

Facultatea de INGINERIE

Departamentul SISTEME TERMICE ȘI INGINERIA MEDIULUI

**TEHNICA UTILIZĂRII
FRIGULUI
ARTIFICIAL (TUFA)
- LUCRĂRI DE
LABORATOR**

S.L. DR. ING. Gelu COMAN

CUPRINS

1	IZOLATII TERMICE	3
1.1	Izolarea termică a pereților plani.....	3
1.1.1	Izolarea termică a spațiilor răcite	3
1.1.2	Izolarea termică a spațiilor încălzite	3
1.1.3	Calculul grosimii izolației termice pentru o densitatea de flux termic cunoscută (condiții la limită de stea a II-a).....	4
1.1.4	Calculul grosimii izolației termice pentru o valoare dată a coeficientului total de transfer de căldură 5	5
1.2	Izolarea termică a pereților cilindrici	7
1.2.1	Calculul grosimii izolației termice pentru un flux termic liniar cunoscut (condiții la limită de stea a II-a)	8
1.2.2	Calculul grosimii izolației termice pentru o temperatură dată pe suprafața acesteia	12
2	DETERMINAREA NECESARULUI DE CĂLDURĂ ȘI APĂ CALDĂ PENTRU UN IMOBIL.....	14
2.1	2.2 Determinarea necesarului de căldură și apă caldă menajeră pentru imobil	18
2.1.1	Mers de calcul pentru Q_1	18
2.1.2	Mers de calcul pentru Q_2	24
2.1.3	Mers de calcul pentru Q_3	24
3	CALCULUL NECESARULUI DE FRIG PENTRU DEPOZIT DE FRUCTE.....	25
3.1	3.1 Calculul grosimii izolațiilor.....	25
3.2	3.2 Bilantul caloric al spațiului climatizat pe timp de vară. Necesarul de frig pentru frigifer.....	27
3.2.1	Consumul de frig Q_1	28
3.2.2	Necesarul de frig Q_2	29
3.2.3	Necesarul de frig Q_3	30
3.2.4	Necesarul de frig Q_4	30
3.3	3.3 Stabilirea direcției raportului de termoumiditate și trasarea procesului de conditionare a aerului pe diagrama i-X pe timp de vară.....	30
3.3.1	Date	32
4	UTILIZAREA FRIGULUI ARTIFICIAL ÎN LUCRĂRILE DE CONSTRUCȚII	34
4.1	5.1. ÎNGHEȚAREA SOLULUI.....	34
4.1.1	5.1.1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND ÎNGHEȚAREA SOLULUI	34
4.1.2	5.1.2. CONSTRUCȚIA INSTALAȚIEI DE ÎNGHEȚARE A SOLULUI.	36
4.1.3	5.1.3. UTILIZAREA METODEI DE ÎNGHEȚARE A SOLULUI ÎN ȚARA NOASTRĂ	44
4.1.4	5.1.4. CÂMPUL DE TEMPERATURĂ ÎN SOLUL ÎNGHEȚAT.....	47
4.1.5	5.1.5. ELEMENTE DE PROIECTARE A INSTALAȚIEI FRIGORIFICE PENTRU ÎNGHEȚAREA SOLULUI.....	51
4.2	5.2. RĂCIREA BETONULUI LA CONSTRUCȚIILE MASIVE.....	52
4.2.1	5.2.1. INSTALAȚII DE PRERĂCIRE A COMPONENTELOR BETONULUI	52
4.2.2	5.2.2. RĂCIREA INTERIOARĂ A MASIVULUI DE BETON.	58

1 Izolații termice

1.1 Izolarea termică a pereților plani

1.1.1 Izolarea termică a spațiilor răcite

Izolarea termică a pereților, planșeelor și pardoselilor spațiilor răcite (Figura 1.1) (tunele și camere de refrigerare sau congelare, depozite frigorifice) necesită condiții deosebite de execuție datorită valorilor scăzute ale temperaturilor interioare, variației rapide a acestora și umidității mari a aerului interior. Rolul izolației termice în acest caz este de a reduce absorbția de căldură din exterior în vederea menținerii unui regim de temperatură și umidități cât mai stabil.

Materialul se aplică pe suprafața interioară a pereților spațiilor răcite cu condiția realizării unei continuități perfecte a stratului de izolație între pereți, planșeu și pardoseală.

În timpul răcirii aerului interior (în timpul funcționării instalației frigorifice) apare fenomenul de condensare a vaporilor de apă din aerul ambiant pe suprafața caldă a pereților și pătrunderea condensului în interiorul pereților izolați, datorită diferenței dintre presiunile parțiale ale vaporilor de apă din aerul exterior și interior. Apare, în acest caz, necesitatea montării unei bariere de vapori în interiorul stratului de izolație termică.

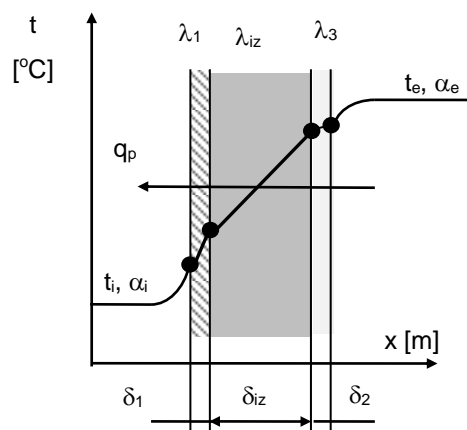


Figura 1.1 Variația temperaturii în peretele plan la spațiile răcite

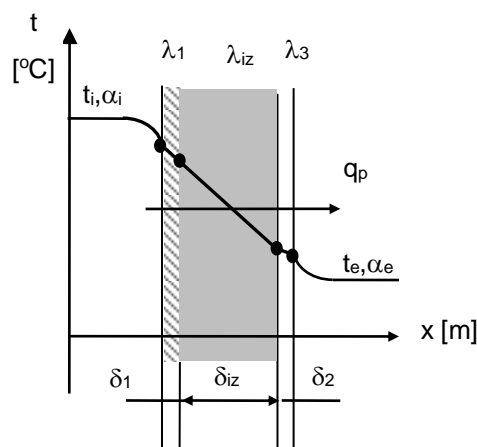


Figura 1.2 Variația temperaturii în peretele plan la spațiile încălzite

1.1.2 Izolarea termică a spațiilor încălzite

Izolarea termică a pereților, planșeelor și pardoselilor spațiilor încălzite (Figura 1.2) (camere de termostatare, cuptoare de coacere, celule de afunare la cald în industria

alimentară, cuptoare de încălzire, cuptoare de tratamente termice în industrie) are rolul de a reduce pierderea de căldură în exterior în vederea menținerii unui regim de temperatură și umiditate cât mai stabil.

Materialul se aplică pe suprafața interioară a pereților spațiilor încălzite cu condiția realizării unei continuități perfecte a stratului de izolație între pereți, planșeu și pardoseală.

