

# SISTEM PENTRU CLIMATIZAREA UNEI LOCUINȚE DINTR-O FERMĂ SMART, UTILIZÂND O POMPĂ DE CĂLDURĂ

Drd. ing. Andrei DUMITRAȘCU, Dr. ing. Dragoș MANEA, Dr. ing. Marinela MATEESCU, Dr. ing. Marian POPESCU

Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Mașini și Instalații destinate Agriculturii și Industriei Alimentare - INMA, București, România

**REZUMAT.** Din analiza consumului total de energie primară din cadrul Uniunii Europene rezultă că aproximativ 82% se face în domeniul rezidențial și cel industrial, din care 47% este utilizat pentru încălzirea locuințelor. În anumite cazuri, de exemplu în scop de confort sau în anumite procese tehnologice, energia termică trebuie să aibă un potențial redus, corespunzător unor temperaturi care nu depășesc 100 °C. O soluție de valorificare a importantelor cantități de căldură din mediu este utilizarea pompelor de căldură pentru încălzire și prepararea apei calde menajere. Pompele de căldură oferă o alternativă la combustibilii clasici, contribuind în același timp și la reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>. Ele obțin aproximativ trei sferturi din energia necesară pentru încălzire din mediul înconjurător, iar pentru restul utilizează ca energie de acționare curentul electric.

**Cuvinte cheie:** energie regenerabilă, pompe de căldură.

**ABSTRACT.** From the analysis of total primary energy consumption in the European Union results that about 82% of it is allocated in the residential and industrial domain, of which 47% is used for heating. In some cases, eg for purposes of comfort or in certain technological processes, the heat must have a low potential, corresponding to temperatures not exceeding 100 °C. A way to capitalize on the sizeable amounts of heat from the environment is to use heat pumps for heating and ensuring domestic hot water. Heat pumps offer a real alternative to classic fuels, while also contributing to reducing CO<sub>2</sub> emissions. They get about three quarters of the energy required for heating from the environment and for the rest they use electricity as driving power.

**Keywords:** regenerable energy, heat pumps.

## 1. INTRODUCERE

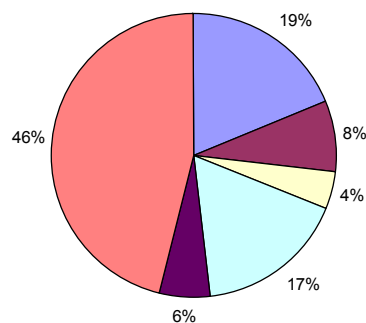
Pompele de căldură pot furniza în mod obișnuit căldură până la temperaturi de 60÷70 °C. Spre deosebire de un boiler, o pompă de căldură transferă căldura, nu o produce. Pompele de căldură mai sunt cunoscute și sub numele de sisteme de geo-schimb și nu trebuie confundate cu încălzirea geotermală, posibilă doar în zonele în care din pământ ies aburi fierbinți datorită izvoarelor subterane calde [3].

Deși majoritatea pompelor de căldură sunt acționate de energie electrică, tot se reduce consumul total de combustibili fosili, atunci când sunt înlocuite sistemele convenționale de încălzire. Chiar și atunci când energia electrică este produsă din combustibili fosili, pompele de căldură pot reduce emisiile de dioxid de carbon cu până la 50%, în comparație cu cazanele clasice [6,7].

Pompele de căldură extrag energia necesară pentru încălzire din energia solară acumulată în mediul ambiant.

Sursele naturale care depind în mică măsură de temperatura exterioară sunt cele mai indicate a fi

utilizate ca surse de energie primară pentru pompele de căldură. Aerul are cea mai mare variație, deci e cel mai contraindicat. Solul prezintă capacitatea de a înmagazina sezonier căldura provenită de la soare, lucru care conduce la obținerea unei temperaturi relativ constante a acestei surse de căldură și la atingerea unor coeficienți sezonieri de performanță de valori ridicate (Fig. 1, Fig 2).



**Fig. 1** - Distribuția radiației solare (19% absorbită de vapori, ozon și praf; 8% disipată în atmosferă; 4% absorbită de nori; 17% reflectată de nori; 6% reflectată de pământ; 46% absorbită de pământ).

