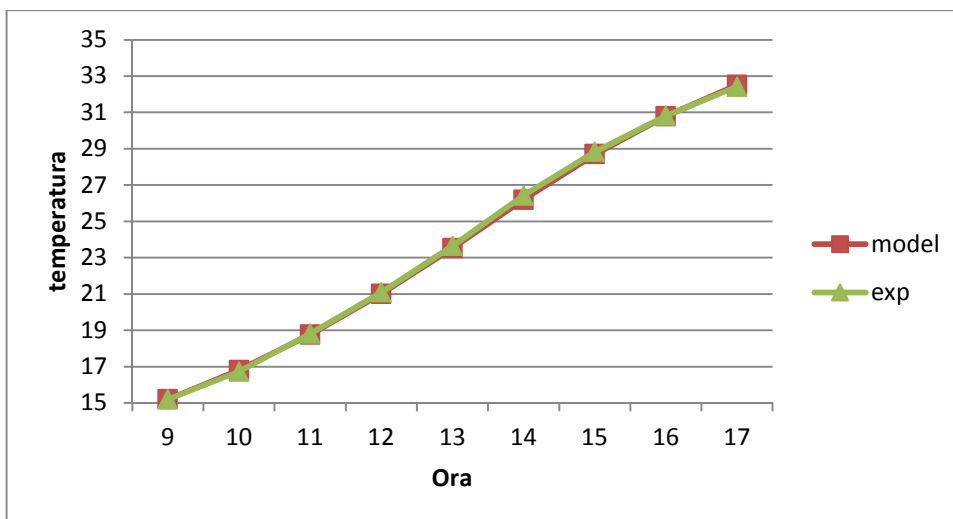


Figura 3-3 Diagrama variației temperaturii apei în rezervorul de acumulare

Studiul de caz arată apropierea între valorile măsurate experimental și cele rezultate din implementarea modelului matematic. Erorile sunt mici, de maxim 10%.

3.2 Studiu de caz comparativ de analiză energetică pentru mai multe tipuri de instalații solare întâlnite frecvent în România

Studiul de caz presupune analiza comparativă pentru cele două tipuri de instalații solare pentru prepararea apei calde de consum întâlnite predominant în țara noastră (cu serpentină și fără serpentină integrată) și pentru cele 2 tipuri de captatoare solare și anume captatoare solare plane și captatoare solare cu tuburi vidate.

3.2.1 Rezultate obținute în urma simulărilor

Rezultatele obținute prin rularea instrumentului automatizat de calcul creat în cadrul programului de cercetare se prezintă sub formă grafică, comparativ. Sunt prezentate inițial graficele temperaturii din rezervorul de acumulare pentru cele 4 configurații de instalații, apoi cantitățile de energie, comparativ.

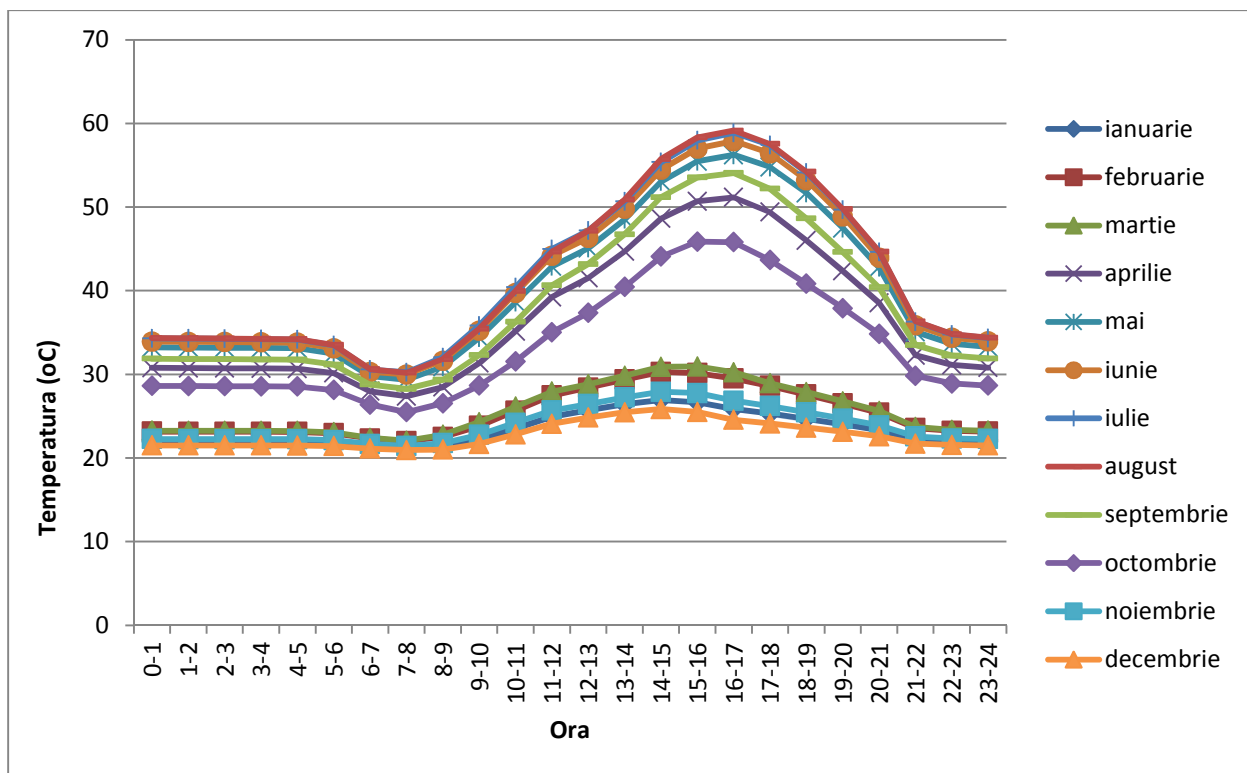


Figura 3-4 Variația temperaturii în rezervorul de acumulare pentru instalația cu captatoare plane cu serpentină încălzitoare

