

CERCETĂRI EXPERIMENTALE ȘI REALIZĂRI INDUSTRIALE PRIVIND PREÎNCĂLZIREA BITUMULUI CU AJUTORUL ENERGIEI SOLARE

Prof. dr. ing. Coleta DE SABATA
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



Absolventă a Facultății de Electrotehnică de la Institutul Politehnic din Timișoara, în anul 1957, cu titlul de doctor în științe tehnice obținut în anul 1966 la Institutul Politehnic din Iași. Încadrată la IPT din anul 1957. Domenii de interes în cercetarea științifică: magnetismul peliculelor feromagnetice electrolitice pure și aliate, acoperiri galvanice de mare rezistență, magneți permanenți, sticle magnetice, ferite (48 de lucrări publicate); conversia energiei solare (37 lucrări publicate). A publicat (singură sau în colaborare) 7 cursuri, 2 culegeri de probleme, 4 îndrumătoare de laborator, a brevetat 7 invenții la OSIM, a participat la 16 congrese internaționale și 4 congrese internaționale din România. A condus, în calitate de director, 52 contracte de cercetare științifică, 4 contracte cu caracter secret și a participat la alte 6 contracte. A condus doctorat din 1987, în Fizică tehnică.

A publicat 6 lucrări monografice despre Universitatea „Politehnica” din Timișoara. Afilieri: Societatea Europeană de Fizică, Asociația oamenilor de știință, Uniunea Scriitorilor din România.



Dr. fiz. Ioan LUMINOSU
Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Cadru didactic la Universitatea „Politehnica” din Timișoara, cu ore de predare la Facultatea de Calculatoare și Automatică. Domenii de interes: energetica solară și nanomaterialele cu aplicații la ferofluide. A publicat numeroase articole științifice în reviste internaționale ca Energy (Elsevier), Exergy (Elsevier), Thermal Science și în reviste din țară ca Romanian Reports of Physics, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara. A publicat mai multe manuale și o monografie. Desfășoară activitate de cercetare-dezvoltare în cadrul unor granturi coordonate de AMCSITT – Politehnica și CNCSIS.

Prof. dr. ing. Aldo DE SABATA
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



Absolvent al Facultății de Electrotehnică, Institutul Politehnic din Timișoara (1985), secția de Electronică aplicată. Doctor inginer în Electronică la Institutul Politehnic din București (1993), stagii și burse în Franța, Spania, Grecia, Italia și Germania. Profesor universitar la Facultatea de Electronică și Telecomunicații din 2002. Domenii de interes științific: teoria informației, microunde și electromagnetism, energie solară.

Publicații: două monografii, un manual universitar, trei cursuri universitare, un îndrumător de lucrări de laborator, o culegere de probleme, 65 de lucrări științifice în țară și străinătate (și 9 comunicate). Director sau colaborator la granturi și contracte de cercetare naționale sau internaționale. Secretar științific al Consiliului Facultății de Electronică și Telecomunicații în perioada 2000-2008. Membru IEEE, ACER, Asociația Inginerilor Electroniști din Timișoara. Expert RENAR.



Prof.dr.ing. Traian JURCA
Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Absolvent al Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică, secția Electronică aplicată (1976), doctor inginer în Metrologie și tehnica măsurării (1993), stagii și burse în Germania, Anglia și Franța. Profesor universitar la Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Electronică și Telecomunicații din 1998. Domenii de interes științific: măsurări electronice de precizie, procesarea semnalelor, energetică alternativă. Publicații: o monografie, 5 cărți în edituri cu ISBN, 2 manuale universitare, 6 brevete de invenție, 41 lucrări științifice publicate în țară și în străinătate. Director sau colaborator la 32 granturi sau contracte din țară și internaționale. Director al departamentului de Măsurări și Electronică Optică și membru în Senatul UPT între anii 2000-2008, membru în Consiliului Facultății de Electronică și Telecomunicații. Membru IEEE, ACER, Asociația Inginerilor Electroniști din Timișoara, Expert Leonardo, Expert tehnic RENAR.