1.1.3 Calculul grosimii izolației termice pentru o densitatea de flux termic cunoscută (condiții la limită de steța a II-a)

Cu notațiile din Figura 1.1 și Figura 1.2, densitatea de flux termic transmisă prin perete se calculează cu relația:

$$q_p = \frac{|t_i - t_e|}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (1.1)$$

unde:

- α_e [$\text{W/m}^2 \cdot \text{grad}$] este coeficientul de convecție aer exterior-perete; pentru incintele răcite, în funcție de amplasarea și tipul peretelui, valorile coeficientului α_e [$\text{W/m}^2 \cdot \text{grad}$] sunt prezentate în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1 Valorile coeficientului α_e pentru incintele răcite

Amplasarea și tipul peretelui	α_e, α_i [$\text{W/m}^2 \cdot \text{grad}$]
Pereți exteriori și acoperișuri fără pod, expuși curenților de aer	28...30
Pereți exteriori și acoperișuri fără pod, în contact cu aerul atmosferic cu circulație moderată	23...24
Acoperiș cu pod	11...12
Pereți interiori ce separă spațiul răcit de culoare sau camere vecine ventilate	15...18
Plafoane și pardoseli interioare	10...12
Suprafața interioară a pereților unei camere încălzite sau răcite	8...9
Pereții interiori ai camerei de depozitare a produselor răcite, cu circulație moderată a aerului	9
Pereții interiori ai camerei de congelare, camerei de racier preliminară a produselor, cu circulație intensă a aerului	11

- pentru pereții unor cuptoare valorile coeficientului de convecție α_e [$\text{W/m}^2 \cdot \text{grad}$] și pierderile exterioare de căldură q_p [W/m^2], funcție de temperatură și tipul peretelui, sunt prezentate în Tabelul 1.2.

Tabelul 1.2 Valorile coeficientului α_e pentru pereții unor cuptoare

t [°C]	α_e [$\text{W/m}^2 \cdot \text{grad}$]		q_p [W/m^2]	
	pereți vopsiți cu lac de aluminiu	pereți din zidărie	pereți vopsiți cu lac de aluminiu	Pereți din Zidărie
40	8,70	10,05	781,78	899,99
50	9,13	10,58	1151,15	1331,15
60	9,56	11,11	1548,82	1795,80
70	9,98	11,63	1967,42	2302,30
80	10,42	12,13	2427,88	2850,67
90	10,85	12,72	2930,20	3440,90
100	11,28	13,26	3453,45	4060,42
110	11,70	13,89	3007,63	4763,67

120	12,14	14,30	4596,23	5399,94
130	12,56	14,88	5190,64	6153,42
140	12,98	15,40	5839,47	6927,83
150	13,43	15,93	6530,16	7741,10
160	13,86	16,47	7241,78	8581,30
170	14,28	16,80	7974,33	9460,36
180	14,72	17,56	8727,81	10423,10
190	15,15	18,08	9544,08	11385,92
200	15,58	18,61	10360,35	12395,60
210	16,00	19,19	11218,48	13478,92
220	16,42	19,71	12135,21	14546,35
230	16,86	20,24	13018,46	15655,64
240	17,30	20,70	13939,38	16744,00
250	17,73	21,28	14964,95	17999,80

- α_i [W/m²·grd] - coeficientul de convecție perete - aer interior;
- pentru incintele răcite, în funcție de amplasarea și tipul peretelui, valorile coeficientului α_i [W/m²·grd] sunt prezentate în Tabelul 1.1.

$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ [m²·grd/W] - suma rezistențelor termice ale straturilor componente ale peretelui, în afara stratului de izolație termică;

- t_i, t_e [°C] - temperatura aerului interior, respectiv, exterior.

Rezultă grosimea stratului de izolație termică:

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[\frac{|t_i - t_e|}{q_p} - \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \right], [m] \quad (1.2)$$

Grosimea stratului de izolație termică se standardizează pentru fiecare material în parte.

Cu noua valoare a grosimii stratului de izolație termică se recalculază densitatea de flux termic, q_p , [W/m²].

Pentru incintele răcite, valorile recomandate pentru pătrunderea de căldură (densitatea de flux termic) depind de temperatura aerului interior din spațiul răcit, de mărimea și destinația spațiului respectiv

1.1.4 Calculul grosimii izolației termice pentru o valoare dată a coeficientului total de transfer de căldură

Cu notațiile din Figura 1.1 și Figura 1.2 coeficientul total de transfer de căldură se calculează cu relația:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_i}} [W/m^2 \cdot \text{grd}] \quad (1.3)$$

Rezultă grosimea stratului de izolație termică:

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[\frac{1}{k} - \left(\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i} \right) \right] [m] \quad (1.4)$$

Grosimea stratului de izolație calculată se standardizează pentru fiecare perete și material în parte.

Cu noua valoare a grosimii stratului de izolație termică se recalculează coeficientul total de transfer de căldură k .

În calculele practice se poate adopta o valoare a coeficientului total de transfer de căldură $k = (0,2...0,5) \text{ W/m}^2\cdot\text{grad}$, pentru pereți și tavan (pereți izolați cu polistiren expandat) și $k = (0,3...0,7) \text{ W/m}^2\cdot\text{grad}$, pentru pardoseală (perete izolat cu plută).

Pentru un calcul rapid se pot adopta următoarele valori ale coeficientului total de transfer de căldură, funcție de diferența de temperatură $\Delta t = t_e - t_i$ (Tabelul 1.3).

Tabelul 1.3 Valori ale coeficientului total de transfer de căldură funcție de Δt

Δt [grad]	50...35	35...30	30...25	25...20	20...15	15...10	10
k [$\text{W/m}^2\cdot\text{grad}$]	0,23...0,35	0,40	0,45	0,52	0,58	0,63	0,70

Pentru diverse elemente izolate ale incintelor răcite valorile coeficientului total de transfer de căldură sunt indicate în Tabelul 1.4 Tabelul 1.5, Tabelul 1.6, Tabelul 1.7. :

Tabelul 1.4 Valori ale coeficientului total de transfer de căldură pentru pereți exteriori

Temperatura aerului din incinta răcită t_i [°C]	k [$\text{W/m}^2\cdot\text{grad}$]		
	zona nordică	zona medie	zona sudică
-30...-18	0,32	0,25	0,23
-10	0,40	0,35	0,29
-4	0,46	0,40	0,35
0	0,52	0,46	0,40
4	0,65	0,58	0,49
12	0,78	0,70	0,58

Tabelul 1.5 Valori ale coeficientului total de transfer de căldură pentru pereți interiori

Temperatura aerului din incinta răcită t_i [°C]	k [$\text{W/m}^2\cdot\text{grad}$]					
	zona nordică		zona medie		zona sudică	
	a^*	b^*	a^*	b^*	a^*	b^*
-30...-18	0,29	0,28	0,25	0,23	0,21	0,20
-10	0,37	0,35	0,31	0,29	0,25	0,20
-4	0,43	0,39	0,37	0,35	0,31	0,29
0	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33
4	0,58	0,53	0,52	0,49	0,44	0,41

Obs*: a) acoperiș cu pod; b) acoperiș fără pod

Tabelul 1.6 Valori ale coeficientului total de transfer de căldură funcție de destinația incintei răcite

Incinta răcită	Temp.aerului, t_i [°C]	k [$\text{W/m}^2\cdot\text{grad}$]
Camera de congelare	-23...-35	0,35
Depozit produse congelate	-18...-25	0,41
Depozit produse refrigerate	0	0,52
	4	0,70
	12	0,92

Tabelul 1.7 Valori ale coeficientului total de transfer de căldură funcție de poziția peretelui

Poziția peretelui	k [$\text{W/m}^2\cdot\text{grad}$]
Perete între două depozite de produse congelate	0,52
Perete între două depozite de produse refrigerate	0,58

Perete între camere de congelare și depozite de produse congelate	0,46
Perete între camere de congelare și depozite de produse refrigerate	0,35
Perete între un depozit de produse congelare și un depozit de produse congelate	0,46

Pentru diverse construcții cu pereți executați din panouri mari de beton, valorile coeficientului total de transfer de căldură sunt prezentate în Tabelul 1.8

Tabelul 1.8 Valori ale coeficientului total de transfer de căldură pentru pereți executați din panouri mari de beton

