

### 3. ENERGIA GEOTERMALĂ

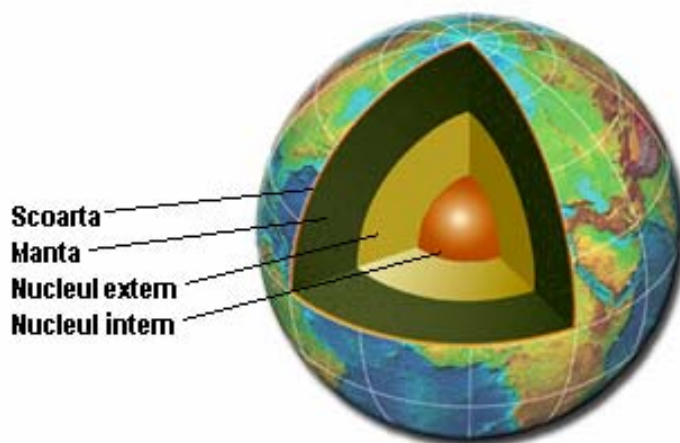
Grafica acestui capitol este realizată în colaborare cu:  
ing. Ioan VERES și stud. Cristian TĂNASE

#### 3.1. PARTICULARITĂȚI ALE ENERGIEI GEOTERMALE

##### 3.1.1. Considerații privind energia geotermală

*Energia geotermală* reprezintă diverse categorii particulare de energie termică, pe care le conține scoarța terestră. Cu cât se coboară mai adânc în interiorul scoarței terestre, temperatura crește și teoretic energia geotermală poate să fie utilizată tot mai eficient, singura problemă fiind reprezentată de adâncimea la care este disponibilă această energie.

În imaginea din figura 3.1 sunt prezentate principalele zone din care este alcătuit interiorul Pământului.



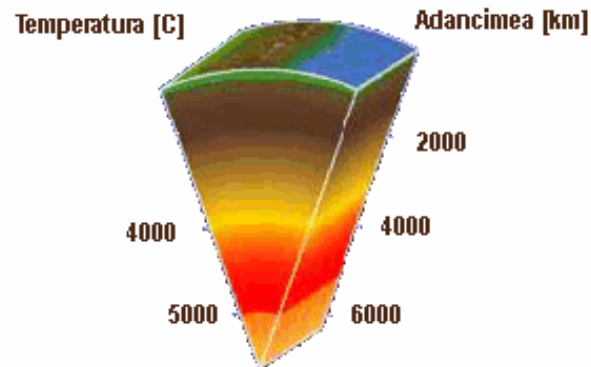
**Fig. 3.1.** Principalele zone din care este alcătuit Pământul  
<http://academic.evergreen.edu>

Toate zonele prezentate, sunt divizate la rândul lor în mai multe subzone. Cele patru zone principale sunt în ordine, dinspre suprafața Pământului spre centrul acestuia, cu dimensiunile aproximative:

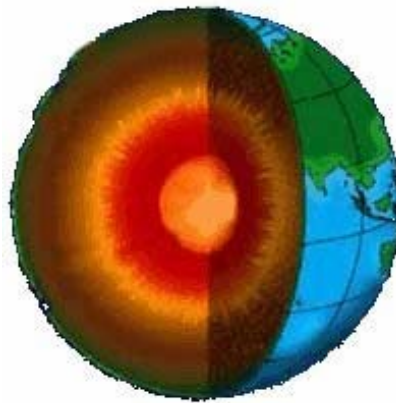
- Scoarța                      0... 100 km;
- Mantaua                    100... 3000 km;
- Nucleul extern            3000... 5000 km;
- Nucleul intern            5000... 6378 km.

Evident, temperatura Pământului crește dinspre suprafață spre centru, unde atinge o valoare de cca. 6000°C, care însă nu a fost încă precis determinată de oamenii de știință. În figura 3.2 este prezentată variația aproximativă a temperaturii în interiorul Pământului, iar figura 3.3 prezintă o imagine sugestivă a temperaturii principalelor zone din interiorului Pământului.

### Variația temperaturii în interiorul Pământului



**Fig. 3.2.** Variația temperaturii dinspre scoarța spre centrul Pământului  
[academic.evergreen.edu](http://academic.evergreen.edu)



**Fig. 3.3.** Variația temperaturii în zonele din interiorul Pământului  
<http://academic.evergreen.edu>

Este interesant de remarcat că *99% din interiorul Pământului se găsește la o temperatură de peste 1000°C, iar 99% din restul de 1%, se găsește la o temperatură de peste 100°C.* Aceste elemente sugerează că **interiorul Pământului reprezintă o sursă regenerabilă de energie** care merită toată atenția și care trebuie exploatată într-o măsură cât mai mare.