REZUMAT. Identificarea de noi domenii pentru implementarea utilizării energiei solare de nivel termic mediu este un obiectiv permanent al cercetătorilor și inginerilor din energetica solară, atât din motive de economie a combustibililor clasici, cât și pentru a obține o calitate superioară a mediului ambiant printr-o atitudine prietenoasă față de natură. Bitumul este un material utilizat în cantități mari în construcția de drumuri și autostrăzi. Proprietățile sale mecanice și termice crează posibilitatea de a fi preîncălzit în instalații termosolare, cu economii importante de combustibili clasici. La Departamentul de Bazele Fizice ale Ingineriei au fost construite două instalații experimentale pentru studiul în condiții naturale a fenomenelor implicate, iar pe baza rezultatelor obținute s-a amenajat o stație industrială destinată aceluiași scop. Se prezintă unele rezultate ale măsurătorilor efectuate în cele trei cazuri.

Keywords:

ABSTRACT. Identification of new domains for implementation of moderate level thermal applications of solar energy is a permanent goal for researchers and engineers. The reasons are not only for economy of classical fuels but also for a higher quality of the ambient and a friendly attitude towards nature. Bitumen is a material used in large quantities for construction of roads and highways. Its thermal and mechanical properties create the possibility to be preheated in solar installations, with relevant economies of classical fuels. Two experimental installations have been built within the Department of Physical Basis of Engineering for the study, in natural conditions, of phenomena involved and results have been used for the construction of an industrial station with this purpose. Results of measurements performed in the three situations are presented.

Cuvinte cheie: bitum, anvelope de sticlă, eficiență, efect de seră.

1. INTRODUCERE

Utilizarea extensivă a energiei solare este posibilă prin identificarea de noi domenii ale activității ingineresti pentru care este oportună implementarea instalațiilor termosolare de nivel termic relativ redus, ieftine și eficiente. O motivație imediată este aceea că instalațiile termosolare de temperatură relativ joasă (50- 80 °C) funcționează cu cele mai mari randamente (40-50%) și, în general, sunt simple din punct de vedere constructiv și se pot adapta la situațiile cele mai diverse.

Prin înlocuirea parțială a combustibililor clasici pentru încălzire se fac economii și, în plus, se reduc și noxele inerente procesului de ardere, adăugându-se, ca element gratuit, îmbunătățirea calității mediului ambiant.

Bitumul este unul din componentele utilizate la prepararea unora dintre mixturile asfaltice necesare construcției de șosele și autostrăzi; cantitățile folosite fiind în general foarte mari, materialul este depozitat în bataluri de mare capacitate de unde, pentru a putea fi extras, trebuie fluidizat prin încălzire. Se identifică trei secvențe în procesul de fluidizare:

- a) încălzirea până la temperaturi de 50-65°C pentru a-l trece din stare solidă într-o stare fluidă;
- b) continuarea procesului de încălzire până la temperaturi de 100-125°C pentru a fi extras și a fi amestecat în mixtura asfaltică;
- c) menținerea, în perioadele inactive, a nivelului termic obținut în rezervor sau batal, pentru a nu se folosi iarăși o cantitate mare de clădură la fluidizarea sa.

Bitumul are următoarele valori medii ale principalelor mărimi ce caracterizează proprietățile sale:

- penetrația la $t = 25^{\circ}\text{C}$ este de 0.0085 m;
- punctul de înmuiere este de 47.5°C ;
- ductilitatea la $t = -25^{\circ}\text{C}$ este de 1.30 m;
- punctul de rupere este de -19°C ;
- densitatea la $t = 25^{\circ}\text{C}$ este de 1050 kg/m^3 .

Temperatura de înmuiere relativ scăzută (fluidizarea) crează posibilitatea ca prima secvență din procesul de încălzire a bitumului să fie realizată în instalații termosolare.