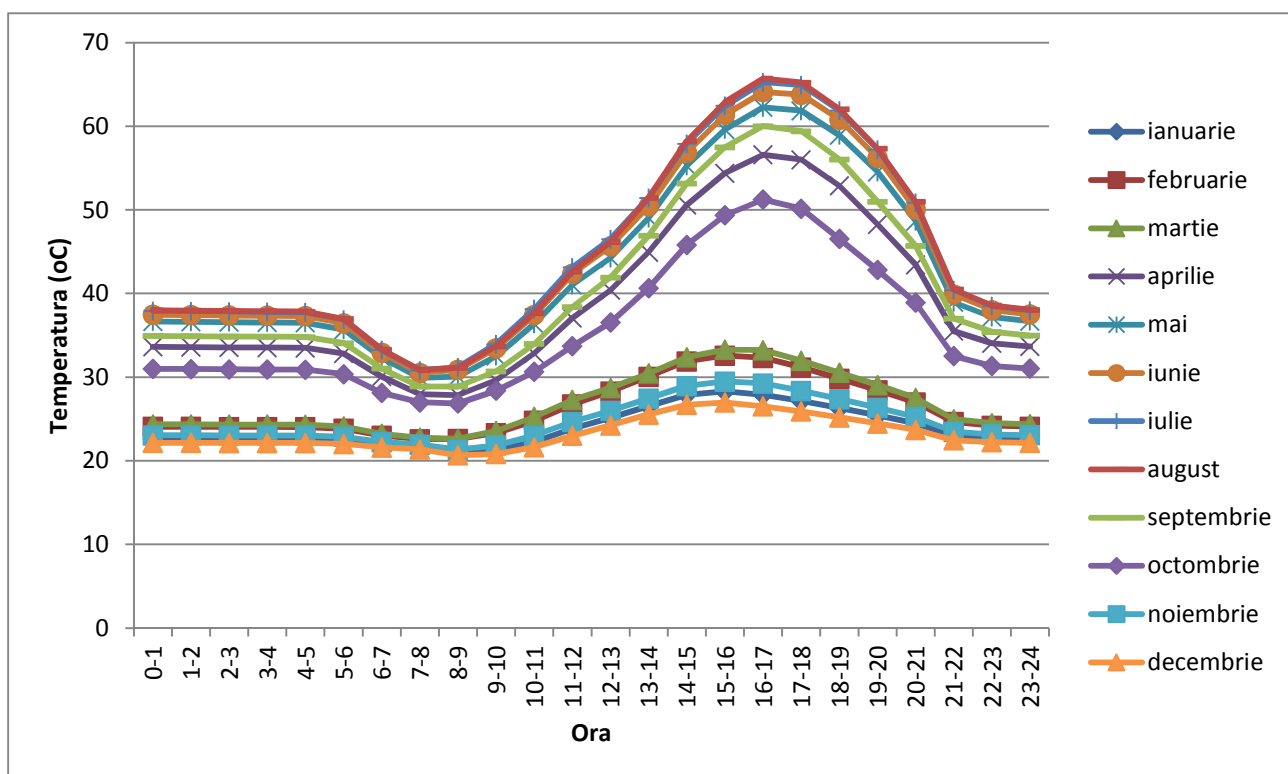


Figura 3-5 Variația temperaturii în rezervorul de acumulare pentru instalația cu captatoare plane fără serpentină încălzitoare

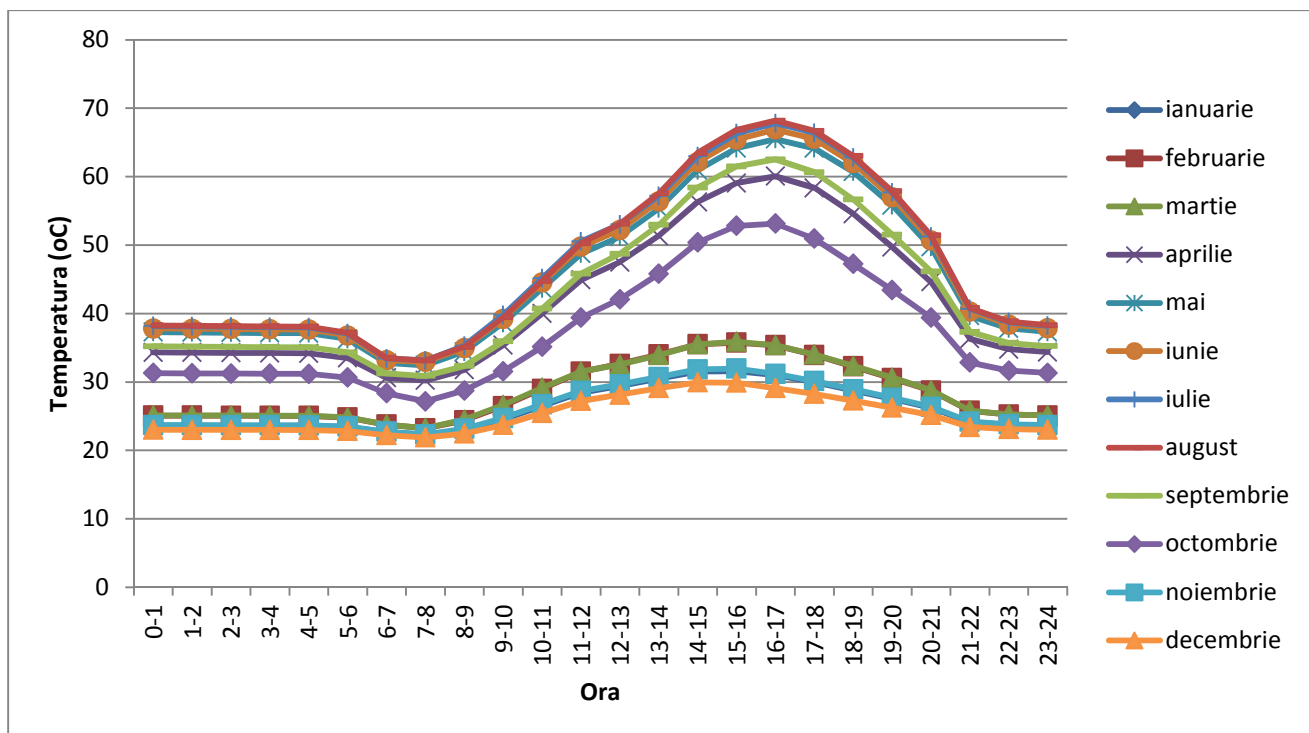


Figura 3-6 Variația temperaturii în rezervorul de acumulare pentru instalația cu captatoare cu tuburi vidate cu serpentină încălzitoare

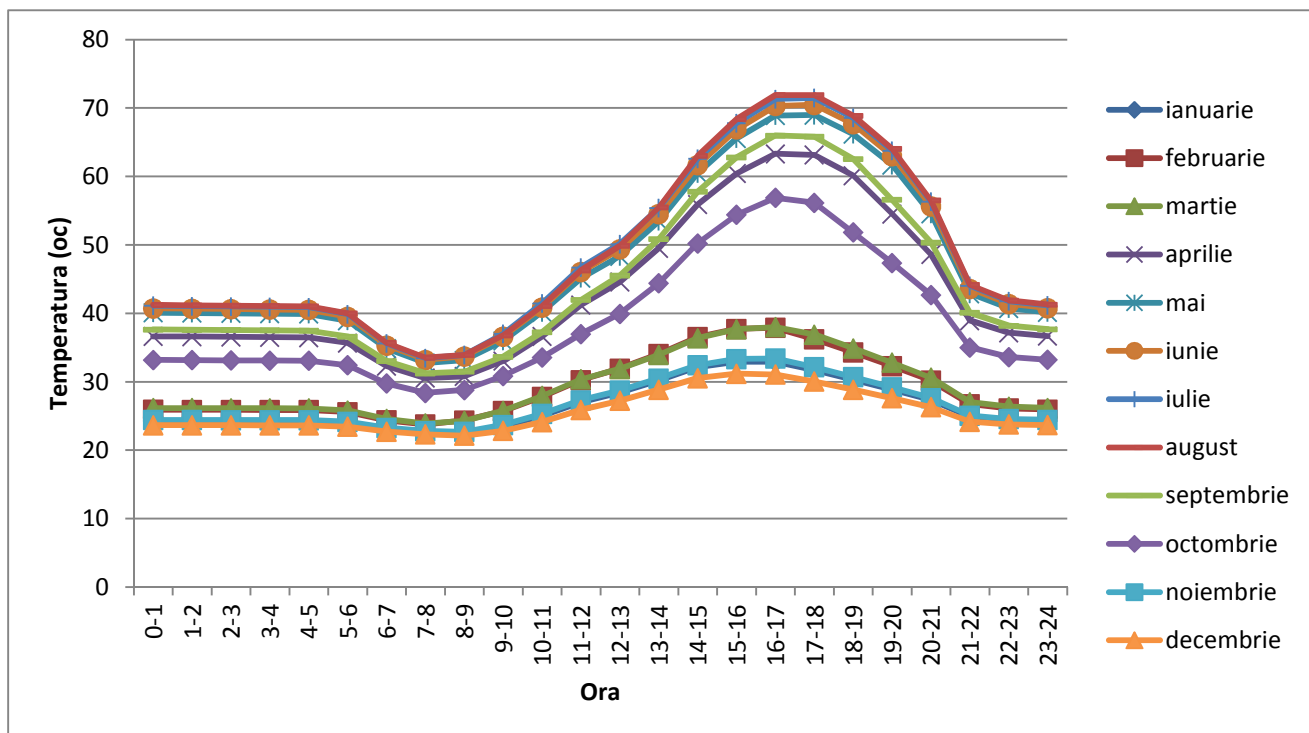


Figura 3-7 Variația temperaturii în rezervorul de acumulare pentru instalația cu captatoare cu tuburi vidate fără serpentină încălzitoare