Material	Greutate specifică ρ [kg/m ³]	Grosime perete δ [mm]	k [W/m ² ·K]	
			Perete interior	Perete exterior
Panouri mari în strat omogen tencuiți interior și exterior	1300	260	1511,9	1349,1
	1350	300	1453,7	1314,2
Panouri mari în trei straturi având la interior și exterior beton armat, iar la mijloc termoizolație				
- plăci semirigide din vată minerală	1600	200	1337,4	1209,5
- sticlă spongioasă	1450	220	1279,3	1163,0
- plută minerală	1600	200	1279,3	1163,0

1.2 Izolarea termică a pereților cilindrici

Calculul termic al sistemelor de conducte reprezintă un caz particular al transferului de căldură între două fluide despărțite de un perete format din unul sau mai multe straturi. În funcție de temperatura fluidului transportat se deosebesc două categorii de conducte izolate termic:

- conducte care transportă fluide calde (Figura 1.3), la care izolația termică are drept scop reducerea pierderilor de căldură și de temperatură în mediul ambiant și asigurarea unor temperaturi pe suprafața exterioră în conformitate cu normele de protecție a muncii;
- conducte care transportă fluide reci (Figura 1.4), la care izolația termică are drept scop micșorarea absorbției de căldură din mediul ambiant și evitarea condensării umidității din aer pe suprafața conductelor.

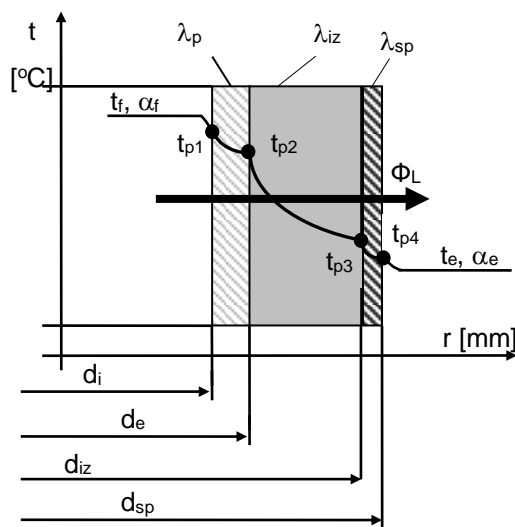


Figura 1.3 Variația temperaturii în peretele conductelor care transportă fluide calde

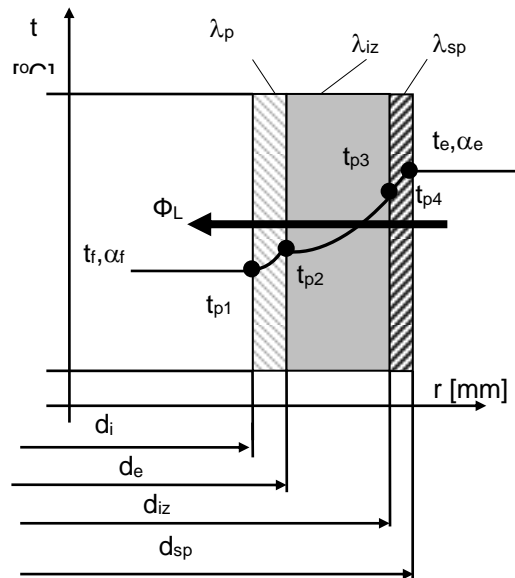


Figura 1.4 Variația temperaturii în peretele conductelor care transportă fluide reci

1.2.1 Calculul grosimii izolației termice pentru un flux termic liniar cunoscut (condiții la limită de speța a II-a)

Se consideră o conductă cu un strat de izolație de bază și un strat protector (Figura 1.3, pentru conducte care transportă fluide calde și Figura 1.4, pentru conducte care transportă fluide reci). În vederea calculării grosimii izolației termice sunt necesare următoarele date:

- amplasarea conductei și temperatura mediului ambiant t_e [°C];
- dimensiunile conductei d_i și d_e [m];
- temperatura fluidului transportat t_f [°C];
- construcția și materialul izolației termice λ_{iz} [W/m.K];
- modul de susținere a conductei, armăturile și compensatoarele de dilatație

Fluxul termic liniar (unitar) transmis prin conducta izolată se calculează cu relația:

$$\Phi_L = \frac{|t_f - t_e|}{R_{Li} + R_{Lp} + R_{Liz} + R_{Lsp} + R_{Le}} \quad [\text{W/m}] \quad (1.5)$$

unde:

- rezistența superficială liniară a fluidului transportat este:

$$R_{Li} = \frac{1}{\pi \cdot d_i \cdot \alpha_i} \quad [\text{m} \cdot \text{grad/W}] \quad (1.6)$$

Rezistența superficială liniară R_{Li} se ia în calcul în următoarele cazuri:

- la diametre ale conductei $d_i < 50$ mm, dacă $\alpha_i < 150$ W/m²·grad;
- la diametre ale conductei $50 < d_i < 500$ mm, dacă $\alpha_i < 120$ W/m²·grad;
- la diametre ale conductei $d_i > 500$ mm, dacă $\alpha_i < 90$ W/m²·grad.

Pentru unele fluide (abur supraîncălzit de înaltă presiune, abur saturat, apă, agenți frigorifici, uleiuri), rezistența superficială R_{Li} se poate neglija, reprezentând sub 1% din rezistența totală;

- rezistența termică liniară a peretelui conductei este:

$$R_{Lp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p} \cdot \ln \frac{d_e}{d_i} \text{ [m} \cdot \text{grd/W]} \quad (1.7)$$

Pentru conductele metalice, conductivitatea termică a materialului are valori ridicate ($\lambda > 15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$), din care cauză, rezistența termică R_{Lp} poate fi neglijată, reprezentând sub 1% din rezistența totală.

- rezistența termică liniară a stratului de izolație este:

$$R_{Liz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_{iz}}{d_{ei}} \text{ [m} \cdot \text{grd/W]} \quad (1.8)$$

- rezistența termică liniară a stratului protector este:

$$R_{Lsp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{sp}} \cdot \ln \frac{d_{sp}}{d_{izi}} \text{ [m} \cdot \text{grd/W]} \quad (1.9)$$

În general, stratul protector este realizat sub forma unui înveliș metalic (tablă vopsită, tablă zincată, tablă din aluminiu) sau sub forma unui strat de tencuială, cu grosimi de (10...20) mm. În Tabelul 1.9 este indicată conductivitatea termică λ_{sp} [W/m·K] pentru câteva materiale utilizate la realizarea stratului protector.

Tabelul 1.9 Conductivitatea termică λ_{sp}

Material	ρ [kg/m ³]	λ_{sp} [W/m·K]
Ciment și gips	900...1000	0,23 la 50°C
Pastă bituminoasă și mastic asfaltos	1000...1150	0,30 la 50°C
Ciment	1600...1900	0,29 la 50°C
Strat anticoroziv	1000...1100	0,17...0,23 la 50°C

În cazul învelișului metalic, rezistența termică R_{Lsp} poate fi neglijată.

În cazul stratului de tencuială, rezistența termică R_{Lsp} reprezintă până la 20% din rezistența totală.

- rezistența superficială liniară a mediului ambiant este:

$$R_{Le} = \frac{1}{\pi \cdot d_{spi} \cdot \alpha_e} \text{ [m} \cdot \text{grd/W]} \quad (1.10)$$

Rezistența superficială liniară a mediului ambiant; funcție de diametrul conductei și de amplasarea acesteia, este data în Tabelul 1.10.