În cadrul Departamentului de Fizică de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara au fost efectuate pe parcursul mai multor ani cercetări relativ la problema fluidizării bitumului folosind energia solară; studiile au fost publicate în reviste din România (8 lucrări) și în Renewable Energy UK (o lucrare).

Lucrarea [1] prezintă instalația industrială pentru preîncălzirea bitumului folosind energia solară, aflată în localitatea Săcălaz (Jud.Timiș), construită de specialiștii universității pentru Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara.

Lucrarea [2] prezintă o instalație industrială cu același scop, pentru un batal de mare capacitate ($3 \cdot 10^4 \text{ kg}$).

Lucrările [3.6] prezintă principalele caracteristici ale instalațiilor solare construite și studiate la Departamentul de Fizică, destinate încălzirii bitumului.

Lucrarea [7] prezintă rezultatele studiului relativ la posibilitatea încălzirii bitumului aflat în rezervoare cilindrice, folosind energia solară.

Lucrările [8, 9] prezintă câmpul termic, respectiv stratificarea termică, în masa de bitum încălzit cu aport solar.

Lucrarea de față prezintă o sinteză a rezultatelor din cercetările publicate și o extindere pe baza unor noi măsurători, efectuate în condiții naturale.

2. INSTALAȚII DE LABORATOR DESTINATE STUDIULUI ÎN CONDIȚII NATURALE

Instalațiile de laborator prezentate în continuare au fost concepute și construite la Departamentul de Fizică de la Univ. „Politehnica” din Timișoara, cu scopul de a

evalua contribuția solară la încăzirea bitumului din diverse tipuri de rezervoare utilizate în practică.

Instalație cu anvelopă de sticlă semicilindrică. Instalația este prezentată în figura 1 [2,3,5,6,] și cuprinde următoarele piese: un cilindru din tablă de fier – 1, vopsit în negru, suportul pentru anvelopă – 2, suport izolator termic pentru cilindru – 3, anvelopă din lamele de sticlă – 4, termometru – 5 (măsoară T_c temperatura din colector și T_a temperatura ambientă), dispozitiv pentru modificarea unghiului de înclinare a axei rezervorului cilindric față de planul orizontal – 6.

Rezervorul conține $M = 6,4$ kg bitum, are dimensiunile: lungimea $l = 0,30$ m, diametrul $d = 0,15$ m și masa proprie $m = 1,17$ kg. Instalația a fost orientată cu axa principală pe direcția sud. Eroarea de măsurare a temperaturii a fost de $0,5^{\circ}\text{C}$.

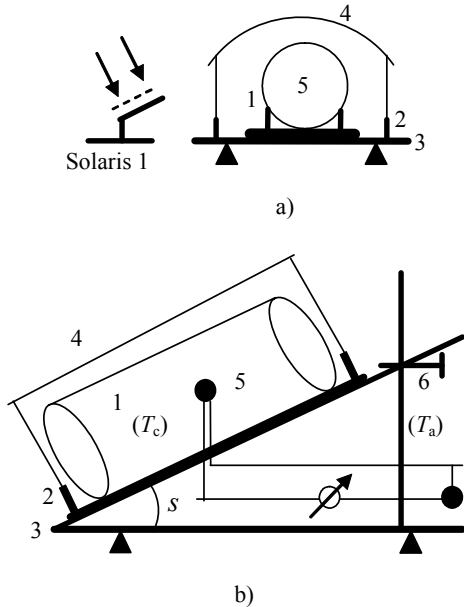


Fig. 1. Instalație cu anvelopă de sticlă semicilindrică destinată studiului experimental al fluidizării bitumului în condiții naturale:
a – secțiune transversală; b – secțiune longitudinală;
Solaris-1: albedometru.