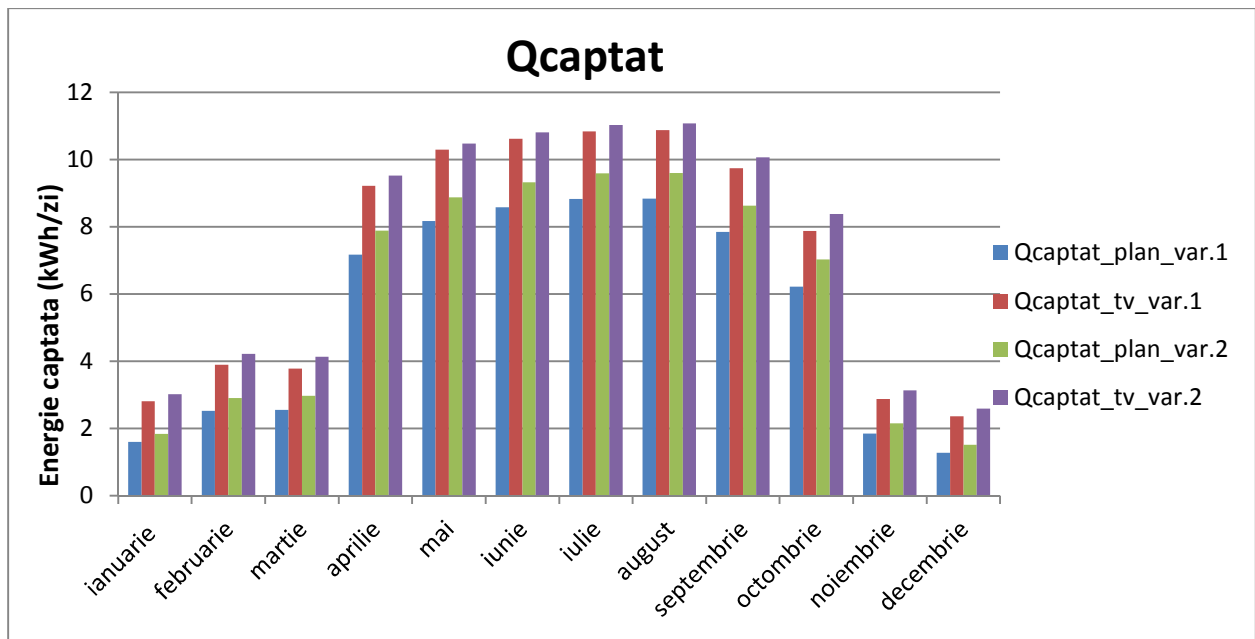


Figura 3-8 Cantitatea de energie captată

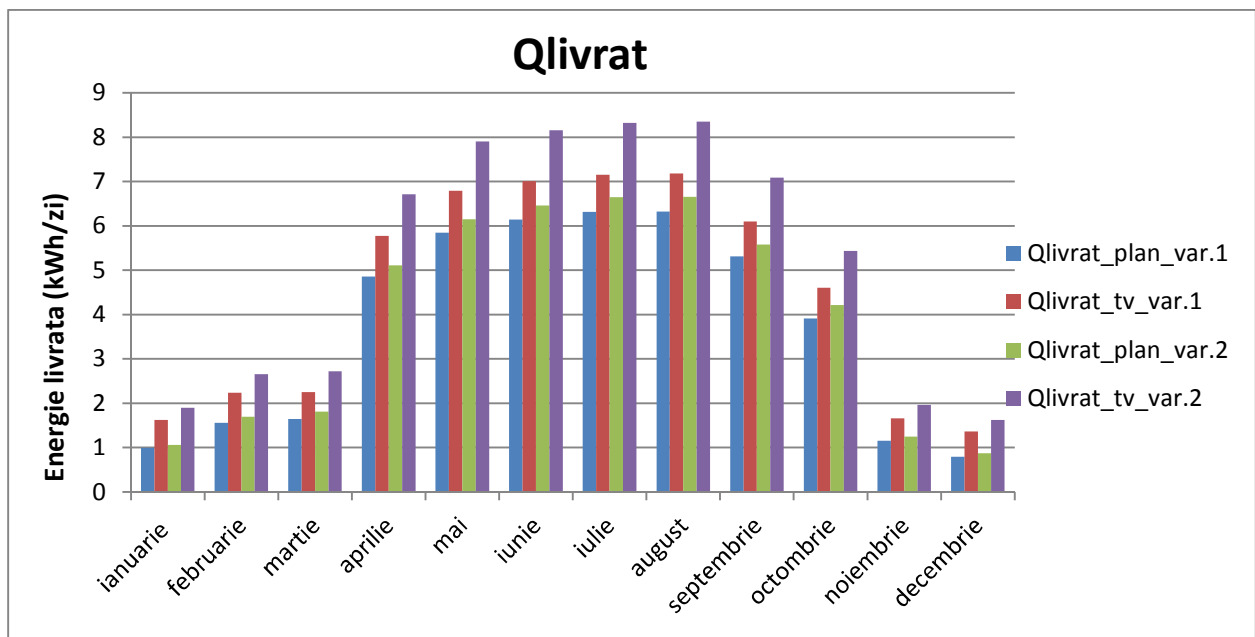


Figura 3-9 Cantitatea de energie livrată

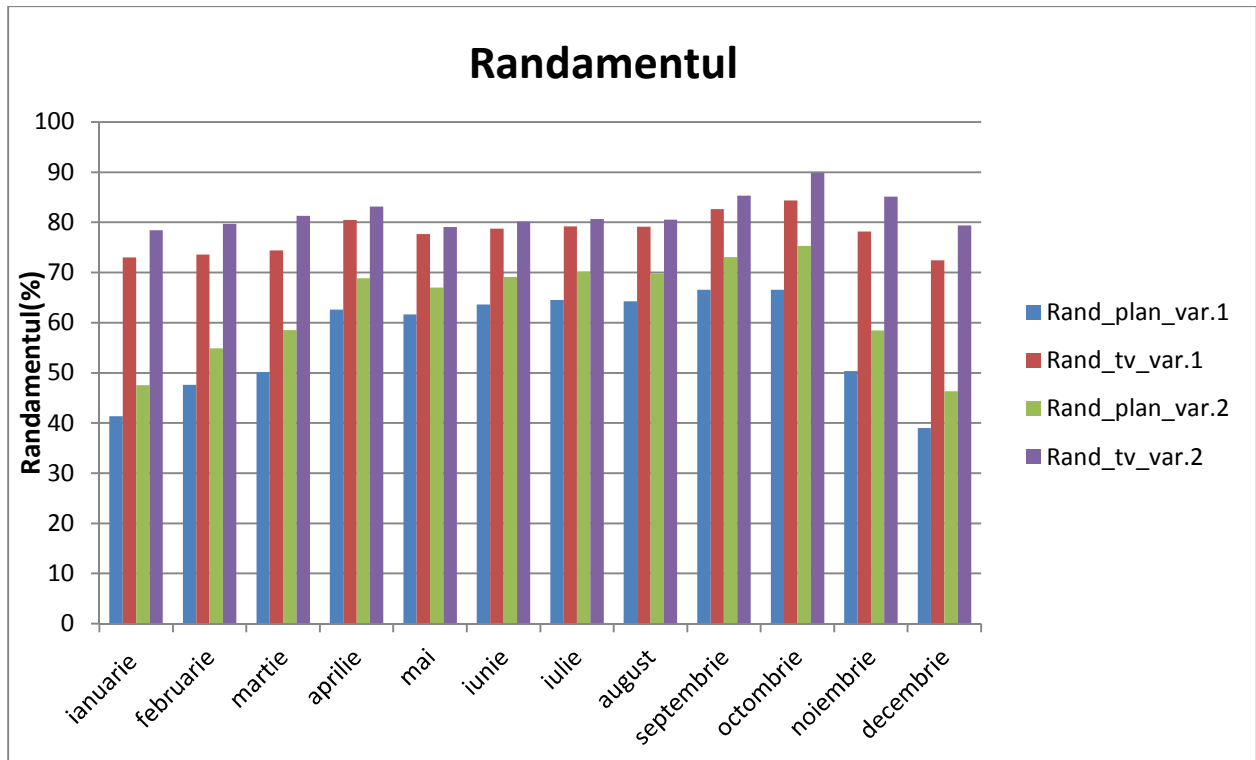


Figura 3-10 Randamentul

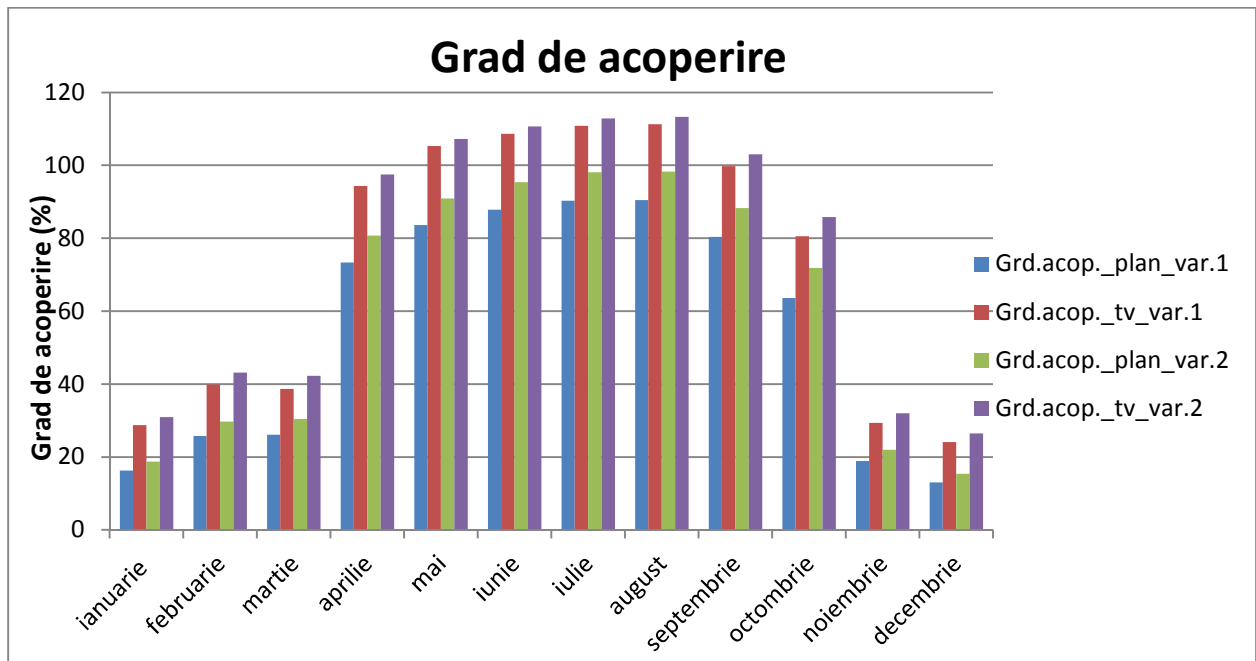


Figura 3-11 Gradul de acoperire al necesarului de energie

Gradul de acoperire anual este de 55,94% pentru instalația cu captatoare plane cu serpentină integrată în rezervorul de acumulare, 61,73% pentru instalația cu captatoare plane fără serpentina integrata, 73,79% pentru instalația cu captatoare solare cu tuburi vidate cu serpentină integrată, 75,57% pentru instalația cu captatoare

cu tuburi vidate fără serpentină integrată. Astfel, se observă din aceste valori că o instalație solară cu performanțe medii reușeste să acopere o proporție destul de mare din necesarul de consum de apă caldă menajera.

3.3 Studiu economic comparativ între diverse soluții de instalații solare utilizate uzual în România

Studiul de caz prezintă comparativ analiza economică a soluțiilor uzuale de instalații solare implementate în România.