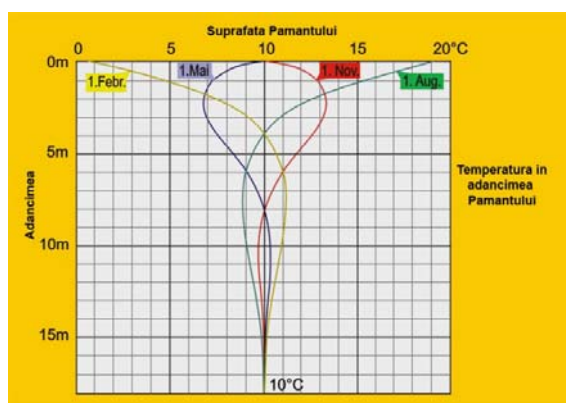


Fig. 2 - Variația temperaturii solului în funcție de adâncime.

Contribuția energiei geotermale – adică a aceluși flux de căldură îndreptat de la interiorul către exteriorul pământului – este atât de redusă încât poate fi neglijabilă. Rezultă deci că energia extrasă din sol de către acest tip de pompe de căldură provine aproape exclusiv de la soare [Fig.1,2,3].

Căldura geotermală poate fi o sursă de căldură acolo unde apa freatică este foarte puțină sau lipsește total. Adâncimea forajelor atinge 100...200m.

Acest tip de pompă de căldură este întotdeauna conectat la un sistem de agent intermediar realizat din conducte de plastic. Costurile ridicate ale operațiunilor de foraj împiedică însă utilizarea căldurii geotermale ca sursă pentru pompele de căldură domestice [1,2,3].

## 2. FUNCȚIONAREA UNEI POMPE DE CĂLDURĂ

Pompa de căldură cu comprimare de vapori funcționează după ciclul Carnot inversat. Modul său de funcționare este similar modului de funcționare al unui frigider. În cazul frigiderului, agentul de răcire scoate căldura cu ajutorul vaporizatorului, iar prin intermediul condensatorului aparatului, acesta se transferă în încăperea. În cazul pompei de căldură, căldura se extrage din mediul înconjurător (sol, apă, aer) și se conduce la sistemul de încălzire. Agentul de lucru, un lichid care atinge punctul de fierbere la o temperatură redusă, se conduce într-un circuit și consecutiv se evaporă, se comprimă, condensează și se destinde. În vaporizator se află agent de lucru lichid la presiune redusă. Nivelul de temperatură al căldurii din vaporizator este mai ridicat decât domeniul de temperaturi de fierbere corespunzător presiunii de lucru. Această diferență de temperatură conduce la o transmisie a căldurii asupra agentului, iar agentul de lucru fierbe și se vaporizează (Fig. 3).

Vaporii reci de agent frigorific intră în compresor, unde, cu ajutorul energiei electrice, se produce creșterea de presiune și temperatura a

acestora. La ieșirea din compresor, vaporii fierbinți de agent frigorific vor avea  $T = \text{cca. } 73^{\circ}\text{C}$  și  $p = \text{cca. } 13 \text{ bar}$ .

Vaporii de agent frigorific intră în condensator (schimbător de căldură), unde se produce transferul de căldură de la vaporii fierbinți, la apa din circuitul închis al sistemului de încălzire al casei ( $T$  tur a apei în circuitul de încălzire este de  $35^{\circ}\text{C}$  pentru încălzirea în pardoseala și de  $50^{\circ}\text{C}$  pentru calorifere). La ieșirea din condensator, în urma cedării caldurii, agentul frigorific este în stare lichidă, cu  $T = \text{cca. } 48^{\circ}\text{C}$  și  $p = \text{cca. } 13 \text{ bar}$ .

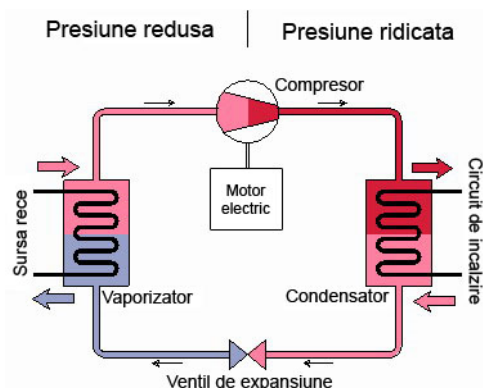


Fig. 3 - Schema funcțională a unei pompei de căldură.