Instalație cu anvelopă din cărămidă și sticlă. Această instalație ține seama, prin structura sa, de felul cum sunt construite batalurile de mare capacitate pentru bitum; ea este redată în figura 2,a și 2,b [2,3,7,8]; față de un batal obișnuit instalația are o serie de modificări impuse de scopul de măsurători propus. Instalația are unii pereți din cărămidă – 1, un rezervor metalic vopsit în negru – 2, placa de sticlă – 3 cu aria de $0,304$ m² înclinată la 30° față de planul orizontal, oglinda – 4

înclinată la 70° față de planul orizontal, oglinda verticală – 5 așezată pe pereții de nord, placa de sticlă – 6 așezată vertical pe pereții de sud al incintei, vopsit în negru, o placă de sticlă – 7 încastrată în pereții de sud, termometrul – 8. Rezervorul cilindric are generatoarea $l = 0,51$ m, diametrul $d = 0,255$ m, masa $m = 10$ kg și conține $M = 25,15$ kg de bitum. Sondele termometrului sunt amplasate în bitum conform schemei din figura 2,b: distanțele dintre șirurile verticale de sonde sunt $x = 127,5$ mm iar dintre șirurile orizontale sunt $y = 63,7$ mm. Axa rezervorului este pe direcția est-vest. Originea axelor pentru numerotarea sondelor (i,j) este vârful capătului superior de est al rezervorului (fig. 2,b). Pereții de est, vest și sud sunt construiți din cărămidă pe înălțimea $d/2$ (fig. 2,a); pe zidul din cărămidă sunt așezate plăci din sticlă. Conform cu figura 2,a, părțile inferioare ale pereților de sud, este și vest sunt pasivi, părțile superioare sunt cele care crează efectul de seră necesar procesului de încălzire.

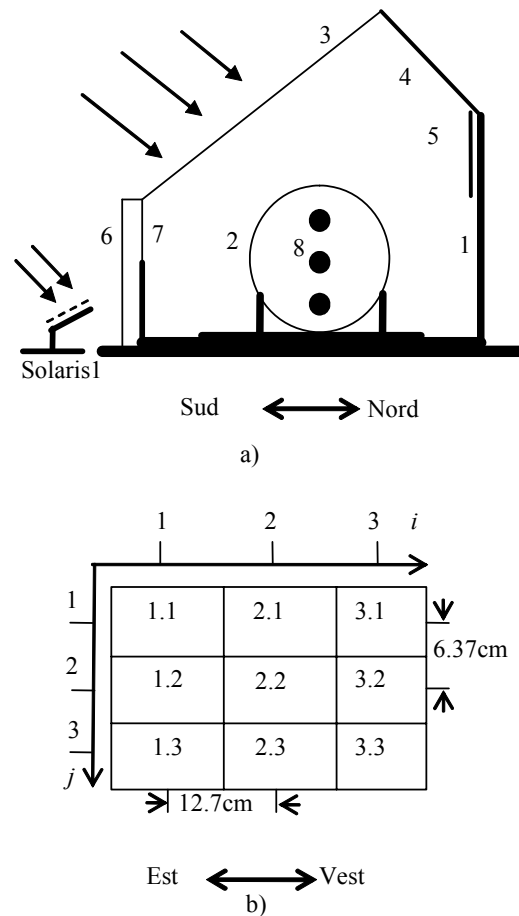


Fig. 2. Instalația cu anvelopă de cărămidă și sticlă pentru fluidizarea bitumului: secțiune transversală – a, schema cu plasarea sondelor termometrului (i,j) – b, Solaris1-albedometru.

3. REZULTATE EXPERIMENTALE

Rezultate experimentale în cazul instalației cu anvelopă semicilindrică din sticlă. Temperaturile orare în bitum t_{bk} , cea ambientală t_{ak} precum și intensitatea radiației solare I_k , prezentate în continuare, au fost măsurate în intervalul orar 09 – 17 ale zilelor de 5, 10, 15, 20, 25, 30 din luna iulie 2003. S-au calculat mediile aritmetice orare ale temperaturilor pentru a defini ziua medie a lunii iulie 2003 studiată. În tabelul 1 se prezintă variațiile medii ale temperaturii bitumului t_{bi} [°C] și ale temperaturii ambiante t_a [°C] pentru luna iulie. Se constată că temperatura bitumului atinge valoarea de 58°C la ora 3 pm iar diferența față de temperatura ambientală este de 28°C.