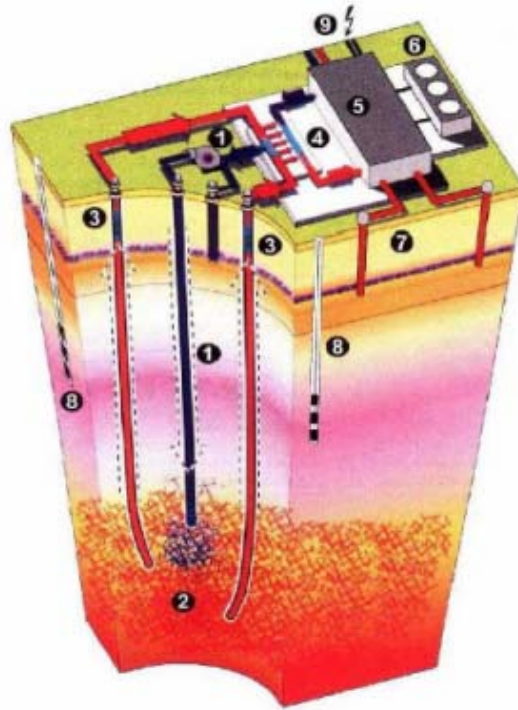
Energia geotermală este utilizată la scară comercială, începând din jurul anilor 1920, când a început să fie utilizată în special căldura apelor geotermale, sau cea provenită din gheizere, pentru încălzirea locuințelor, sau a unor spații comerciale.

Din punct de vedere al potențialului termic, energia geotermală poate fi clasificată în două categorii:

- Energie geotermală de potențial termic ridicat;
- Energie geotermală de potențial termic scăzut.

### 3.1.2. Energia geotermală de potențial termic ridicat

Acest tip de energie geotermală este caracterizată prin nivelul ridicat al temperaturilor la care este disponibilă și poate fi transformată direct în energie electrică sau termică. În figura 3.4 este prezentată o schemă de principiu a unei centrale electrice geotermale, iar în figura 3.5 este prezentată o asemenea centrală electrică geotermală.



**Fig. 3.4.** Părțile componente ale unei centrale electrice geotermale  
1 – foraj pt. injecția apei și pompe de injecție; 2 – zona de joncțiune între foraje;  
3 – foraje de producție; 4 – schimbător de căldură;  
5 – turbinele și generatoarele electrice; 6 – sistem de răcire;  
7 – stocare energie de potențial termic ridicat în sol; 8 – sistem de monitorizare seismică; 9 – consumatori electrice  
[www.renewables-made-in-germany.com](http://www.renewables-made-in-germany.com)



**Fig. 3.5.** Centrală electrică geotermală din Kamchatka, Rusia  
[www.renewables-made-in-germany.com](http://www.renewables-made-in-germany.com)

Energia electrică se obține în prezent din energie geotermală, în centrale având puteri electrice de 20...50MW, care sunt instalate în țări ca: Filipine, Kenia, Costa Rica, Islanda, SUA, Rusia, etc.

Din categoria surselor de energie geotermale de potențial termic ridicat, fac parte și gheizerele cu apă fierbinte sau abur, de tipul celor prezentate în figura 3.6.



**Fig. 3.6.** Gheizer

[www.renewables-made-in-germany.com](http://www.renewables-made-in-germany.com)

Căldura conținută de asemenea gheizere, ca și de apele geotermale, poate fi captată și utilizată cu ajutorul unor schimbătoare de căldură, cel mai adesea cu plăci.

### 3.1.3. Energia geotermală de potențial termic scăzut

Acest tip de energie geotermală este caracterizată prin nivelul relativ scăzut al temperaturilor la care este disponibilă și poate fi utilizată numai pentru încălzire, fiind imposibilă conversia acesteia în energie electrică.

Energia geotermală de acest tip, este disponibilă chiar la suprafața scoarței terestre, fiind mult mai ușor de exploatat decât energia geotermală de potențial termic ridicat, ceea ce reprezintă un avantaj. În figura 3.7 se observă că începând de la adâncimi foarte reduse, temperatura solului poate fi considerată relativ constantă pe durata întregului an:

- La 1m temperatura solului variază între 5...15°C;
- La 1,5...3m temperatura solului variază între 7...13°C;
- La 4,5m temperatura solului variază între 8...12°C;
- La 6...10m temperatura solului variază între 9...11°C;
- La 10...18m temperatura solului variază cu mai puțin de 1°C în jurul valorii de 10°C;
- La peste 18m temperatura solului este constantă, având valoarea de 10°C.