Pentru calcule exacte, valorile coeficientului de convecție la contactul între stratul protector și mediu ambiant în funcție de amplasarea conductei, sunt prezentate în Tabelul 1.11.

Rezultă rezistența termică a stratului de izolație:

$$R_{Liz} = \frac{t_f - t_e}{\dot{Q}_L} - (R_{Li} + R_{Lp} + R_{Lsp} + R_{Le}) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_{iz}}{d_e} \text{ [m} \cdot \text{grd/W]} \quad (1.11)$$

Grosimea stratului de izolație termică:

$$\ln \frac{d_{iz}}{d_e} = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz} \left(\frac{t_f - t_e}{\dot{Q}_L} - R_{Li} - R_{Lp} - R_{Le} \right) \text{ [m]} \quad (1.12)$$

de unde:

$$\delta_{iz} = 0,5 \cdot d_e \cdot \left(\frac{d_{iz}}{d_e} - 1 \right) \text{ [m]} \tag{1.13}$$

Tabelul 1.10 Rezistența superficială liniară a mediului ambiant

D _n [mm]	Conducte în încăperi						Conducte în aer liber		
	cu coeficient mic de radiație a învelișului			cu coeficient mare de radiație a învelișului					
	Temperatura fluidului transportat t _f [°C]								
	100	300	500	100	300	500	100	300	500
32	0,50	0,35	0,30	0,33	0,22	0,17	0,12	0,09	0,07
40	0,45	0,30	0,25	0,29	0,20	0,15	0,10	0,07	0,05
50	0,40	0,25	0,20	0,25	0,17	0,13	0,09	0,06	0,04
100	0,25	0,19	0,15	0,15	0,11	0,10	0,07	0,05	0,04
125	0,21	0,17	0,13	0,13	0,10	0,09	0,05	0,04	0,03
150	0,18	0,15	0,11	0,12	0,09	0,08	0,05	0,04	0,03
200	0,16	0,13	0,10	0,10	0,08	0,07	0,04	0,03	0,03
250	0,13	0,10	0,09	0,09	0,07	0,06	0,03	0,03	0,02
300	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,03	0,02	0,02
350	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02
400	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02
500	0,075	0,065	0,06	0,05	0,045	0,04	0,02	0,02	0,016
600	0,062	0,055	0,05	0,043	0,038	0,035	0,017	0,015	0,014
700	0,055	0,051	0,045	0,038	0,035	0,032	0,015	0,013	0,012
800	0,048	0,045	0,042	0,034	0,031	0,029	0,013	0,012	0,011
900	0,044	0,041	0,038	0,031	0,028	0,026	0,012	0,011	0,010
1000	0,040	0,037	0,034	0,028	0,026	0,024	0,011	0,010	0,009
2000	0,022	0,020	0,017	0,015	0,014	0,013	0,006	0,006	0,005

Observatii:

- Pentru temperaturi ale fluidului transportat t_f < 100°C se aleg valorile pentru t_f = 100°C;
- Invelișurile cu coeficient mic de radiație sunt executate din tablă zincată, tablă din aliaje de aluminiu și aluminiu oxidat, tablă vopsită cu lacuri din aluminiu;
- Invelișurile cu coeficient mare de radiație sunt executate din tencuială, plăci de sticlă, diverse vopsele (exclusive din aluminiu).

Grosimea stratului de izolație termică se standardizează, funcție de materialul ales.

Tinând seama de stratul protector din ciment și paste bituminoase cu diverse grosimi, se calculează grosimea reală a stratului de izolație cu coeficientul de corecție Δ[mm], cu valori date în Tabelul 1.12.

Tabelul 1.11 Valorile coeficientului de convecție la contactul între stratul protector și mediu ambiant

Amplasarea conductei	În încăperi		În aer liber la viteza vântului w [m/s]		
	cu coeficient mic de radiație a învelișului	cu coeficient mare de radiație a învelișului	5	10	15
orizontală	6	10	20	25	35
verticală	7	11	25	35	50

Observatie: În absența datelor privind viteza vântului, se admite w = 10 m/s.

Tabelul 1.12 Coeficientul de corecție Δ[mm]

δ _{sp} [mm]	λ _{iz} [W/m·K]					
	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12

10	2	2	2	3	3	3
15	3	3	4	4	5	5
20	4	4	5	6	6	7

La alegerea grosimii stratului de izolație termică trebuie să se țină seama și de tasarea materialului prin coeficientul de tasare K_t , definit ca raportul dintre volumul construcției termoizolate în funcțiune și volumul construcției la montaj. Se recomandă $K_t > 1$, pentru a preveni deprecierea izolației termice.

Pentru câteva materiale termoizolatoare, valorile coeficientului de tasare sunt recomandate în Tabelul 1.13.

Tabelul 1.13 Valorile coeficientului de tasare K_t

Material	K_t
Saltele din vată minerală perforată	1,2...1,3
Saltele din vată de sticlă cu legătură sintetică	1,6
Saltele și plăci din vată minerală moale cu legătură sintetică	1,5
Plăci semirigide din vată minerală cu legătură sintetică	1,2
Plăci semirigide din vată de sticlă cu legătură sintetică	1,15
Plăci moi din vată minerală cu legătură din bitum	1,5
Plăci semirigide din vată minerală cu legătură din bitum	1,2

Grosimea stratului de izolație termică la montaj va fi:

$$\delta_o = \delta_{iz} \cdot K_t = \frac{d_e - \delta_{iz}}{d_e + 2 \cdot \delta_{iz}} \quad [m] \quad (1.14)$$

Valorile fluxului termic liniar (unitar) Φ_L [W/m] în funcție de diametrul exterior al conductei neizolate d_e [m], temperatură fluidului transportat t_f [°C] și de amplasarea conductei sunt prezentate în Tabelul 1.14.

Tabelul 1.14 Valorile fluxului termic liniar

d_e [mm]	t_f [°C]									
	80		100		180		200		250	
	a^*	b^*	a^*	b^*	a^*	b^*	a^*	b^*	a^*	b^*
10	8	13	21	24	35	37	48	49	62	60
20	12	15	27	31	43	47	58	63	74	79
32	14	17	33	36	50	53	67	72	86	90
48	15	21	36	42	57	62	76	84	98	105
57	16	24	37	47	62	67	81	91	105	112
76	17	29	43	52	67	77	91	100	115	126
89	19	33	45	58	72	83	95	108	122	133
108	26	36	52	64	79	90	105	117	131	145
133	31	41	62	70	88	99	117	129	140	158
159	36	44	70	76	98	109	130	140	163	172
194	41	49	77	85	108	120	144	151	178	188
219	46	53	81	91	116	128	154	163	192	204
273	49	62	91	101	129	145	170	186	213	230
325	52	70	99	116	142	163	186	209	233	256
377	58	82	107	133	152	181	204	231	254	279
426	62	95	114	149	163	201	221	254	273	302
478	70	104	127	158	180	215	238	273	294	326
529	77	110	140	169	198	228	256	285	314	349
630	95	121	163	186	227	254	294	320	364	384

720	110	134	186	205	256	277	326	345	395	416
830	128	157	209	233	291	309	366	384	442	463
920	157	180	238	262	320	344	401	430	483	512
1020	174	209	262	297	349	384	430	473	523	564

Observatii*:

- a*-conducte izolate amplasate în încăperi și canale cu temperatura medie a aerului $t_e = (20...30) \text{ }^\circ\text{C}$;
- b*-conducte izolate amplasate în aer liber cu temperatura medie $t_e = (0...15) \text{ }^\circ\text{C}$ și conducte subterane amplasate în canale nevizibile cu temperatura medie a solului $t_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Fluxul termic total transmis prin suprafața conductei izolate va fi:

$$\Phi = \Phi_L \cdot L_c \text{ [W]} \quad (1.15)$$

unde:

- L_c [m] este lungimea de calcul (echivalentă) a conductei; se calculează cu relația:

$$L_c = K \cdot L + I \text{ [m]} \quad (1.16)$$

- K - coeficient ce ține seama de pierderile suplimentare de căldură prin elementele de susținere a conductei (Tabelul 1.15);
- L [m] - lungimea conductei;
- I [m] - lungimea de conductă izolată care echivalează pierderile de căldură prin armăturile de închidere (vane, ventile Tabelul 1.16 și prin îmbinări (pentru îmbinări cu flanșe se recomandă $I = 1...1,5 \text{ m}$).