Căldura utilă pentru încălzirea bitumului și a rezervorului metalic s-a calculat cu relația :

$$Q_u = (M \cdot C_{bi} + m \cdot C_{Fe}) \Delta t \quad (1)$$

Tabelul 1. Valorile orare (t_{bk}), (t_{ak}), (I_k) și randamentul

Interval orar Δt [h]	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
$\langle t_{b,k} \rangle$ [°C]	21,0	24,5	30,0	36,0	42,5	47,5	50,5	54,0	56,5	56,5	53,5
$\langle t_{a,k} \rangle$ [°C]	18,5	19,5	21,0	24,5	26,5	28,5	30,0	32,5	32,5	31,0	28,5
$\langle I_k \rangle$ [W/m ²]	344	438	760	863	978	960	747	684	431	386	297
η [%]	25										

Rezultate experimentale obținute la instalația cu anvelopă din cărămidă și sticlă. Temperaturile orare în bitum și din mediul ambiant au fost măsurate în intervalul orar 09 – 17 ale zilelor de 5, 10, 15, 20, 25 și 30 din luna august 2003. S-au calculat mediile aritmetice orare pentru ziua medie a lunii august 2003. Termenul general al temperaturilor în bitum este t_{ij} unde $i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3$ (fig. 2,b). În figura 3 se prezintă distribuția temperaturilor medii în bitum la ora 04 pm pentru luna august 2003. Figura 3 arată că, la sfârșitul zilei, temperaturile cele mai mari sunt atinse în straturile superioare din apropierea peretelui metalic receptor al radiației solare [7,8].

$t_{1,1}$ 57.0 °C	$t_{2,1}$ 63.0 °C	$t_{3,1}$ 59.0 °C
$t_{1,2}$ 45.0 °C	$t_{2,2}$ 44.0 °C	$t_{3,2}$ 44.5 °C
$t_{1,3}$ 43.5 °C	$t_{2,3}$ 43.0 °C	$t_{3,3}$ 46.0 °C

Fig. 3. Distribuția temperaturilor, t_{ij} [°C], la ora 04 pm, august 2003.

în care: C_{bi} [J/kg.K] este căldura specifică a bitumului; C_{Fe} [J/kg.K] – căldura specifică a fierului din care este construit rezervorul; Δt – diferența dintre temperatura maximă a bitumului și temperatura sa inițială.

Cantitatea de energie solară incidentă pe colector Q_{inc} [J] s-a calculat cu relația:

$$Q_{inc} = 3600 \cdot A_c \cdot \sum_{k=1}^n I_k \quad (2)$$

În relația (2), A_c [m²] este aria secțiunii eficiente a rezervorului orientat spre sud ($A_c = l \cdot d$), k este numărul de ordine al măsurătorii, n este numărul de măsurători, I_k este intensitatea radiației solare la ora indicată de numărul de ordine k .

Eficiența colectorului s-a calculat cu relația:

$$\eta = Q_u / Q_{inc} \quad (3)$$

Pentru situația prezentată în lucrare randamentul conversiei a fost $\eta = 25\%$.

Pentru calculul eficienței energetice a instalației s-a procedat astfel:

– cantitatea de energie incidentă pe suprafața colectoare în timpul τ s-a calculat cu relația:

$$Q_{inc,k} = I_{inc,k} \cdot A_c \cdot \tau \quad (4)$$

unde $A_c = l \cdot d$ [m²] este suprafața eficientă (aparentă) a rezervorului cilindric iar $\tau = 3600$ s;

– volumul rezervorului a fost împărțit în $n = 9$ celule, fiecare cu masa M_{ij} de 2,79 kg;

– cantitatea de căldură schimbată în timpul τ de către o celulă este

$$Q_{i,j,k} = (M_{ij} C_{bi} + m_{ij} C_{Fe}) \cdot \Delta t_{i,j,k} \quad (5)$$

unde $\Delta t_{i,j,k}$ are semnul plus dacă temperatura celulei crește în timpul dat, sau minus dacă temperatura celulei scade în timpul dat, iar m_{ij} este masa de tablă de fier aferentă fiecărei celule, cu $m_{ij} = 1,1$ kg.