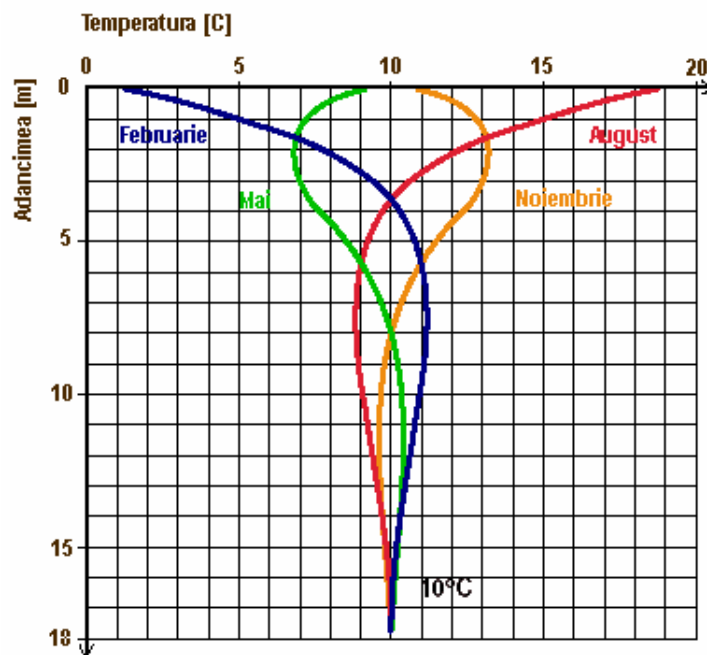


Fig. 3.7. Variația temperaturii în sol, în zona de la suprafața scoarței terestre  
www.viessmann.com

Exploatarea energiei geotermale de potențial termic scăzut necesită **echipamente special concepute pentru ridicarea temperaturii până la un nivel care să permită încălzirea și/sau prepararea apei calde**, ceea ce reprezintă un dezavantaj față de energia geotermală de potențial termic ridicat. Echipamentele menționate, poartă denumirea de **pompe de căldură** și au același principiu de funcționare ca al mașinilor frigorifice, funcționând cu energie electrică.

Parametrul de performanță al acestor echipamente este **eficiența pompei de căldură**,  $\epsilon_{pc}$  definită prin raportul dintre fluxul termic furnizat  $\dot{Q}$  și puterea electrică absorbită P:

$$\epsilon_{pc} = \frac{\dot{Q}}{P}$$

### 3.1.4. Pompele de căldură și sursele de energie geotermală

Pompele de căldură, pot să absoarbă căldura din sol, de la diferite adâncimi, din apa freatică, din apele de suprafață (dar numai cu condiția să nu existe pericolul ca apa să înghețe), sau chiar din aer (dar numai în perioadele în care temperatura aerului este suficient de mare, pentru a permite funcționarea pompelor de căldură, cu o eficiență ridicată). *Indiferent de sursa de căldură, pompele de căldură utilizează indirect, energia solară acumulată în sol, apă sau aer.*

Câteva dintre condițiile pe care trebuie să le îndeplinească sursa de căldură, pentru a putea fi utilizată de către pompele de căldură sunt următoarele:

- Disponibilitate în cantitate suficientă;
- Capacitate cât mai mare de a acumula căldură;
- Nivel cât mai ridicat de temperatură;
- Capacitate de regenerare suficient de mare;
- Posibilitate de captare în condiții cât mai economice.

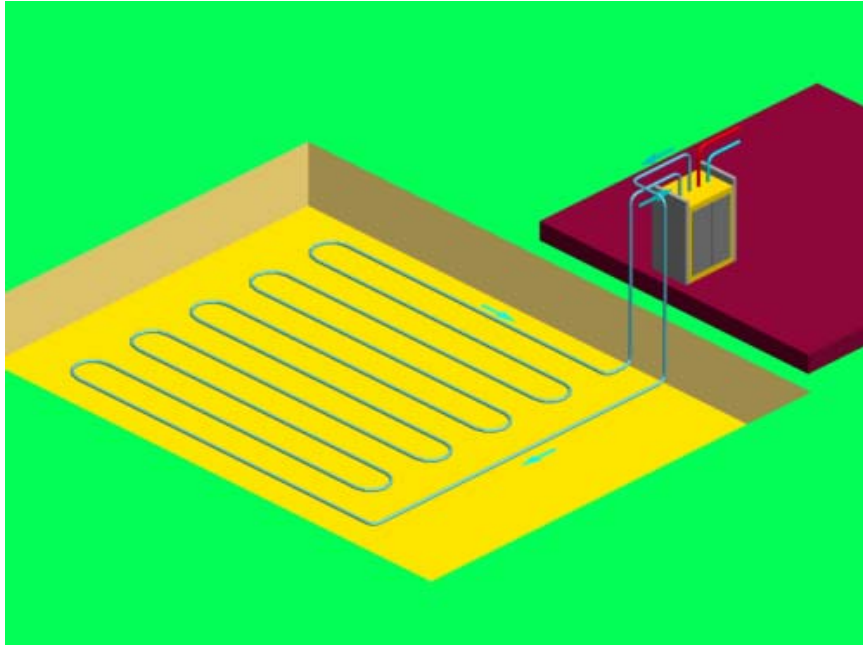
Sursele de căldură prezentate anterior, solul, apa și aerul, satisfac toate aceste cerințe, iar piața pompelor de căldură, utilizând toate aceste surse de căldură este actualmente în continuă creștere. În paragrafele următoare vor fi prezentate diverse pompe de căldură utilizând toate aceste tipuri de surse de căldură.