3.3.1 Rezultatele analizei economice

Analiza economică presupune două scenarii, și anume:

- varianta 1 (V1), în care nu se implementează instalația solară de preparare a apei calde de consum. În acest caz investitorul nu va avea costuri de investiție inițiale, însă va avea un cost anual pentru asigurarea apei calde de consum mai mare;
- varianta 2 (V2), în care se implementează instalația solară de preparare a apei calde de consum. În acest caz investitorul va avea de acoperit inițial costul instalației, însă va avea un cost anual pentru asigurarea apei calde de consum mai mic. Se neglijează costurile de mentenanță a instalației, acestea fiind mici pentru instalațiile solare.

S-au realizat grafice comparative între cele patru tipuri de instalații, pentru a evidenția mai ușor diferențele de parametri economici dintre ele.

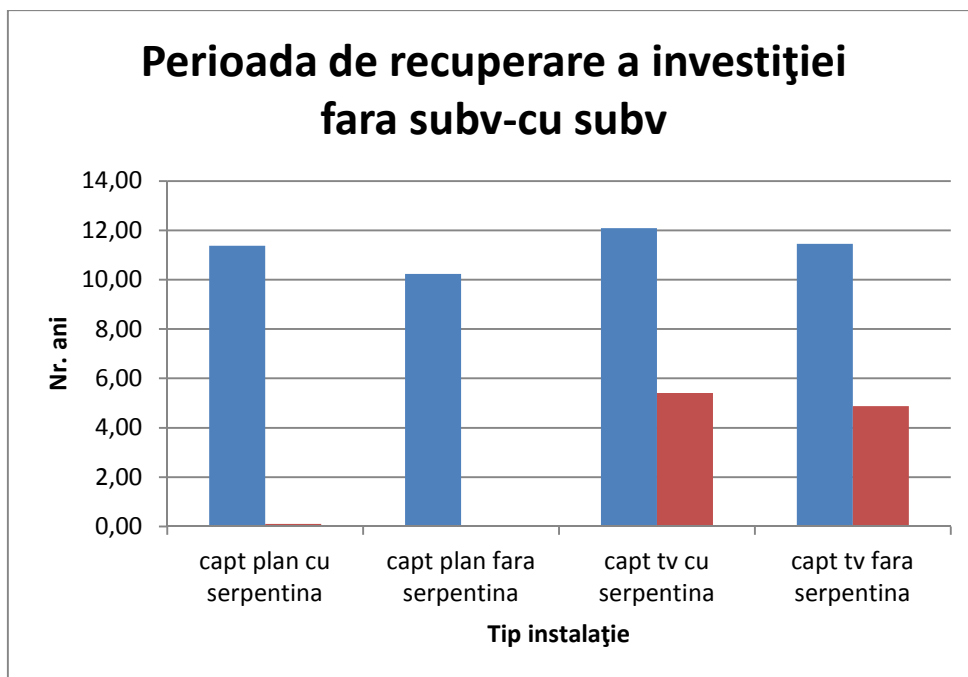


Figura 3-12 Perioada de recuperare a investiției pentru cele patru tipuri de instalații solare, în cazul neacordării/acordării unei subvenții