Tabelul 1.15 Valorile coeficientului K

Modul de susținere a conductei	Coeficientul K	
	conducte amplasate în încăperi	conducte amplasate în aer liber
prin agățare	1,10	1,15
prin rezemare	1,15	1,25

Tabelul 1.16 Lungimea de conductă izolată care echivalează pierderile de căldură prin armăturile de închidere

d_i [mm]	Conducte în încăperi		Conducte în aer liber	
	$t_f = 100$ $^\circ\text{C}$	$t_f = 400$ $^\circ\text{C}$	$t_f = 100$ $^\circ\text{C}$	$t_f = 400$ $^\circ\text{C}$
100	2,5	5,0	4,5	6,0
500	3,0	7,5	6,0	8,5

Dacă lungimea conductei nu este cunoscută se mărește valoarea coeficientului K astfel:

- pentru conducte amplasate în încăperi $K = 1,2$;
- pentru conducte amplasate în aer liberi $K = 1,25$.

1.2.2 Calculul grosimii izolației termice pentru o temperatură dată pe suprafața acesteia

Normele de protecție a muncii impun temperatura pe suprafața exterioară a conductei izolate egală cu $50 \text{ }^\circ\text{C}$, pentru stratul protector din tencuială și $55 \text{ }^\circ\text{C}$, pentru stratul protector metalic. Temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ este limita maximă admisibilă peste care apare accidentarea prin arsură a personalului de exploatare.

Conform notațiilor din Figura 1.3 (conductă care transportă fluide calde), fluxul termic liniar (unitar) se calculează cu relația:

$$\Phi_L = \frac{t_i - t_{p4}}{R_{Li} + R_{Lsp} + R_{Liz} + R_{Lp}} = \alpha_e \cdot \pi \cdot d_{sp} \cdot (t_{p4} - t_e) \text{ [W/m]} \quad (1.17)$$

Rezistențele termice R_{Li} și R_{Lp} pot fi neglijate.

Grosimea stratului de izolație termică se calculează în două etape:

- se neglijează rezistența termică a stratului protector $R_{Lsp} = 0$ și rezultă;

$$\frac{d_{iz}}{d_e} \cdot \ln \frac{d_{iz}}{d_e} = 2 \cdot \lambda_{iz} \cdot \frac{t_i - t_{p4}}{d_e \cdot \alpha_e \cdot (t_{p4} - t_2)} \quad (1.18)$$

Ecuatie de forma $x \cdot \ln x = \text{const.}$ ($x = d_{iz}/d_e$), rezolvarea ei făcându-se grafic sau prin încercări.

Rezultă:

$$\delta_{iz} = 0,5 \cdot d_e \cdot \left(\frac{d_{iz}}{d_e} - 1 \right) \text{ [m]} \quad (1.19)$$

- ținând seama de stratul protector se calculează grosimea reală a stratului de izolație termică cu coeficientul de corecție Δ [mm] (Tabelul 1.12).

$$\delta_{iz}' = \delta_{iz} - \Delta \text{ [mm]} \quad (1.20)$$

Se calculează fluxul termic linear (unitar) Φ_L [W/m] și apoi, modificând grosimea stratului de izolație se verifică temperatura impusă t_{p4} [°C].

2 Determinarea necesarului de căldură și apă caldă pentru un imobil

Casa este situata în județul Galați, orașul Galați, în partea de nord a orașului. Este amplasata pe un teren cu suprafata de 300mp, ea în sine avand o amprenta la sol de 123mp.

Orașul Galați se situeaza în zona climatica numărul II. Conform standardului "SR1907 - 1 - 2014" temperatura de referinta pentru aceasta zona este de -15 °C.

În figura de mai jos este reprezentat imobilul ce va trebui incalzit. Este desenat în programul Archicad și prezinta urmatoarele vederi:

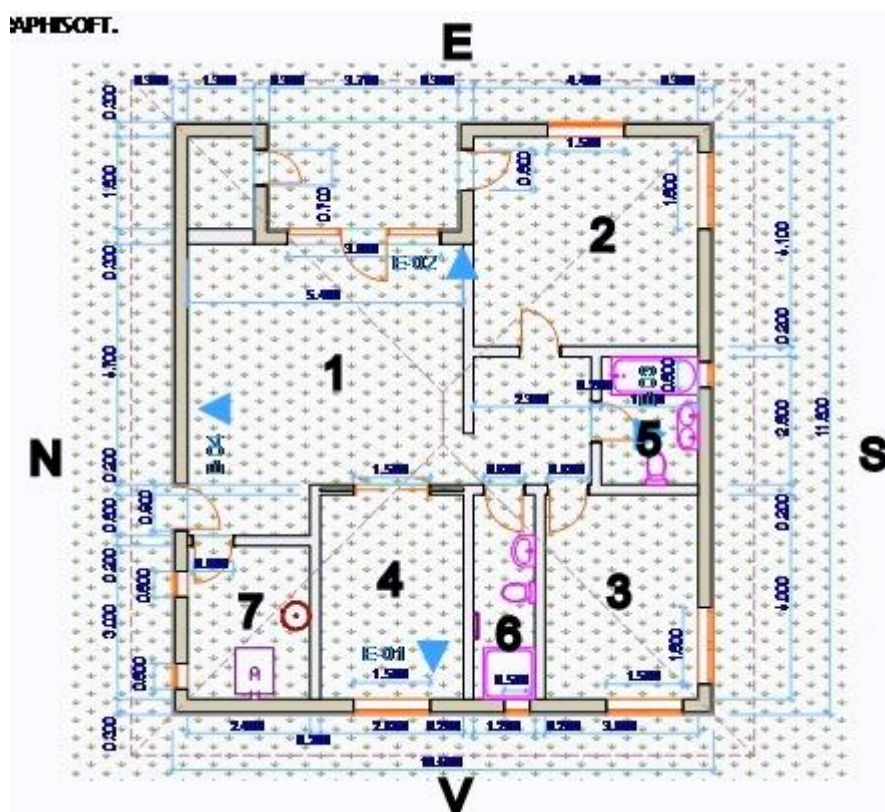


Figura 2.1 Planul casei cu dimensiuni și orientare dupa punctele cardinale

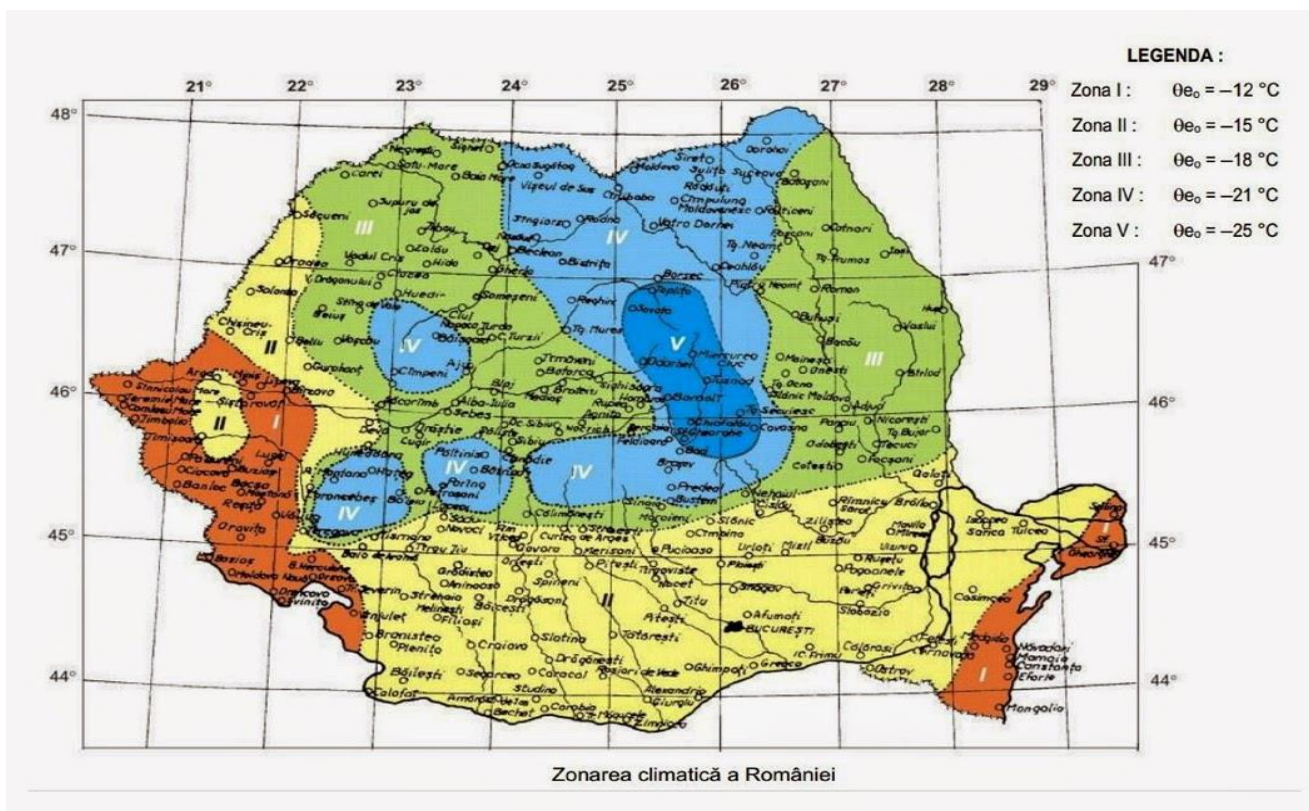


Figura 2.2



Figura 2.3 Vedere fata Nord



Figura 2.4 Vedere fata Sud



Figura 2.5 Vedere fata Est



Figura 2.6 Vedere fata Vest



Figura 2.7 Vedere de ansamblu

Dimensiunile casei și a încăperilor sunt afișate în tabelul următor

Incapere	Suprafata mp
1. Hol intrare+ Living + Hol	33.53
2. Dormitor mare	18.04
3. Dormitor mic	12
4. Bucatarie	11.2
5. Baie mare	4.8
6. Baie mica	4.75
7. Camera tehnica	7.2
Total suprafata	91.52
Total perimetru casa	44.4 m

2.1 2.2 Determinarea necesarului de căldură și apă caldă menajeră pentru imobil

Pentru studiul necesarului de flux termic este nevoie sa cunoastem posibilele pierderi de căldura cat si modul de utilizare al acesteia. Ecuatia generala a bilantului termic ce se foloseste în calcularea fluxului de căldura:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \text{ [W]}$$

Q₁- fluxul de căldura pierdut prin transmisie;

Q₂- fluxul de căldura necesar incalzirii aerului ventilat;

Q₃- fluxul de căldura necesar prepararii apei calde.

Fluxul termic pierdut prin transmisie este distribuit între elementele constructive ale casei și anume: Q_{1.1} - pereti, Q_{1.2} - podea, Q_{1.3} - tavan, Q_{1.4} - geamuri.

$$Q_1 = Q_{1.1} + Q_{1.2} + Q_{1.3} + Q_{1.4} \text{ [W]}$$

Formula care se utilizeaza în calculul pentru fiecare flux termic în parte este comuna celor patru elemente:

$$Q_{1,i} = S_i \cdot K_i \cdot (t_{int} - t_{ext}) \text{ [W]}$$

Unde: S_i - suprafata totala calculata a fiecarui element în parte, se iau în considerare doar elementele care au legatura cu exteriorul [m²]; k_i - coeficientul global de transfer termic specific fiecarui element în parte [W/m²C]; t_{int} - temperatura din interiorul imobilului [°C]; t_{ext} - temperatura exterioara. În cazul podelei de utilizeaza temperatura solului și/sau a pivnitei [°C].

Coeficientul global de transfer termic se calculeaza dupa formula:

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} \text{ [W/m}^2\text{C]}$$

Unde: α_i = coeficientul de transfer convectiv din interior, α_i = 8 W/m²C; α_e = coeficientul de transfer termic convective din exterior, α_e = 20 W/m²C; λ_i - conductivitatea termica a stratului i pe care il aflam din fisa tehnica am materialului stratului respectiv, [W/m·K]; δ_i- grosimea stratului / [m].

Temperatura ce trebuie mentinuta în interiorul imobilului este de 22 °C.

Coeficientul de convecție termica α_i = 8

2.1.1 Mers de calcul pentru Q₁

Q_{1.1} - flux termic pierdut prin pereti

Specificatii perete exerior				
Tencuiala	δ	0.025	m	Grosime

interioara	λ	0.93	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.026882	$m^2 \cdot K/W$	Rezistenta termica
Zidarie BCA	δ	0.3	m	Grosime
	λ	0.14	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	2.142857	$m^2 \cdot K/W$	Rezistenta termica
Tencuiala exterioara	δ	0.025	m	Grosime
	λ	0.93	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.026882	$m^2 \cdot K/W$	Rezistenta termica
Vata bazaltica	δ	0.1	m	Grosime
	λ	0.037	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	2.702703	$m^2 \cdot K/W$	Rezistenta termica
Placa fibrocement	δ	0.01	m	Grosime
	λ	0.2	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.05	$m^2 \cdot K/W$	Rezistenta termica
Tencuiala decorativa	δ	0.005	m	Grosime
	λ	0.93	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.005376	$m^2 \cdot K/W$	Rezistenta termica

$$K_{1.1} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0.025}{0.93} + \frac{0.3}{0.14} + \frac{0.025}{0.93} + \frac{0.1}{0.037} + \frac{0.01}{0.2} + \frac{0.005}{0.93} + \frac{1}{22}}$$

$$K_{1.1} = 0.194943188 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$S_{1.1} = h \cdot l_p = 3 \cdot 39.01 = 117.03 \text{ m}^2$$

h - inaltimea peretelui [m]

l_p - lungimea perimetrului a peretelui [m] (din care s-au sczut suprafetele vitrate)

$$\Delta t = t_i - t_e = 22 + 15 = 37^\circ\text{C}$$

t_i - temperatura interioara

t_e - temperatura exterior

$$Q_{1.1} = K_{1.1} \cdot S_{1.1} \cdot \Delta t = 0.194943188 \cdot 117.03 \cdot 37 = 844.1254483 \text{ W}$$