**Solul** reprezintă o sursă de căldură eficientă, deoarece acumulează căldură atât direct sub formă de radiație solară cât și indirect de la ploi, respectiv de la aer. Căldura poate fi preluată cu ajutorul unor circuite intermediare plasate în sol, care absorb căldură și o transmit vaporizatorului pompei de căldură. Este posibilă și amplasarea direct în sol a vaporizatorului pompei de căldură.

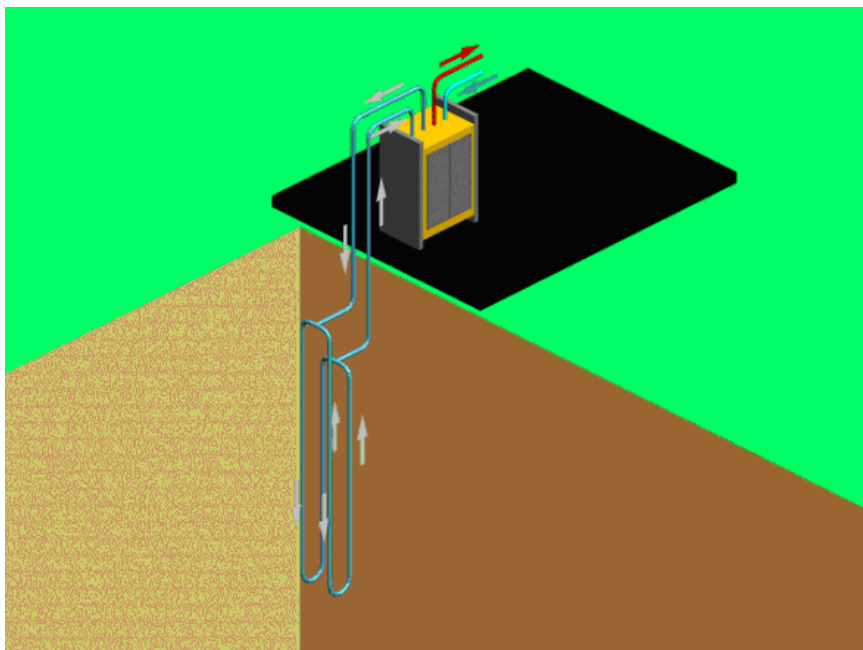
*Circuitele intermediare de preluare a căldurii din sol*, sunt compuse din schimbătoare de căldură, denumite colectori, pompe de circulare a agentului intermediar din aceste circuite, vas de expansiune, sistem de distribuție a agentului intermediar în colectori, dispozitive de aerisire, etc.

*Agentul intermediar* din circuitele intermediare este reprezentat de soluții apoase de tip antigel, iar majoritatea producătorilor recomandă diverse amestecuri ecologice de acest tip. Uneori pot fi utilizate și soluții de apă sărată, dar nu se poate utiliza apa simplă, deoarece pe timp de iarnă există pericolul ca apa să înghețe, cel puțin în porțiunile de conducte aflate la suprafața solului, sau chiar în aer liber (chiar dacă sunt izolate). Dacă agentul intermediar ar îngheța funcționarea pompei de căldură ar deveni imposibilă. *Temperatura de îngheț* recomandată de majoritatea producătorilor pentru soluțiile de tip antigel utilizate în circuitul intermediar, este de  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Există două tipuri de colectori care pot fi utilizați în circuitele intermediare de preluare a căldurii din sol. În figura 3.8 sunt prezentați *colectori orizontali*, care se montează la adâncimi de cca. 1,2...1,5m, iar în figura 3.9 sunt prezentați *colectori verticali*, denumiți și sonde, care se montează în orificii practicate prin forare, la adâncimi de până la cca. 100m, peste aceste adâncimi fiind dificil de obținut autorizații pentru realizarea forajelor.