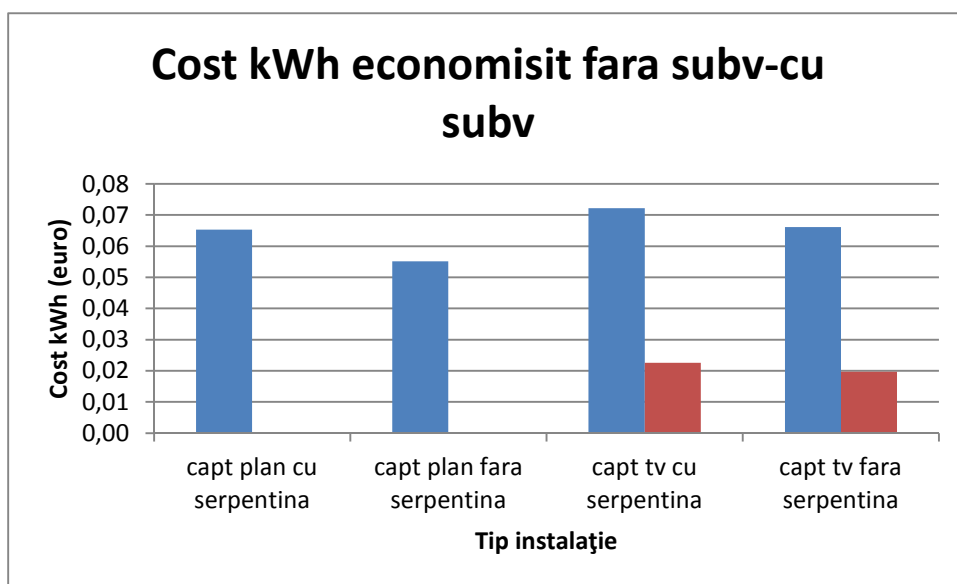


Figura 3-13 Costul unui kWh economisit pentru cele patru tipuri de instalații solare în cazul neacordării/acordării unei subvenții

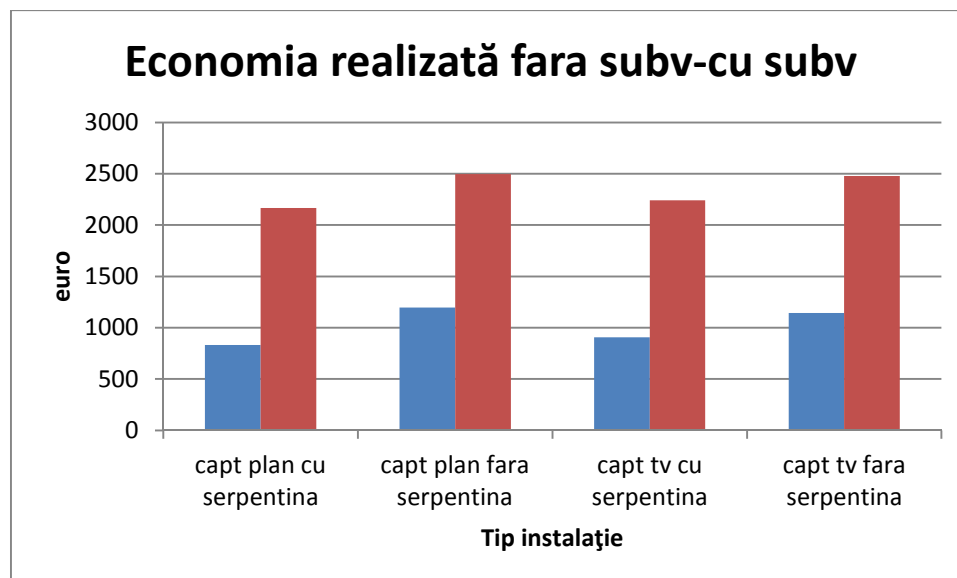


Figura 3-14 Economia realizată de cele patru tipuri de instalații solare în cazul neacordării/acordării unei subvenții

Influența parametrilor climatici asupra parametrilor economici

Pentru studiul variației parametrilor economici în funcție de datele climatice, s-a efectuat o analiză comparativă între diferite amplasamente, performanțele economice fiind calculate pentru încă 4 localități și anume: Cluj-Napoca, Iași, Sibiu, Timișoara. Parametrii economici analizați au fost durata de recuperare a investiției, costul kWh economisit și economia financiară realizată pe întreaga durată de viață. Rezultatele acestei analize se prezintă în graficele următoare, comparativ captatoare plane – captatoare tuburi vidate.

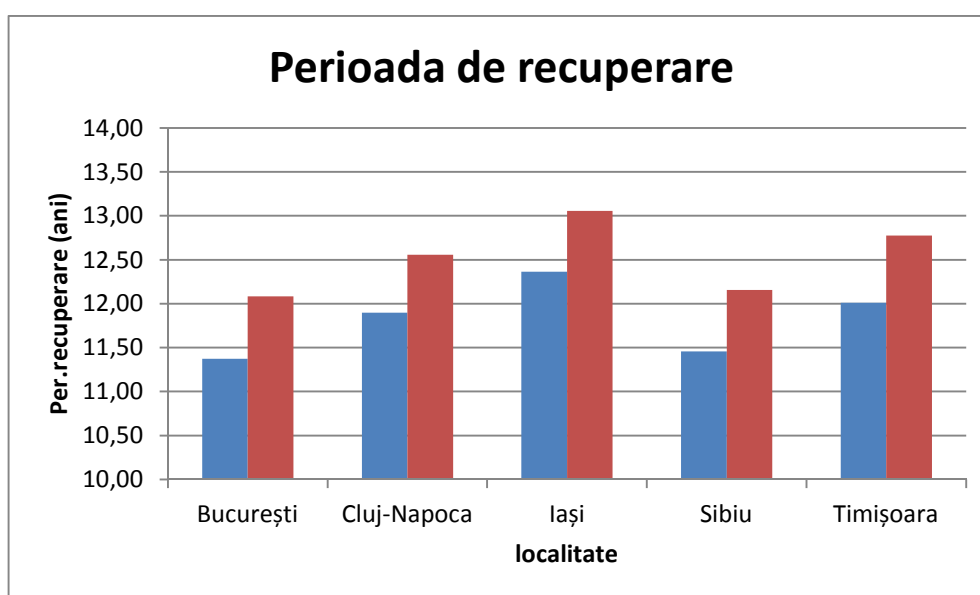


Figura 3-15 Perioada de recuperare a instalației solare în situația amplasării în diferite localități