Perete exterior								
t_i	22	°C	α_i	8	W/m ² k			
t_e	-15	°C	α_e	22	W/m ² k			
δ_1	0.025	m	λ_1	0.93	W/mk	t_{p1}	21.09758812	°C
δ_2	0.3	m	λ_2	0.14	W/mk	t_{p2}	20.90352105	°C
δ_3	0.025	m	λ_3	0.93	W/mk	t_{p3}	5.433603161	°C
δ_4	0.1	m	λ_4	0.037	W/mk	t_{p4}	5.23953609	°C
δ_5	0.01	m	λ_5	0.2	W/mk	t_{p5}	-14.27207206	°C
δ_6	0.005	m	λ_6	0.93	W/mk	t_{p6}	-14.63303681	°C
						t_{p7}	-14.67185023	°C
q	7.219295	W						

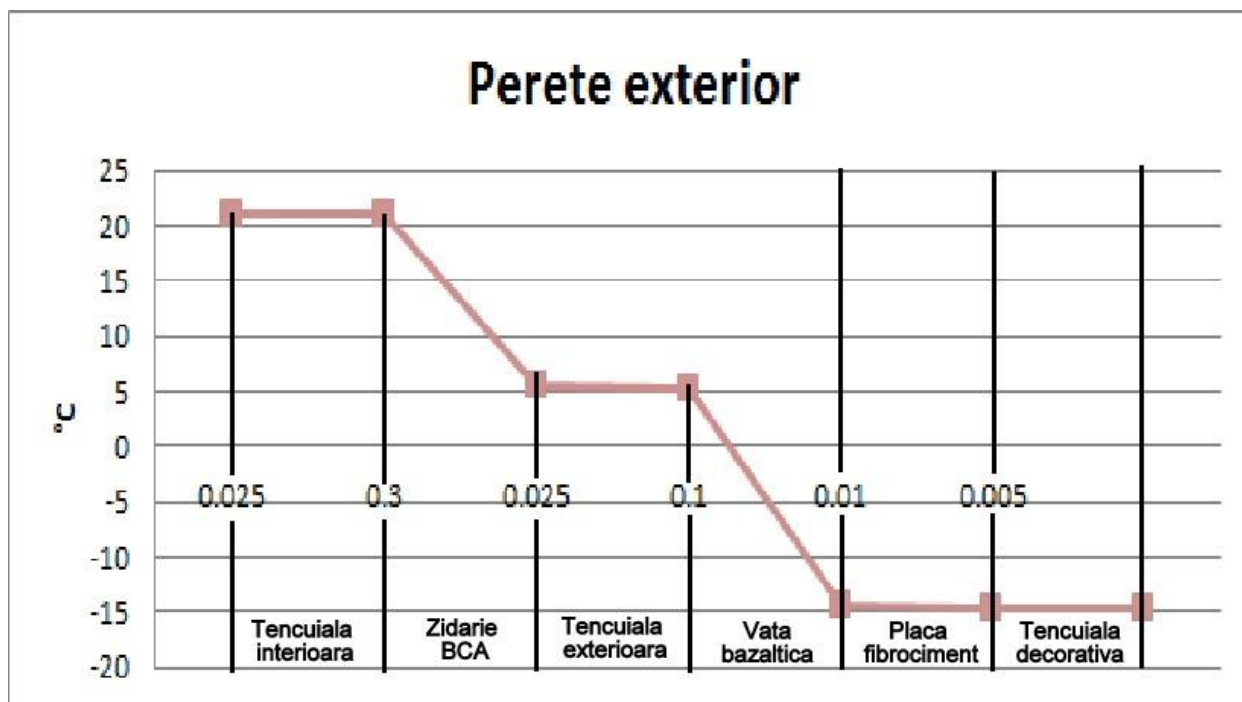


Figura 2.8

Q_{1.2} - fluxul termic pierdut prin podea

Specificatii podea				
Placa fibrociment	δ	0.01	m	Grosime
	λ	0.2	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.05	m ² ·K/W	Rezistenta termica
Sapa	δ	0.1	m	Grosime
	λ	0.035	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	2.857143	m ² ·K/W	Rezistenta termica
Polistiren extrudat	δ	0.05	m	Grosime
	λ	0.033	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	1.515152	m ² ·K/W	Rezistenta termica

$$K_{1.2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0.01}{0.2} + \frac{0.1}{0.035} + \frac{0.05}{0.033} + \frac{1}{0}} = 0.219911 \text{ W/m}^2\text{K}$$

S_{1.2} - amprenta la sol a casei = 122.96 m²

$$\Delta t = t_i - t_e = 22 - 15 = 7^\circ\text{C}$$

Temperature pentru podea este de 15°C

$$Q_{1.2} = K_{1.2} \cdot S_{1.2} \cdot \Delta t = 0.219911 \cdot 122.96 \cdot 7 = 189.2818 \text{ W}$$

Podea								
t _i	22	°C	A _i	8	W/m ² k			
t _e	15	°C	A _e	0	W/m ² k			
δ_1	0.01	m	λ_1	0.2	W/mk	t _{p1}	21.80757789	°C

δ_2	0.1	m	λ_2	0.035	W/mk	t_{p2}	21.73060904	°C
δ_3	0.05	m	λ_3	0.033	W/mk	t_{p3}	17.33238927	°C
δ_4		m	λ_4		W/mk	t_{p4}	15	°C
δ_5		m	λ_5		W/mk	t_{p5}		°C
δ_6		m	λ_6		W/mk	t_{p6}		°C
						t_{p7}		°C
q	1.539377	W						