**Fig. 3.8.** Colectori orizontali pentru captarea căldurii din sol



**Fig. 3.9.** Colectori verticali pentru captarea căldurii din sol

Atât colectori orizontali, cât și cei verticali, sunt realizați din tuburi de polietilenă, care asigură o durată foarte lungă de exploatare, absolut necesară acestor echipamente. Utilizarea unor colectori metalici în sol, care să reducă suprafața de schimb de căldură, nu este posibilă, datorită corozivității ridicate a solului, care ar distruge relativ rapid colectori, iar înlocuirea acestora ar reprezenta o operație extrem de complexă și costisitoare.

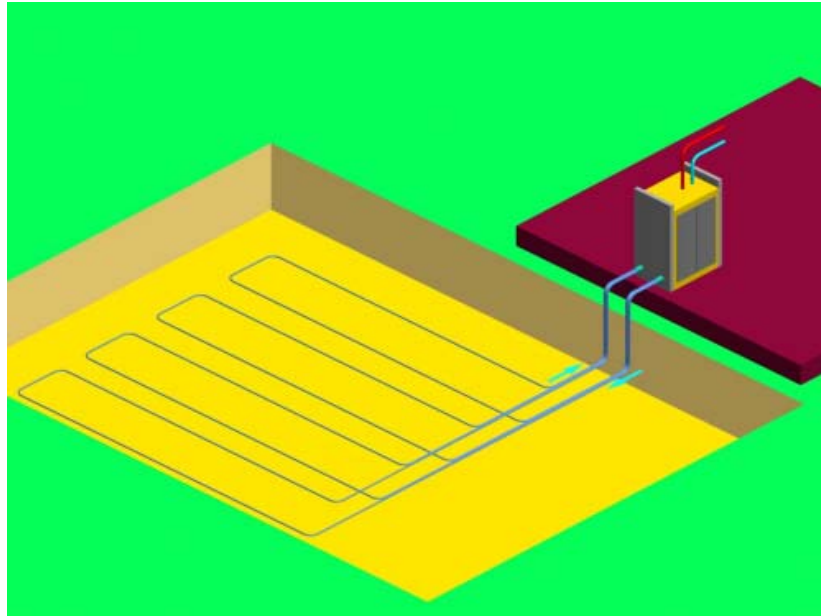
Colectori orizontali, prezintă avantajul costurilor relativ reduse de realizare a excavațiilor necesare în vederea amplasării, mai ales în cazul unor construcții noi, dar prezintă dezavantajul necesității



unor suprafețe mari de amplasare a colectoarelor, ceea ce reduce posibilitatea de utilizare a acestor tipuri de colectori, cel puțin în zonele urbane unde prețul terenurilor de construcție este foarte ridicat și unde din acest motiv, suprafețele disponibile sunt limitate.

Colectorii verticali, prezintă avantajul necesității unor suprafețe reduse de amplasare, dar prezintă dezavantajul costurilor ridicate de realizare a forajelor, cca. 80...100 Euro/m.

*Amplasarea direct în sol a vaporizatorului pompei de căldură este posibilă în construcții de tipul celei prezentate în figura 10.*



**Fig. 3.10.** Amplasarea direct în sol a vaporizatorului pompei de căldură

Avantajul amplasării direct în sol a vaporizatorului pompei de căldură este reprezentat de eliminarea circuitului de agent intermediar, ceea ce permite reducerea diferenței dintre temperatura de vaporizare și temperatura solului, având ca efect îmbunătățirea eficienței pompei de căldură. În plus, este economisită energia necesară circulației agentului intermediar.

Dezavantajele acestui sistem, sunt reprezentate de necesitatea unor cantități mai mari de agent frigorific, decât în cazul utilizării circuitului intermediar de preluare a căldurii din sol și de prezența unor pierderi de presiune mai mari pe circuitul agentului frigorific. Vaporizatorul amplasat direct în sol, este realizat din țevi de cupru cauciucat, pentru a se asigura protecția anticorozivă față de sol. Diametrul acestor țevi este mult mai redus decât al tuburilor din polietilenă, utilizați la construcția colectoarelor din circuitele intermediare prezentate anterior.



Pentru dimensionarea colectoarelor orizontale, la calculul suprafeței necesare pentru amplasarea colectoarelor, trebuie să se țină seama de tipul solului și de cantitatea de apă din sol.

Sarcina termică specifică asigurată de colectorii orizontali,  
în funcție de tipul solului

Tipul solului	Sarcina termică specifică [W/m <sup>2</sup> ]
sol nisipos uscat	10...15
sol nisipos umed	15...20
sol argilos uscat	20...25
sol argilos umed	25...30
sol cu apă freatică	30...35

Aceste valori sunt considerate pentru amplasarea colectoarelor la distanțe medii de 0,5...0,7m.