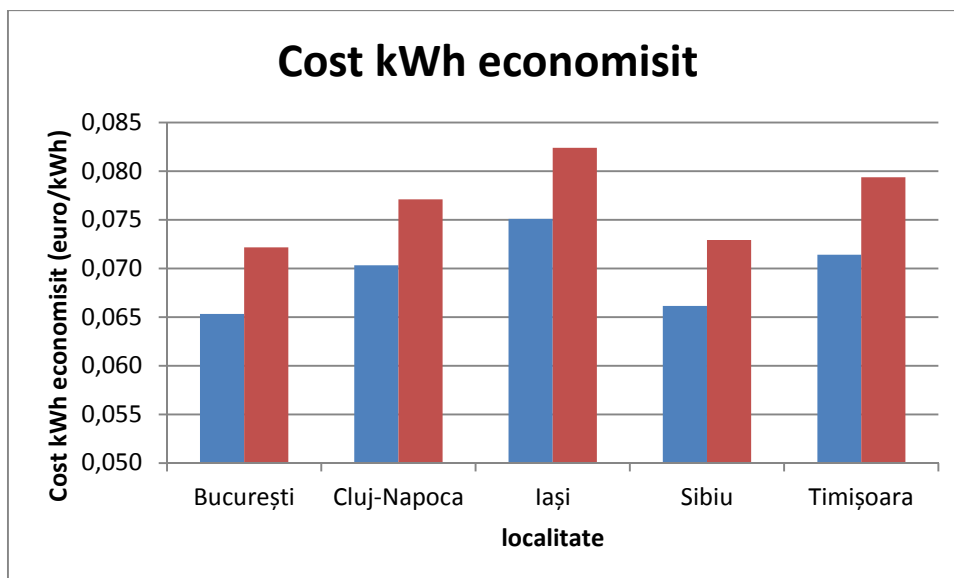


Figura 3-16 Costul kWh economisit a instalației solare în situația amplasării în diferite localități

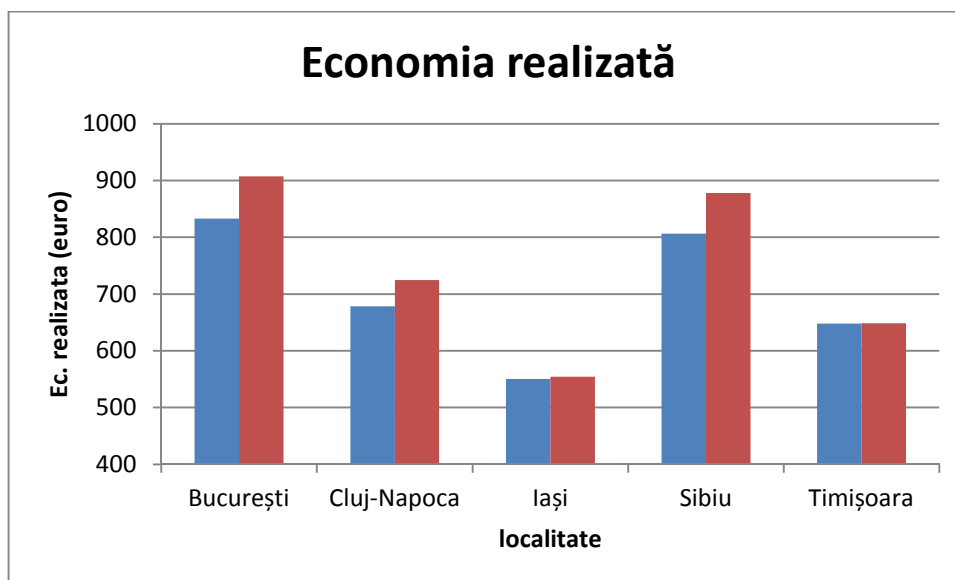


Figura 3-17 Economia financiară realizată de instalația solară în situația amplasării în diferite localități

Studiu comparativ economie financiară realizată raportat la costuri instalație

În cadrul acestui studiu s-a calculat raportul dintre economia financiară realizată și costul instalației. Calculul s-a efectuat pentru instalația cu serpentină încorporată în rezervorul de acumulare, pentru ambele tipuri de captatoare solare, în situația amplasării în diferite localități. Rezultatul calculului se prezintă în graficul următor.

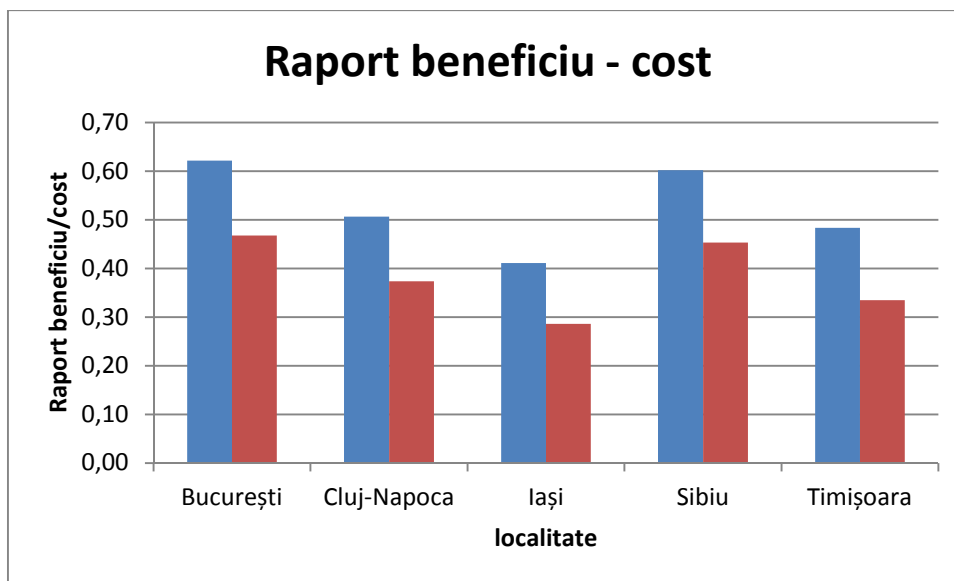


Figura 3-18 Raportul beneficiu-cost pentru cele 2 tipuri de captatoare solare în situația amplasării în diferite localități

4 Procedură de auditare energetică rapidă a instalațiilor solare de preparare a apei calde menajere

Scopul acestei proceduri simplificate este auditarea rapidă a instalațiilor existente, prin determinarea grafică a parametrilor energetici și economici.

Graficele sunt efectuate separat pentru diferite localități și cele două tipuri de captatoare solare analizate (captatoare solare plane și captatoare solare cu tuburi vidate). Instalația solară analizată este cu serpentină integrată în rezervorul de acumulare.

Procedura este următoarea:

- cu suprafața de captare specifică se citește grafic cantitatea de energie captată și gradul de acoperire, valori provizorii $Q_{\text{capt_an'}}$ și $Grd_{\text{ac_an'}}$;
- în cazul în care numărul de persoane este de patru și coeficientul global de pierderi de căldură este egal cu $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ cantitatea de energie captată $Q_{\text{capt_an}} = Q_{\text{capt_an'}}$ și gradul de acoperire $Grd_{\text{ac_an}} = Grd_{\text{ac_an'}}$;
- dacă numărul de persoane este diferit de patru, se aplica o corecție lui $Q_{\text{capt_an'}}$, obținându-se astfel $Q_{\text{capt_an}}$:

- în cazul în care K este egal sau are o valoare apropiată de $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ atunci $Q_{\text{capt_an}}=Q_{\text{capt_an}}''$ și $\text{Grd_ac_an}=\text{Grd_ac_an}'$;
- în cazul în care K este diferit de $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ atunci cantitatea de energie anuală captată finală, $Q_{\text{capt_an}}$, se obține corectând valoarea lui $Q_{\text{capt_an}}''$.
- în cazul în care K este diferit de $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ atunci gradul de acoperire anual, Grd_ac_an , se obține corectând valoarea lui $\text{Grd_ac_an}'$.