## 3. VARIAȚIA EFICIENȚEI ENERGETICE A POMPEI DE CĂLDURĂ ÎN FUNCȚIE DE DIFERENȚA DE TEMPERATURĂ

Eficiența unei pompei de căldură crește o dată cu scăderea diferenței de temperatură între sursa rece și agentul termic (Fig.4). Atunci când spunem că o pompă de căldură are  $\text{COP}=5$  (precizând și diferența de temperatură) spunem de fapt că ea produce 5 kW putere termică cu 1kW putere electrică. Putem spune chiar - că acesta ar fi "randamentul" pompei de căldură - dar faptul că este supraunitar ar induce în eroare și de aceea s-a convenit să fie numit coeficient de performanță.

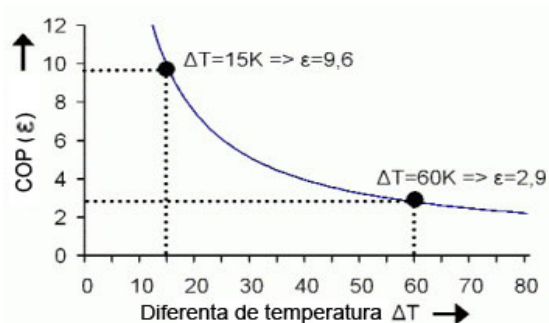


Fig. 4 - Variația eficienței energetice a pompei de căldură în funcție de diferența de temperatură.

#### 4. CLASIFICAREA POMPELOR DE CĂLDURĂ

##### - Pompa de căldură aer – apă

Cu toate că pompa de căldură aer – apă are cea mai scăzută eficiență dintre toate tipurile la care facem referire, ea este, alături de pompa de căldură sol-apă, una dintre cele mai vândute din Europa. Sistemul aer-apă este un sistem relativ simplu de montat și nu necesită lucrări speciale de amenajare (șăpături, foraje, etc.). Dezavantajul major al sistemului este faptul că nu poate funcționa monovalent la temperaturi foarte scăzute (începând de la cca. 15°C).

##### - Pompa de căldură apă – apă

Apa freatică este un bun acumulator pentru căldura solară. Datorită nivelului de temperatură constant al sursei de căldură, indicele de putere al pompei de căldură se menține de-a lungul anului ridicat și constant. Din păcate apa freatică nu se găsește în cantitate suficientă în toate zonele și nu are o calitate corespunzătoare, dar acolo unde condițiile permit, merită să se utilizeze acest sistem.

##### - Pompa de căldură sol – apă

Pompa de căldură sol-apă este foarte răspândită comparativ cu cea apă-apă și are ca "sursă" căldura solară acumulată în straturile superioare ale Pamântului. Începând de la o anumită distanță în sol (cca. 15 m), temperatura rămâne relativ constantă, cu fiecare 30 m în adâncime temperatura crescând doar cu cca. un grad Celsius (Fig.2). Căldura din sol determinantă pentru preluarea de căldură este energia solară acumulată care prin radiație directă prin transfer de căldură din aer sau din precipitații se transmite solului. Aceasta este și sursa de căldură care este responsabilă de regenerarea relativ rapidă a solului răcit după o perioadă de încălzire. Sistemele de captare din sol mai sunt numite și sisteme cu "bucă închisă" [4,6,7].

#### 5. STUDIUL DE CAZ

##### *Datele de intrare*

- o clădire cu suprafața de 200 m<sup>2</sup>; înălțimea medie a încăperilor H = 2,50 m;
- alternativele: centrală cu metan, gaz lichiefiat (GPL), motorină sau încălzire electrică;
- există posibilități de captare a sursei reci: apă freatică, aer, sol;
- există rețea trifazică de energie electrică.

##### *Alegerea pompei de căldură*

Stabilirea necesarului de încălzire se face în conformitate cu sistemul folosit în acest moment în țările vest-europene [5,7].

Calculul sarcinii termice necesare se raportează la metrul pătrat de suprafață, luându-se în calcul înălțimea maximă a încăperii H = 3m (înălțime tipică majorității încăperilor). Acest sistem se aplică în toată Europa de vest, normele și reglementările legale în domeniu folosind numai acest sistem.