Astfel, considerând că sarcina termică specifică asigurată de sol, are o valoare medie  $q_0=25\text{W/m}^2$ , pentru o sarcină termică extrasă din sol  $\dot{Q}_0 = 1\text{ kW}$ , rezultă o suprafață necesară pentru amplasarea colectoarelor:

$$S = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{1000}{25} = 40\text{ m}^2$$

Pentru dimensionarea colectoarelor verticale, la calculul adâncimii necesare pentru foraj, respectiv a lungimii sondelor, trebuie să se țină seama de tipul solului și de cantitatea de apă din sol.

Sarcina termică liniară specifică asigurată de colectorii verticali,  
în funcție de tipul solului

Tipul solului	Sarcina termică specifică [W/m]
sol nisipos uscat	20
sol nisipos umed	40
sol argilos umed	60
sol cu apă freatică	80...100

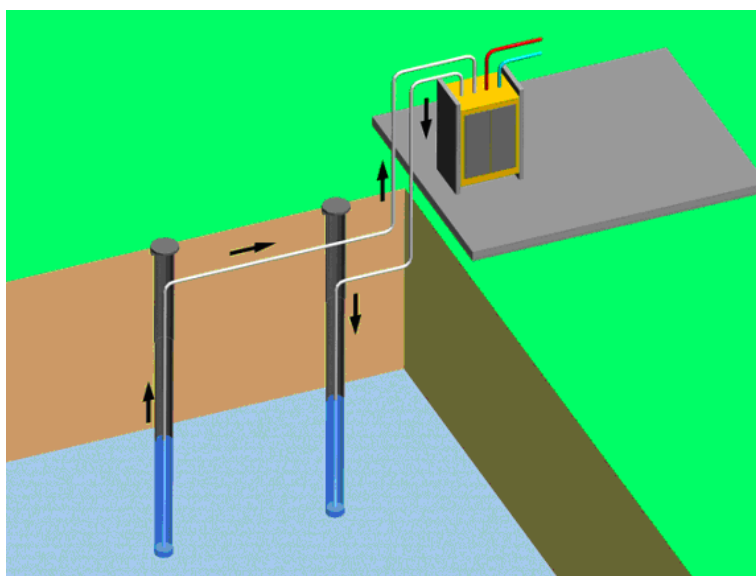
Astfel, considerând că sarcina termică liniară specifică asigurată de sol, are o valoare medie  $q_{10}=40\text{W/m}$ , pentru o sarcină termică extrasă din sol  $\dot{Q}_0 = 1\text{ kW}$ , rezultă o suprafață necesară pentru amplasarea colectoarelor:

$$S = \frac{Q_0}{q_{10}} = \frac{1000}{40} = 25\text{ m}$$

Pentru dimensionarea vaporizatoarelor amplasate în sol, pentru amplasarea colectoarelor la o distanță medie de 0,5...0,7m se poate considera o sarcină termică specifică liniară, raportată la lungimea țevii vaporizatorului, de cca. 35...40W/m.

**Apa freatică** reprezintă o sursă de căldură și mai eficientă decât solul, deoarece temperatura acesteia este relativ constantă în tot timpul anului, având valori de 7...12°C, deci mai ridicate decât solul. În plus, apa freatică poate fi circulată direct prin vaporizatorul pompelor de căldură, ceea ce elimină necesitatea unui circuit intermediar.

În figura 3.11 este prezentat modul în care poate fi utilizată apa freatică în pompele de căldură.



**Fig. 3.11.** Utilizarea apei freatică ca sursă de căldură

Apa freatică trebuie să se găsească la adâncimi relativ reduse, care să permită obținerea autorizației de foraj, adică maxim 50...70m. Se recomandă totuși ca adâncimea de la care este preluată apa freatică, în cazul locuințelor familiale, să nu depășească 15m, pentru că la adâncimi mai mari cresc mult costurile pentru realizarea celor două foraje, precum și costurile de exploatare datorate înălțimii ridicate de pompare a apei freatică. Distanța dintre cele două puțuri trebuie să fie de minim 5m, iar amplasarea astfel încât sensul de curgere a apei să fie dinspre puțul prin care este absorbită apa, spre cel în care este evacuată apa. Nu este posibilă utilizarea ca sursă de căldură, a apei din lacuri freatice, deoarece în acest caz există pericolul înghețării apei în jurul sondelor, ceea ce împiedică funcționarea pompei de căldură.