Procedura de determinare a parametrilor economici folosește același principiu de calcul.

5 Analiza energetică și de mediu pe întreaga durată de viață a instalației solare

Sursele regenerabile de energie sunt prezentate în general ca “surse curate” ignorându-se consumul energetic și impactul asupra mediului al procesului de producție al acestora.

Un grup de cercetători de la Departamentul de Cercetări Energetice și de Mediu (DREAM) din cadrul Universității din Palermo au realizat un studiu de caz care are în vedere analiza performanțelor energetice și de mediu pe întreaga durată de viață a unui captator solar. În acest studiu datele referitoare la fazele de producere, instalare și mentenanță au fost colectate în mod direct prin amabilitatea unui producător italian. Datele referitoare la materiile prime și la sursele de energie au fost considerate, atunci când a fost posibil, ca valori medii înregistrate în Italia, iar când acestea nu au fost disponibile s-au utilizat date din alte țări europene. [5],[14],[15]

5.1 Particularizarea analizei la situația climatică din România

În cadrul tezei de doctorat rezultatele din studiu au fost particularizate pentru situația climatică din România, rezultând următoarele grafice

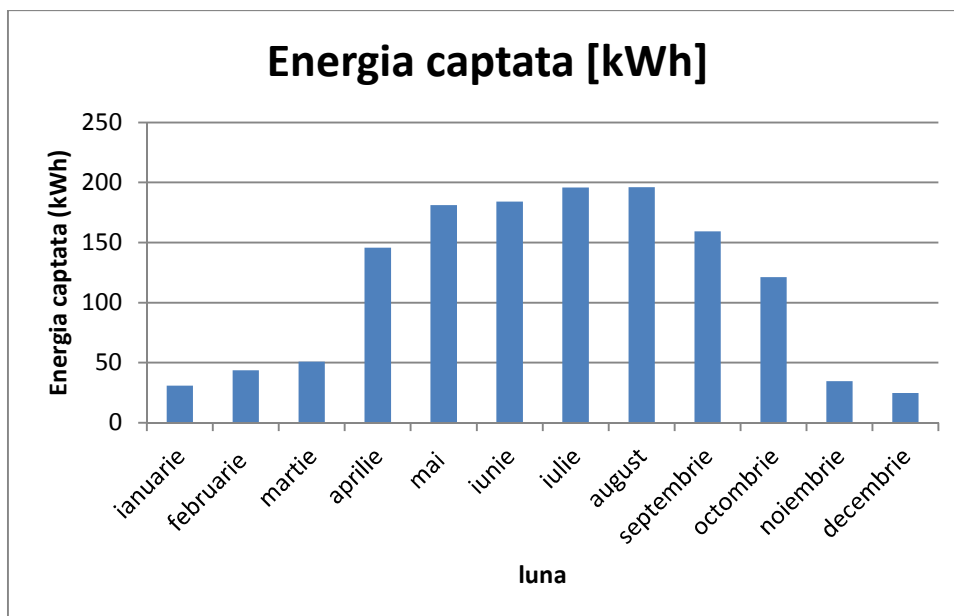


Figura 5-1 Reprezentarea grafică a cantității lunare de energie captată de captatorul solar

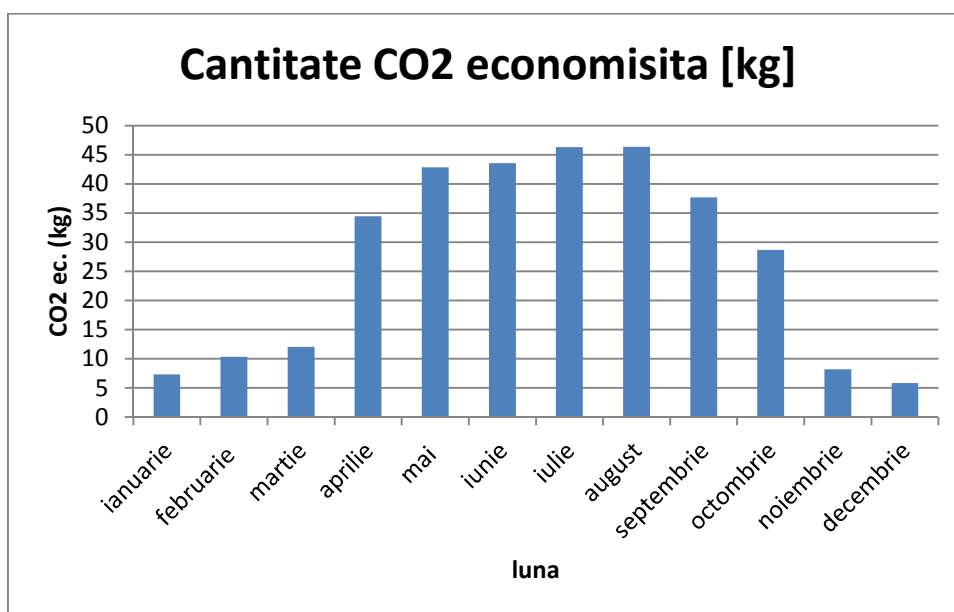


Figura 5-2 Reprezentarea grafică a cantității lunare de dioxid de carbon economisită

Cantitatea de energie captată este estimată la 1367 kWh / an. Perioada de recuperare este în acest caz de aproximativ 2,3 ani. Această valoare demonstrează viabilitatea acestei tehnologii, având în vedere că durata de viață a instalațiilor solare este de cca. 15-20 ani. Perioada de recuperare a consumului de CO₂ este de aproximativ 2 ani. [30]

6 Contribuții personale, posibilități de de continuare a cercetărilor în domeniu și concluzii

Lucrarea prezintă analiza economică și energetică pentru diverse tipuri de instalații solare, în situația amplasării acestora în diferite localități din România, precum și două tipuri de instalații neconvenționale de utilizare a energiei din surse regenerabile.

Lucrarea cuprinde pentru început o prezentare a două sisteme neconvenționale de utilizare a energiei solare în clădiri, și anume sistemul de tip spațiu solar și sistemul combinat fațadă endotermică - pompă de căldură. Ambele sisteme au fost testate în cadrul unor proiecte de cercetare desfășurate de INCD URBAN-INCERC, dovedindu-și funcționalitatea.

Verificarea experimentală a modelelor matematice prezentate a fost realizată cu ajutorul standului experimental executat în incinta INCD URBAN-INCERC.

Standul experimental pentru determinarea caracteristicilor captatoarelor solare cu agent termic lichid permite încercarea în condiții climatice naturale a acestora pentru verificarea cerințelor de durabilitate, de fiabilitate și de securitate, precum și pentru caracterizarea performanței termice a captatoarelor solare, în regim staționar precum și în regim zilnic, în condiții climatice variabile. Standul permite efectuarea încercărilor în condiții climatice naturale pe durata mai multor zile în condiții de temperatură de intrare constantă, de radiație solară naturală și de vânt natural, luându-se în considerare efectele care influențează performanța captatorului pe întreaga durată a unei zile cum ar fi dependența de unghiul de incidență, viteza vântului, radiația solară difuză, radiația termică spre bolta cerească și capacitatea termică. În lucrare este reprezentată schema funcțională a standului experimental.