Făcând o analiză comparativă a diferitelor tipuri de pompe de căldură, în funcție de natura sursei de energie utilizate, datele sunt sintetizate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Analiză comparativă a diferitelor tipuri de pompe de căldură

Tip	Aer–Apă	Apă–Apă	Sol–Apă
Valoare COP	mică	mare	mare
Valoare EER	mică	mare	mare
Variația COP în funcție de condițiile climatice	variabil	constant	constant
Variația EER în funcție de condițiile climatice	variabil	constant	constant
Costuri de instalare	mici	mari	foarte mari
Siguranța în funcționare	mică	mare	mare
Putere termică	mică	foarte mare	mare
Posibilitatea răcirii pasive	nu	da	numai la modelele cu sonde verticale

De aici rezultă că este avantajoasă alegerea unei pompe de tip „apă-apă”.

În cele ce urmează, se va folosi la calculul necesarului termic valoarea de 45 W/ m<sup>3</sup>, normă pentru construcții noi (reglementare din 2002). Puterea termică a pompei va fi de 200 m<sup>2</sup> x 2,5 m x 45 W/m<sup>3</sup> = 22500 W = 22,5 kW. Dimensionarea corectă a pompei de căldură este esențială pentru durata ei de serviciu. O pompă supradimensionată, pe lângă faptul că e mai scumpă, are un regim incorect de funcționare cu porniri și opriri mai dese. O PDC subdimensionată funcționează mai mult și cu pauze mici. E preferabil, să se subdimensioneze (cu anumite limite) decât să se supradimensioneze o pompă de căldură. Așadar, se alege o pompă de căldură de 20 kW.

Datorită prețului relativ ridicat al unei pompe de căldură, este neeconomic să fie încălzite spații prost izolate, care solicită puteri termice ridicate. Este preferabil să se izoleze mai bine clădirea decât să se mărească puterea sursei de încălzire [7].

##### *Comparație între variante clasice de climatizare și varianta cu pompă de căldură*

Prezentul articol are drept obiectiv analiza consumurilor de energie pentru atingerea confortului termic al locuinței, compararea costurilor de exploatare în cazul utilizării diverselor surse de producere a

## PROGRESUL TEHNOLOGIC, REZULTAT AL CERCETĂRII

energiei și evaluarea investițiilor și a cheltuielilor de întreținere pentru 20 de ani de exploatare [5].

*I. Structura anvelopei construcției din punct de vedere al exigenței energetice (protecție termică, economie de energie)*

Elementele anvelopei sunt după cum urmează, având în vedere o protecție termică a locuinței, folosind un model corespunzător normelor în vigoare:

- pereți exteriori zidiți din POROTHERM (250mm), tencuiți (50mm) și plăcați cu polistiren expandat (50mm). Coeficientul de transfer termic  $K = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

- coloanele și centurile din beton (250mm) placate cu polistiren expandat (50mm),  $K = 0,568 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

- tavanul izolat cu vată minerală (150mm),  $K = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

- geamurile și ușile termopan cu coeficientul de transfer termic  $K = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

*II. Norme privind încălzirea*

2.1. Temperatura exterioară de calcul  $-18^\circ\text{C}$ , temperatura medie interioară  $+20^\circ\text{C}$

2.2. Suprafața încălzită totală, desfașurată, cca  $250 \text{ m}^2$

Deci, pentru menținerea temperaturii interioare în perioada de încălzire, aportul de căldură trebuie să fie egal cu pierderile însumate de căldură, adică  $13 \text{ kW}$ . Consumul anual de căldură, pentru încălzire este  $161 \text{ GJ}$ . Exprimând această căldură în volume de combustibil se obțin următoarele cantități:

a. metan (centrală în condensatie)  $4426 \text{ m}^3/\text{an}$  sau  $\{0,8817 \text{ lei/m}^3\}$ ;

b. metan (centrala simplă)  $5261 \text{ m}^3/\text{an}$  sau  $\{0,8817 \text{ lei/m}^3\}$ ;

c. pompa de căldură  $5400 \text{ kWh/an}$  sau  $\{0,356 \text{ lei/kWh}\}$ ;

d. GPL (centrală în condensatie)  $5573 \text{ l/an}$  sau  $\{2,15 \text{ lei/l}\}$ ;

e. GPL (centrală simplă)  $6\ 626 \text{ l/an}$  sau  $\{2,15 \text{ lei/l}\}$ ;

f. motorină  $5\ 775 \text{ l/an}$  sau  $\{3,48 \text{ lei/l}\}$ ;

g. curent electric  $44722 \text{ kWh/an}$  sau  $\{0,356 \text{ lei/kWh}\}$ .