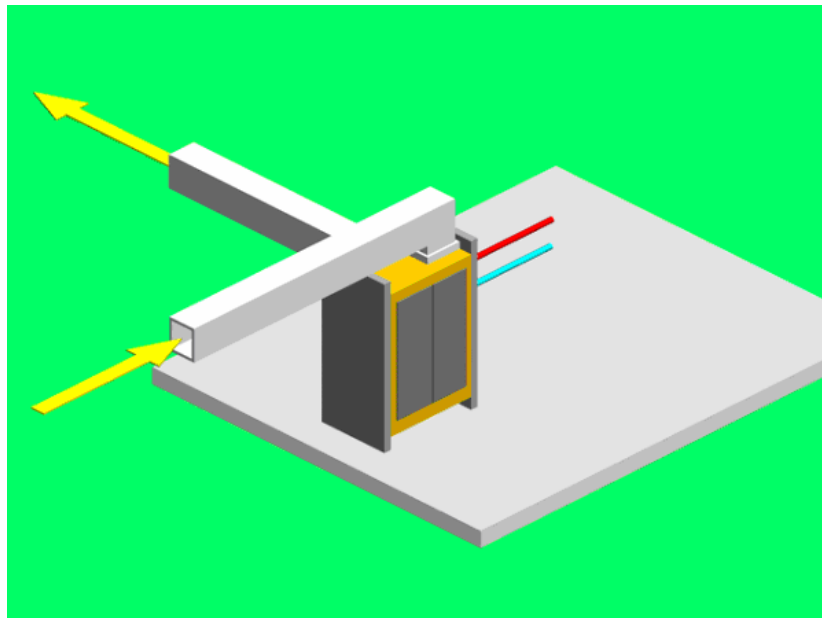
Dezavantajele utilizării apei freatică ca sursă de căldură, sunt reprezentate de faptul că este necesar să existe un debit suficient de mare al apei freatică, iar compoziția chimică trebuie să se încadreze între limite bine precizate din punctul de vedere al unor componenți cum sunt: carbonați acizi, sulfati, cloruri, amoniac, sulfat de sodiu, bioxid de carbon liber (extrem de agresiv), nitrați, hidrogen sulfurați, etc.

Condițiile prezentate, destul de restrictive, reduc sensibil posibilitățile de utilizare a apei freatică ca sursă de căldură.

*Apa din lacuri și râuri* poate fi utilizată de asemenea ca sursă de căldură, dar este necesară utilizarea unui circuit intermediar și trebuie evitată formarea de gheață pe colectori amplasați în apă, deoarece gheața ar reduce mult intensitatea transferului termic dintre apă și agentul intermediar din colectori.

*Apa de mare* este și mai ușor de utilizat, deoarece la o adâncime de câțiva metri, nu se mai pune problema înghețării acesteia, dar și în cazul apei de mare, trebuie utilizat un circuit intermediar pentru preluarea căldurii.

*Aerul* reprezintă o sursă de căldură gratuită, disponibilă în cantități nelimitate. În pompele de căldură, se poate utiliza ca sursă de căldură doar aerul exterior, care este circulat prin tubulaturi cu ajutorul unui ventilator. În figura 3.12 este prezentată o pompă de căldură care absoarbe căldură de la aer și încălzește apă, utilizabilă pentru încălzire, sau ca apă caldă menajeră. Aceste echipamente sunt denumite pompe de căldură aer-apă.