– randamentul instalației la ora dată s-a calculat cu relația:

$$\eta_k = Q_{i,j,k} / Q_{inc,k} \quad (6)$$

Variația orară a eficienței este redată în figura 4. Eficiența este minimă în intervalul orar 09 – 10 și anume de 3,8% și este maximă în intervalul orar 14 – 15, cu valoarea de 7,8%.

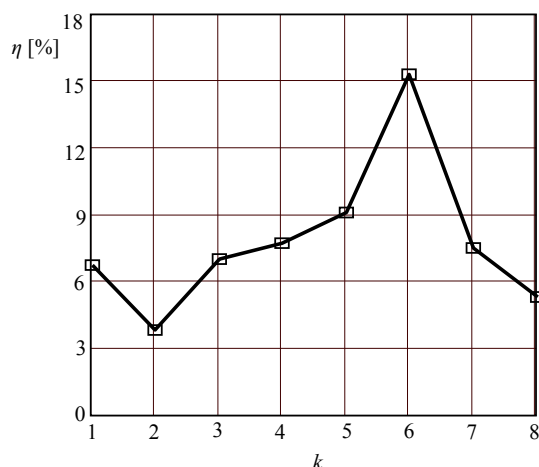


Fig. 4. Variația orară a eficienței la instalația cu anvelopă de cărămidă și sticlă.

Experimentele efectuate pentru a studia oportunitatea de a se folosi energia termosolară pentru preîncălzirea bitumului arată o serie de particularități ale procesului fizic, deși este vorba tot de o manifestare a efectului de seră. Ele sunt generate de proprietățile termice ale bitumului, de geometria instalației și de condițiile de mediu. Astfel:

- căldura se propagă foarte lent de la straturile aflate în contact cu partea însorită (deci mai caldă) a rezervorului, spre interior, din cauza conductivității foarte mici a substanței cât și pentru că bitumul se află în stare solidă și nu există curenți de convecție;

- pereții verticali ai rezervorului (bazele cilindrului) primesc radiație numai jumătate de zi și sub unghiuri din ce în ce mai nefavorabile pe măsură ce Soarele se apropie de zenit;

- de la platforma de beton, pe care se află instalația, căldura se propagă, de asemenea, lent spre părțile inferioare ale rezervorului.

Dimineața, la pornirea instalației -și a măsurătorilor- temperatura bitumului este mai ridicată decât cea ambientă, straturile interioare fiind mai calde decât cele marginale. Deși straturile superioare încep să se încălzească sub efectul radiației solare, straturile inferioare, mai calde, continuă să se răcească. Căldura pierdută de bitum se propagă spre mediul ambiant și spre straturile mai reci. Acest proces complex face ca eficiența medie orară a instalației să aibe forma indicată în figura 4.

Soluțiile experimentale adoptate – și care nu pot fi utilizate în practică, la dimensiuni mari- ne-au atras atenția asupra complexității fenomenului termic. De aici rezultă forma ce trebuie adoptată pentru o instalație solară de mare capacitate, izolația aplicată și felul în care se va folosi la maxim efectul de seră.