Ținând cont de prețurile de pe piața României, la resurse energetice, costurile de întreținere pentru încălzire ar fi, la  $4,75 \text{ lei/Euro}$ :

a.  $1148 \text{ €}$ ; b.  $1365 \text{ €}$ ; c.  $565 \text{ €}$ ; d.  $3524 \text{ €}$ ; e.  $4190 \text{ €}$ ; f.  $5911 \text{ €}$ ; g.  $4683 \text{ €}$ .

*III. Norme privind climatizarea aerului în timp de vară*

Climatizarea se realizează implicând în instalația ventiloconvectoarelor o mașină frigorifică. Din punct de vedere al schimbului termic între condensatorul mașinii frigorifice și mediu, acesta poate fi realizat în două moduri: cu aer sau cu apă.

Eficiența frigorifică teoretică se determină astfel:

$$E = T_f / (T_c - T_f),$$

unde:

$T_f$  - temperatura absolută de vaporizare a agentului frigorific,  $T_f = 273 + 5^\circ\text{C} = 278 \text{ °K}$ , ( $+5^\circ\text{C}$  este temperatura medie de vaporizare a agentului frigorific pentru instalațiile de climatizare cu ventiloconvectoare),

$T_c$  - temperatura absolută de condensare a agentului frigorific,  $T_c = 273 + t_m^\circ\text{C} + 5$ , unde  $t_m^\circ\text{C}$  - temperatura mediului de răcire (apa din puț, aerul exterior).

În cazul utilizării aerului exterior ca mediu de răcire, acesta având temperatura medie de calcul  $+28^\circ\text{C}$ , obținem o eficiență frigorifică teoretică de:  $E = 278 / (273 + 5 + 28 - 278) = 9,93$ , adică cu fiecare kWh consumat de energie electrică se produc  $9,93 \text{ kWh}$  de frig. În mod real, ținând cont că există pierderi ireversibile, eficiența frigorifică la răcirea cu aer este cca  $2,5 \sim 3$ .

Ținând cont că pânza freatică este o sursă cu temperatura constantă pe tot timpul anului, este oportun de utilizat ca mediu de răcire pentru condensatorul mașinii frigorifice apa din puț, care are temperatura  $+10^\circ\text{C}$ . Atunci, eficiența frigorifică teoretică este:  $E = 278 / (273 + 5 + 10 - 278) = 27,8$ .

Ca ordin de mărime, ținând cont că pentru climatizare diferența dintre temperaturile interioară și exterioară de calcul este de cca 3 ori mai mică față de diferența dintre temperaturile interioară și exterioară de calcul pentru încălzire, insolația, aparatele electrice și oamenii din interior fiind surse de căldură, putem accepta necesarul de putere frigorifică egal cu  $9 \text{ kW}$ .

Sezonul de climatizare fiind de cca. 100 zile sau 2400 ore, ar fi nevoie de cca.  $21600 \text{ kWh}$ , care ar fi posibil de obținut consumând energie electrică: în cazul răcirii condensatorului cu aer  $21\ 600 / 2,5 = 8\ 640 \text{ kWh}$ ; în cazul răcirii condensatorului cu apă din puț  $21\ 600 / 7 = 3\ 086 \text{ kWh}$ .

Ceea ce reprezintă costuri de întreținere pe an pentru climatizare  $905 \text{ €}$ , respectiv  $323 \text{ €}$ .

*IV. Considerații privind investițiile inițiale*

Se compară două moduri de realizare a confortului termic.

1. Centrală termică în condensatie pentru iarnă și chiller răcit cu aer pentru vară. Făcând o medie a prețurilor produselor oferite de diverși producători, investiția pentru utilajul principal este:

- centrală termică în condensatie,  $5000 \text{ €}$ ;
- chiller,  $4000 \text{ €}$ .

2. Pompă de caldura apă-apă cu inversie pentru iarnă și pentru vară. Atunci investiția pentru utilajul principal, făcând din nou o medie între prețurile diverșilor producători este:

- pompă de căldură,  $20 \text{ kW}$ ,  $6\ 500 \text{ €}$ .

## CLIMATIZAREA UNEI LOCUINȚE DINTR-O FERMĂ SMART, UTILIZÂND O POMPĂ DE CĂLDURĂ

### *V. Amortizarea investițiilor*

Termenul mediu de exploatare a utilajului, pentru toate variantele, este 20 ani.