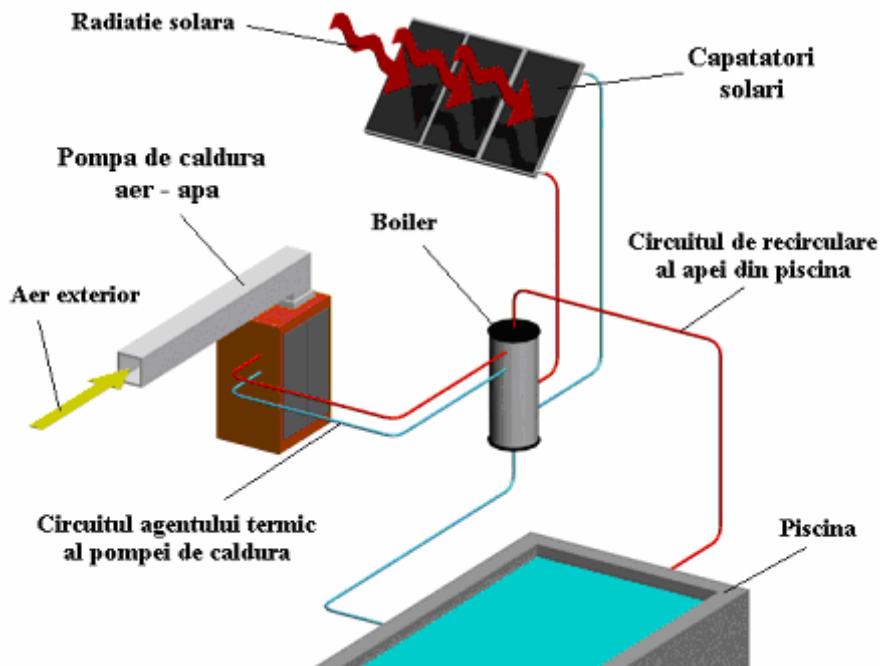


**Fig. 3.12.** Pompă de căldură aer-apă

Pompele de căldură aer-aer sunt cele mai răspândite și sunt reprezentate de toate aparatele de condiționarea aerului, care pot să realizeze atât răcire cât și încălzire. În regim de încălzire, aceste echipamente funcționează ca pompe de căldură aer-aer.

La scăderea temperaturii exterioare, eficiența pompelor de căldură care utilizează aerul ca sursă de căldură, se reduce sensibil, ceea ce limitează posibilitatea utilizării acestor echipamente, la o perioadă de timp de maxim 70..80% din an, fiind indicată utilizarea combinată a acestora, împreună cu alte sisteme de încălzire. Pe de altă parte, în perioadele mai calde ale anului, primavara, vara și toamna, când temperatura aerului este mai ridicată, aceste echipamente pot fi extrem de eficiente pentru prepararea apei calde menajere.

În figura 3.13 este prezentată schema unui sistem de încălzire a apei dintr-o piscină.



**Fig. 3.13.** Încălzirea apei din piscină cu ajutorul unei pompei de căldură aer-apă și a unor colectori solari

Pentru acest gen de aplicație, pompele de căldură aer-apă, sunt între cele mai eficiente posibile, iar combinația cu un echipament de încălzire utilizând energie solară este cu atât mai performantă și permite exploatarea ieftină a piscinei cu apă caldă, atât în perioadele însorite cât și în cele fără radiație solară directă. Costurile de exploatare ale unor instalații de încălzire a apei din piscine, utilizând pompe de căldură aer-apă, sunt mai reduse decât cele ale unor sisteme funcționând cu gaz, diverși combustibili lichizi, sau peleți. Singurele sisteme mai ieftine din punct de vedere al cheluielilor cu sursa de energie, sunt cele utilizând brichete sau lemne, dar aceste sisteme nu permit funcționarea automatizată a echipamentului de încălzire, ceea ce implică dificultăți de exploatare, sau creșterea cheluielilor de exploatare, ceea ce anulează avantajul costurilor cu combustibilul, mai reduse.

### 3.1.5. Regimuri de funcționare a pompelor de căldură

Regimul de funcționare a pompelor de căldură, trebuie adaptat la tipul sistemului de încălzire al obiectivului pe care îl deservește, dacă acesta este deja realizat, iar pompele de căldură înlocuiesc echipamente existente funcționând cu combustibili clasici. În aceste situații, o restricție importantă este reprezentată de faptul că temperatura maximă pe care o pot realiza pe tur pompele de căldură este de 55°C, iar peste această temperatură pompele de căldură pot funcționa doar în cuplaj cu alte surse de încălzire.

În clădirile noi, sistemul de încălzire va fi special proiectat pentru aceste echipamente și va fi caracterizat prin nivelul redus al temperaturii agentului de încălzire. În cazul încălzirii prin pardoseală și/sau pereții laterali, temperatura agentului de încălzire, poate coborâ până la valori de cca. 35°C pe tur, sau chiar sub această valoare.

Din punct de vedere al soluțiilor tehnice utilizate pentru încălzire și preparare a apei calde menajere, există mai multe regimuri posibile de funcționare a pompelor de căldură:

- *Regim de funcționare monovalent* – pompa de căldură este unica sursă de căldură;
- *Regim de funcționare bivalent* – pompa de căldură este utilizată în combinație cu o altă sursă de căldură care funcționează cu combustibil solid, lichid sau gazos, echipamente de captare a energiei solare, etc;
- *Regim de funcționare monoenergetic* – pompa de căldură este utilizată în combinație cu un alt sistem de încălzire care funcționează tot cu energie electrică. Cea mai întâlnită situație de acest tip, este cea în care apa caldă menajeră este doar preîncălzită în pompa de căldură, fiind utilizat și un alt dispozitiv de încălzire a apei, fie un încălzitor electric instant, fie o rezistență electrică montată în boilerul pentru prepararea apei calde menajere.

În cazul utilizării pompelor de căldură în regim monovalent sau monoenergetic, un interes deosebit este prezentat de utilizarea sistemului de tarifyare diferențiată a energiei electrice pe timp de zi și de noapte, sistem care în România este disponibil la cerere și care poate reduce semnificativ valoarea facturilor de energie electrică.