4. INSTALAȚIA SOLARĂ DE LA SĂCĂLAZ (JUD. TIMIȘ) PENTRU PREÎNCĂLZIREA BITUMULUI

Instalația industrială este prezentată în figura 5; ea a fost amenajată pe o instalație clasică preexistentă la care, din păcate, din lipsa resurselor, nu au fost făcute măsurători anterioare amenajărilor solare. Temperaturile au putut fi măsurate numai în interiorul capcanei solare (în aer) între acoperișul din sticlă și suprafața liberă a bitumului. Volumul de aer al capcanei solare a fost de 300 m³ iar suprafața amenajată pentru producerea efectului de seră a fost de 300 m². Elementele principale din figura 5 sunt:

- 1 – captator solar plan confecționat din sticlă;
 - 2 – acoperișul din tablă neagră;
 - 3 – țevi metalice implantate în bitum, folosite la încălzirea clasică;
 - 4 – compartiment umplut cu bitumen;
 - 5 – schimbător de căldură cu ulei pentru preîncălzirea în sistem clasic până la (90–100)⁰C;
 - 6 – tanc pentru încălzirea bitumului la (100 – 150)⁰C pentru a fi folosit ;
 - 7 – site metalice cu distanța dintre ele de 0,5 m;
 - 8 – termometre;
- A1 A2 marchează suprafața liberă a bitumului.

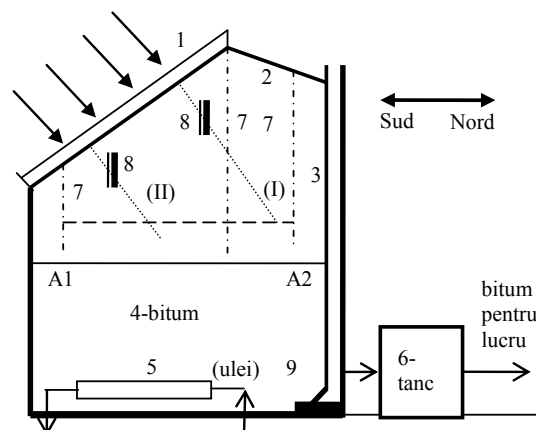


Fig. 5. Schema de principiu a instalației industriale clasice, cu unele modificări, pentru a se folosi și preîncălzirea solară a bitumului.

În mod clasic, batalul în care este depozitat bitumul este încălzit în două etape: în prima, căldura este transmisă de la schimbătoarele de căldură cu ulei (5) și de la tuburile verticale (3) în care se arde motorină sau păcură, către bitum; se atinge astfel temperatura de (90 - 100)⁰C, suficientă pentru ca bitumul să ajungă în tancul (6); aici se produce a doua etapă de încălzire, până la temperatura de (150-170)⁰C, necesară la prepararea amestecurilor asfaltice.

Cantitatea de căldură necesară pentru a menține cald, timp îndelungat, bitumul din batal poate fi diminuată folosind energia solară cu soluția propusă, care permite obținerea unei temperaturi de (50-55)°C prin acumulare succesivă. Acoperișul de sticlă construit peste cel de tablă reduce pierderile termice pe durata nopții și determină efectul de seră în timpul zilei. În tabelul 2 prezentăm variația orară a temperaturii ambiante și a celei din batal, în zona capcanei solare. Măsurătorile au fost efectuate cu instalația clasică deconectată.

Tabelul 2. Temperaturi medii

Ora (h)	9:30	10:30	12:30	14:30	16:30	18:30
$\langle t_a \rangle$ [°C]	27-5	28-5	34-0	35-0	33-5	31-0
$\langle t_{capcana} \rangle$ [°C]	38-0	47-5	55-5	56-5	55-0	52-5

Temperatura medie maximă în capcana solară este cu 27°C mai mare decât cea ambientă.

5. DISCUȚII ȘI PERSPECTIVE

Rezultatele obținute cu ajutorul instalațiilor de laborator amplasate în condiții naturale evidențiază faptul că bitumul poate fi încălzit până la temperaturi de (50 - 65)°C cu ajutorul energiei solare, valori situate peste temperatura sa de înmuiere.

Câmpul termic din masa de bitum încălzit solar este influențat de radiația solară și de geometria instalației.