Odată dovedită viabilitatea modelului matematic, acesta a fost folosit pentru simularea funcționării unei instalații formată dintr-un captator solar și un rezervor de acumulare pe parcursul unui an calendaristic.

Lucrarea prezintă în mod detaliat comportamentul energetic al instalațiilor solare analizate, precum și analiza economică a acestora.

Analiza energetică cuprinde și o analiză pe întreaga durată de viață, analiza ce arată rezultate foarte bune pentru implementarea unei instalații solare în România. În

completarea analizei energetice s-a realizat și certificarea energetică a unei clădiri cu/fără instalație solară.

Din punct de vedere economic, deși implementarea unor soluții de utilizare termică a energiei solare pentru prepararea apei calde în cadrul investițiilor de construcție a unor clădiri noi sau de modernizare energetică a celor existente poate apare drept ineficientă din punct de vedere economic (perioada de recuperare este apropiată de durata de viață), trebuie ținut cont de faptul că pe viitor costul energiei poate crește cu o rată și mai mare, odată cu liberalizarea totală a acestuia. De asemenea implementarea unor astfel de soluții duce la creșterea independenței energetice a obiectivului de investiție.

Însă datorită rezultatelor economice care pot să nu apară prea încurajatoare pentru investitori, statul trebuie să intervină cu o subvenție consistentă pentru cei care vor să implementeze astfel de sisteme în cadrul investiției lor, deoarece aceste sisteme nepoluante duc la creșterea calității vieții prin reducerea impactului negativ asupra mediului rezultat din arderea combustibililor fosili și totodată duc la creșterea independenței energetice naționale.

În finalul analizei economice s-a dezvoltat o procedură grafică simplificată de determinare a parametrilor economici pentru instalațiile solare utilă investitorilor în astfel de sisteme. Graficele pe baza cărora se fac aceste determinari vor trebui revăzute anual. O procedură asemănătoare este prezentată și pentru calculul rapid al principalilor parametri energetici.

Contribuțiile personale în cadrul acestei lucrări sunt reprezentate de validarea modelului matematic și apoi de simulările economice și energetice ale funcționării unei instalații solare, concretizate prin multitudinea de comparații efectuate între diverșii parametri în diferite situații/configurații de instalație. O altă contribuție personală importantă este realizarea unei proceduri grafice de determinare a principalilor parametri economici și energetici, procedură ce are scopul de a ușura activitatea celor implicați în domeniu. În viitor este posibilă dezvoltarea acestei proceduri în cadrul unei metodologii de determinare a acestor parametri.

În cadrul analizei comportării energetice pe întreaga durată de viață a captoarelor solare contribuția personală este reprezentată de particularizarea analizei la situația climatică din România.

Bibliografie:

1. Comportamentul dinamic al echipamentelor și sistemelor termice, editia a III-a, Prof. Dr. Ing. Florin Iordache, Editura Matrix Rom, 2008
2. Utilizarea energiei solare în clădiri rezidențiale. Aspecte energetice și economice – Prof. Dr. Ing. Florin Iordache, Ing. Iulian Clita.
3. Duffie, J., Beckman, W. – Solar Engineering of thermal processes, Second edition, John Wiley & Sons
4. Dan Constantinescu - Tratat de inginerie termica. Termotehnica in constructii, vol. 1 Editura AGIR Bucuresti 2008
5. Performanțe energetice și funcționale ale echipamentelor și sistemelor de captare, conversie și utilizare termică a energiei solare în România, Contract PN 09 – 14 03 02 (2009-2012)
6. Normativ pentru expertizarea termică și energetică a clădirilor existente și a instalațiilor de încălzire și preparare a apei calde de consum aferente acestora, NP 048-2000
7. Standarde europene în domeniul instalațiilor termice solare (Comitet Tehnic ASRO CT 302)
8. WMO, International Meteorological Vocabulary, 2nd edn., 1992, World Meteorological Organization, Geneva, ISBN 92-63-02182-1 (Vocabular meteorologic internațional, Organizația Mondială pentru Meteorologie)
9. ISO 31-6:1992 Quantities and units — Part 6: Light and related electromagnetic radiations (Mărimi și unități – Partea 6: Lumina și radiații electromagnetice aferente)
10. VIM, Internațional Vocabulary of Basic and General Terms în Metrology, 1993, BIP, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML (Vocabular internațional, termeni de bază și generali în meteorologie)
11. Reglementări tehnice în vigoare la nivel republican (www.mdrl.ro).

12. InSitu Scientific Software. Dynamic System Testing Program (Version 2.6). ISS, Kriegerstr. 23 d, D-82110 Germering, Fax +49 89 427778, FRG, 1996
13. Sistem de evaluare și certificare a clădirilor existente din punct de vedere al consumului de energie și utilități și al impactului asupra calității mediului înconjurător, Proiect Mener 223/2002
14. Ardente F te.al. Life cycle assessment of a solar thermal collector, Renewable Energy 30 (2005) 1031–1054
15. Ardente F te.al. Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances, Renewable Energy 30 (2005) 109–130
16. Petran H., Constantinescu D., Existing Buildings Energy Footprint (EF) – an instrument for the evaluation of real BEP (Building Energy Performance) in real conditions of climatic and anthropic loads, revista Construcții, nr 1/2011, pag. 53-71
17. Anvelope inteligente cu funcțiuni de utilizare a exergiei mediului pentru cladiri cu confort ridicat si consum energetic redus, Proiect Anvintex 31-055/2007
18. Metodologie de calcul al performantei energetice a clădirilor MC001, Buletinul Construcțiilor nr. 4-7 / 2007
19. Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de constructie ale cladirilor C107/3
20. EN ISO 9488:1999 Solar energy – Vocabulary (Energie solară. Vocabular)
21. SR EN 12975-1 – Instalații termice solare si componentele acestora. Captatoare solare. Partea 1: Cerințe generale
22. SR EN 12975-2 – Instalații termice solare și componentele acestora. Captatoare solare. Partea 2: Metode de încercare
23. SR EN 12976-1 – Instalații termice solare și componentele acestora. Instalații prefabricate. Partea 1: Cerințe generale
24. SR EN 12976-2 – Instalatiile termice solare si componentele acestora. Instalatiile prefabricate. Partea 2: Metode de incercare

25. SR EN 12977-3 – Instalații termice solare și componentele acestora. Instalații realizate pe șantier. Partea 3: Metode de încercare a performanțelor dispozitivelor de acumulare din instalațiile solare de încălzire a apei
26. SR ISO 9459-5 – Solar heating – Domestic water heating systems – Part 5: System performance characterization by means of whole system tests and computer simulation
27. SR EN 15316-4-3:2007 – Instalații de încălzire în clădiri – Metoda de calcul a exigențelor energetice și randamentelor instalației – Partea 4-3: Instalații de generare a căldurii, instalații termice solare
28. GP 017-1996 – Ghid pentru calculul consumului de căldura al clădirilor dotate cu sisteme de încălzire solara
29. GP 026-1997 – Ghid pentru calculul consumului de căldură al clădirilor dotate cu sisteme de încălzire solară
30. Petran H, Radu M.L. - Analiza performanțelor energetice și de mediu ale unui captator solar pe întreaga durată de viață a acestuia, în condiții climatice specifice României, Revista Urbanism. Arhitectură. Construcții, Vol.3, Nr.1, Pag. 53-60