Pentru varianta 1: investiția inițială  $5000 + 4000 = 9000$  €; costurile de întreținere anuale pentru încălzire și climatizare  $1148 + 905 = 2053$  €; suma cheltuielilor, pentru 20 ani, este  $9000 + 20 \times 2053 = 50060$  €.

Pentru varianta 2: investiția inițială 6500 €; costurile de întreținere anuale pentru încălzire și climatizare sunt  $792 + 323 = 1115$  €; suma cheltuielilor, pentru 20 ani, este  $6500 + 20 \times 1115 = 28800$  €.

- [2] Dănescu A., Bucurenciu S, Petrescu St. - *Utilizarea energiei solare*, Editura tehnică, București, 1980
- [3] Fara V., Grigorescu R. - *Conversia energiei solare în energie termică – principii și aplicații*, Editura Științifică și enciclopedică, București, 1982
- [4] Florescu Al. ș.a. – *Implementarea economică a pompelor de căldură, Comitetul Național Român al Conferinței Mondiale pentru Energie*, București, 1991
- [5] Luță C. - *Încălzirea grupurilor mici de locuințe*, Editura tehnică, București, 1996
- [6] Manea D. - *Pompa de căldură*, Editura tehnică, București, 1981
- [7] Radcenco Vs. ș.a. - *Instalații de pompe de căldură*, Editura tehnică, București, 1985

## 6. CONCLUZII

Din cele expuse mai sus rezultă în mod clar avantajul pe care îl prezintă sistemul de climatizare cu pompă termică, față de unul clasic.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Avramescu A., Cartianu P. - *Energetica mondială în perspectiva sfârșitului de mileniu*, Editura Academiei, București, România, România, 1985

## Acknowledgements / mulțumiri

Aceasta lucrare a fost realizată cu sprijinul Ministerului Cercetării și Inovării, în cadrul programului NUCLEU 2019 - 2022, proiectul PN 19 10 02 01- Dezvoltarea de tehnologii inovative în cadrul fermelor SMART și al programului PNCDI III, Proiectul Tehnologii inovative pentru irigarea culturilor în condiții de climat arid, semiarid și subumed - uscat, cod proiect PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0254, contract nr. 27PCCDI / 2018.

## Despre autori

Drd. ing. **Andrei DUMITRAȘCU** este de profesie inginer mecanic, absolvent al Institutului Politehnic București, Facultatea de Aeronave, doctorand în cadrul Școlii Doctorale Ingineria Sistemelor Biotehnice, Inginerie Mecanică. Este angajat al Institutului Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Mașini și Instalații destinate Agriculturii și Industriei Alimentare - INMA București, cu funcția de Cercetător Științific gradul III. Are o experiență de peste 30 de ani în proiectarea utilajelor pentru morărit și silozuri, a instalațiilor de irigat și a mașinilor agricole pentru protecția plantelor.

Dr. ing. **Dragoș MANEA** este cercetător de profesie inginer mecanic, absolvent al Universității Politehnica București, Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice, doctor în Inginerie Mecanică la Universitatea Transilvania din Brașov și absolvent de studii postdoctorale. Este angajat în cadrul INMA București cu funcția de Cercetător Științific gradul I. În prezent este Șeful Colectivului "Tehnologii și echipamente tehnice pentru protecția culturilor agricole specifice conceptului agricultură de precizie" din cadrul Departamentului Cercetare - Dezvoltare - Inovare al INMA.

Dr. ing. **Marinela MATEESCU** este de profesie inginer mecanic, absolvent al Institutului Politehnic București, Facultatea de Mecanică Agricolă, doctor în Inginerie Mecanică la Universitatea Transilvania din Brașov. Este angajată în cadrul INMA București cu funcția de Cercetător Științific gradul II. Are o experiență de peste 30 de ani în domeniul tehnologiilor de mecanizare și echipamentelor tehnice pentru lucrările solului, înființarea și întreținerea culturilor.

Dr. ing. **Marian Popescu** este de profesie inginer mecanic, absolvent al Institutului Politehnic București, Facultatea TCM, doctor în Inginerie Mecanică, la Universitatea Transilvania din Brașov. Este angajat în cadrul INMA București cu funcția de Asistent de Cercetare Științifică. Are o experiență de peste 40 de ani în proiectarea instalațiilor de irigat și a mașinilor agricole pentru protecția plantelor.