Eficiența conversiei termosolare a instalațiilor de laborator folosite a fost de (8-25)%.

Instalațiile existente, sau cele ce se construiesc, pot fi amenajate suplimentar cu cheltuieli reduse, întrucât cele orientate spre sud au randamente comparabile cu instalațiile de laborator aliniate cu axa principală pe direcția est-vest. Raportul mult prea mare între dimensiunile unui batal și cel al instalațiilor experimentale folosite nu permite să se extrapoleze rezultatele măsurătorilor altfel decât ca valori orientative, nu se pot utiliza metode de similitudine. În plus, la instalația experimentală cu bazin din cărămidă au fost adăugate pe parcursul măsurătorilor suprafețe din sticlă, oglinzi etc. ce nu pot fi, în niciun caz, amplasate în cazul batalurilor industriale.

Proiectarea și construcția corespunzătoare a batalurilor, folosindu-se o capcană solară precum și o bună izolație termică, permit să se asigure:

- încălzirea stratului superior de bitum până la fluidizarea sa, fără aport de combustibili clasici;
- scurgerea bitumului din rezervorul principal în tancul de încălzire înaltă, unde se folosesc combustibili clasici;
- stocarea energiei termice în perioadele fără insolație (nocturne sau în zilele noroase) astfel încât o bună parte a căldurii necesare să nu se mai obțină prin consumarea de combustibili clasici;
- reducerea poluării în zonele de preparare a amestecurilor asfaltice, cu efecte benefice atât asupra mediului cât și a personalului ce deservește aceste instalații.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Luminosu, I., De Sabata, C., But, A., „Solar equipment for preheating bitumen”, *Thermal Science An Int. J.*, 11, ISSN 0354-9836, pp. 127-136 (2007).
- [2] De Sabata, C., Marcu, C., Luminosu, I., „Some industrial utilization of solar energy in South West Romania”, *Renewable Energy*, Elsevier Ltd (UK), 5, I, pp. 387-390, (1994).
- [3] Marcu, C., Luminosu, I., „Short report on study and utilization of solar energy at the Technical University of Timișoara, Department of Physics”, *Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara*, ISSN 1224-6034, *Matematică-Fizică*, 40(54), pp. 85-103 (1995).
- [4] Marcu, C., Luminosu, I., „Classification and performance of heliothermal collectors manufactured at Technical University of Timișoara”, *Solar Energy for Sustainable Development, International Journal, S.R.E.S. (Societatea Română de Energie Solară), filială a I.S.E.S. (International Solar Energy Society)*, București, 4(1-2), pp. 33-37 (1995).
- [5] De Sabata, C., Borneas, M., Rothenstein, B., Munteanu, A., „Bazele fizice ale conversiei energiei solare”, Editura Facla, Timișoara (Romania) (1982).
- [6] Luminosu, I., „Ridicarea randamentului captatorilor solari plani prin studiul fenomenelor fizice implicate în termoconversie”, teză de doctorat, Universitatea Politehnica din Timișoara (1993).
- [7] De Sabata, C., Mihailovici, D., Baea, R., Luminosu, I., Gangă, M., „Utilizarea energiei solare pentru încălzirea bitumului în rezervoare cilindrice de mare capacitate”, *Buletinul Științific și Tehnic, Institutul Politehnic „Traian Vuia”*, Timișoara (Romania), *Matematică-Fizică*, 2, 26(40), pp. 65-72 (1981).
- [8] Mihalca, I., Luminosu, I., Ercuta, A., Gomoiu, Gh., „Cercetări asupra preîncălzirii bitumului prin conversie termosolară”, Seminarul de Matematică și Fizică, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara (Romania), Mai-Noiembrie, pp. 127-130 (1987).
- [9] Mihalca, I., Luminosu, I., Ercuta, A., Damian I., „Câmpul termic în masa de bitum încălzit prin conversie termosolară”, Seminarul de Matematică și Fizică, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara (Romania), Mai, pp. 116-118 (1988).