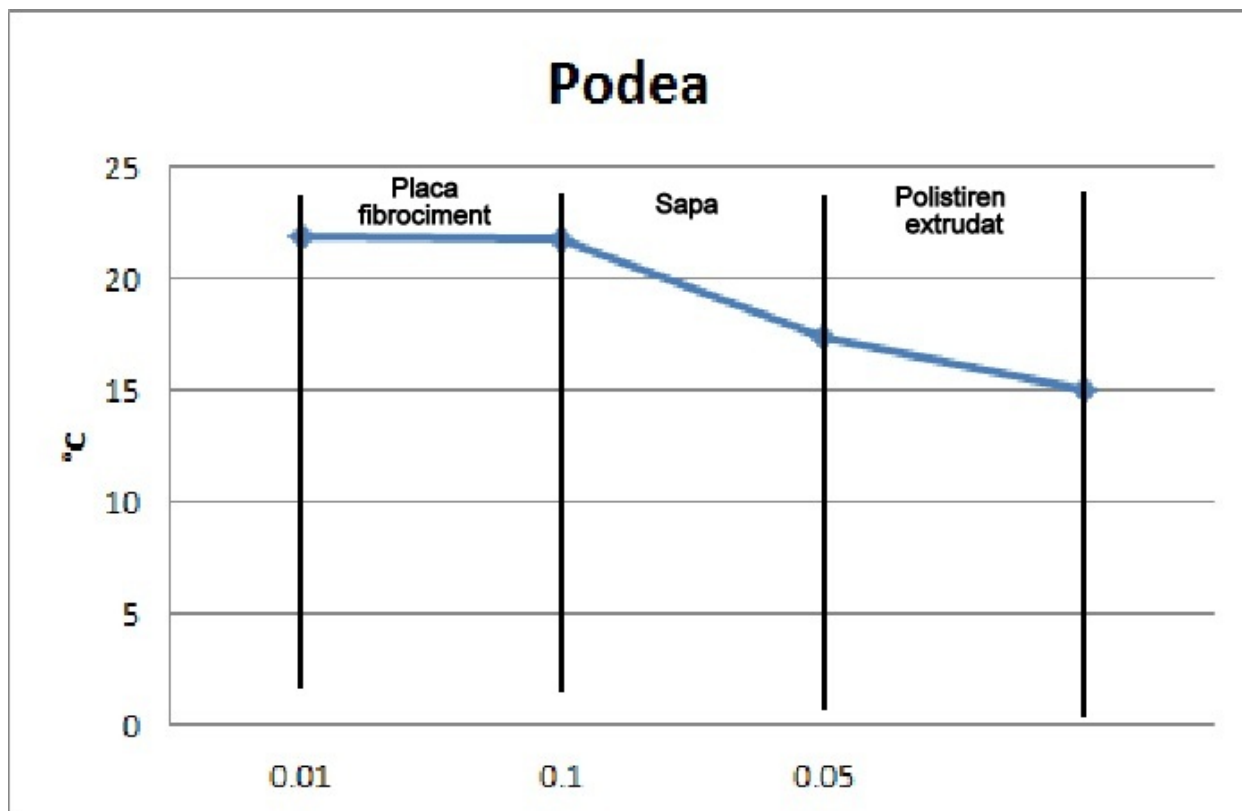


Figura 2.9

Q_{1.3} - fluxul termic pierdut prin tavan

Specificatii tavan				
Tencuiala	δ	0.02	m	Grosime
	λ	0.93	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.021505	m ² ·K/W	Rezistenta termica
Placa beton armat	δ	0.13	m	Grosime
	λ	1.74	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.074713	m ² ·K/W	Rezistenta termica
Sapa	δ	0.03	m	Grosime
	λ	0.26	W/m·K	Conductivitate termica
	R_t	0.115385	m ² ·K/W	Rezistenta termica
Vata bazaltica	δ	0.15	m	Grosime
	λ	0.037	W/m·K	Conductivitate termica

	R _t	4.054054	m ² ·K/W	Rezistența termică
Placa nivelanta	δ	0.02	m	Grosime
	λ	0.26	W/m·K	Conductivitate termică
	R _t	0.076923	m ² ·K/W	Rezistența termică

$$K_{1.3} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.13}{1.74} + \frac{0.03}{0.26} + \frac{0.15}{0.037} + \frac{0.02}{0.26} + \frac{1}{22}}$$

$$K_{1.3} = 0.219736 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$S_{1.3} = S_{1.2} = 122.96 \text{ m}^2$$

$$\Delta t = t_i - t_e = 22 + 15 = 37^\circ\text{C}$$

$$Q_{1.3} = K_{1.3} \cdot S_{1.3} \cdot \Delta t = 0.219736 \cdot 122.96 \cdot 37 = 1000 \text{ W}$$

Tavan								
t _i	22	°C	α _i	8	W/m ² k			
t _e	-15	°C	α _e	22	W/m ² k			
δ ₁	0.02	m	λ ₁	0.93	W/m k	t _{p1}	20.9751906	°C
δ ₂	0.13	m	λ ₂	1.74	W/m k	t _{p2}	20.7988793	°C
δ ₃	0.03	m	λ ₃	0.26	W/m k	t _{p3}	20.18634954	°C
δ ₄	0.15	m	λ ₄	0.037	W/m k	t _{p4}	19.24037163	°C
δ ₅	0.02	m	λ ₅	0.26	W/m k	t _{p5}	-13.99669009	°C
δ ₆		m	λ ₆		W/m k	t _{p6}	-14.62734204	°C
						t _{p7}		°C
q	8.198475	W						

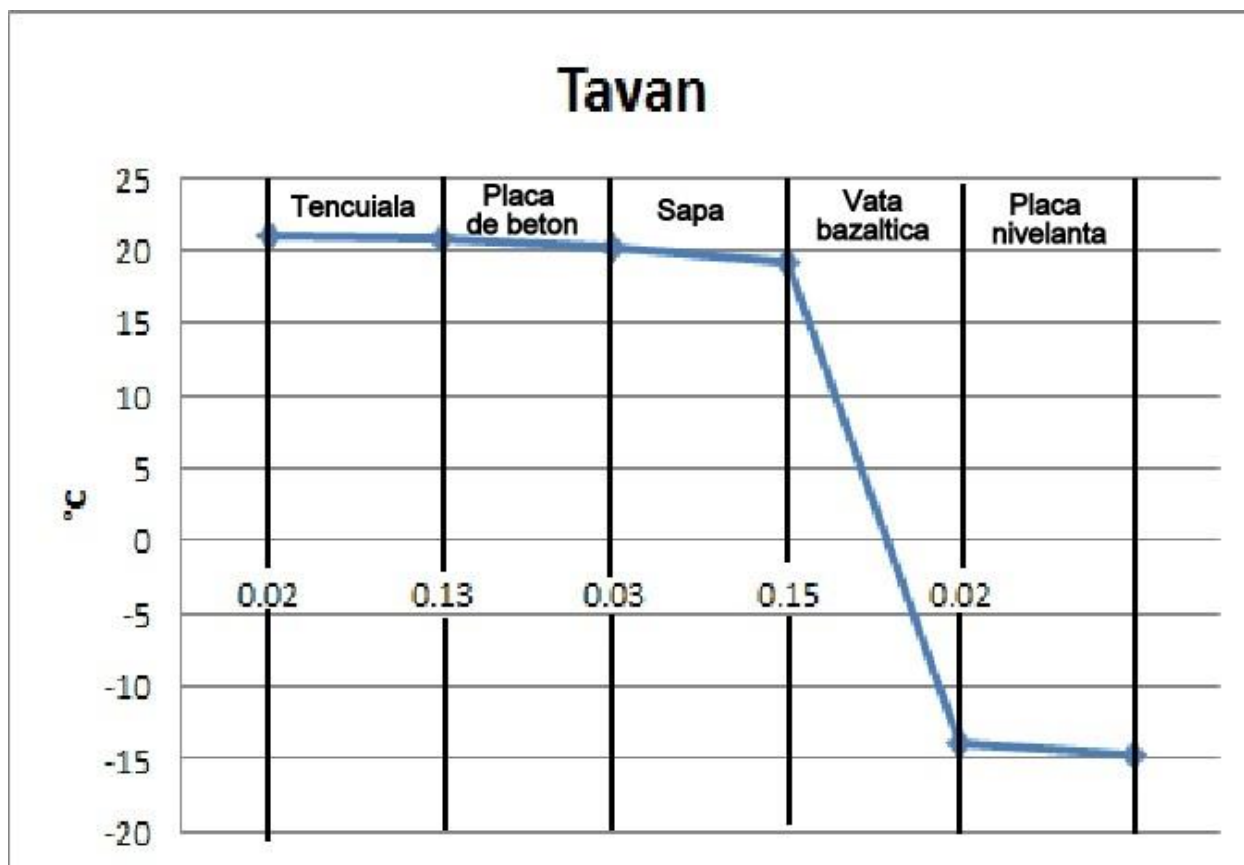


Figura 2.10

$Q_{1.4}$ - fluxul termic pierdut prin suprafețele vitrate

Am ales un geam termopan cu trei randuri de sticlă și cu tamplarie de lemn.

$$K_{1.4} = 0.6 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$S_{1.4} = 27.28 \text{ m}^2 \text{ suprafața ocupată de geamuri}$$

$$\Delta t = t_i - t_e = 22 + 15 = 37^\circ\text{C}$$

$$Q_{1.4} = K_{1.4} \cdot S_{1.4} \cdot \Delta t = 0.6 \cdot 27.28 \cdot 37 = 605.616 \text{ W}$$

Fereastra								
t_i	22	°C	α_i	8	W/mpk			
t_e	-15	°C	α_e	22	W/mpk			
δ_1	0.005	m	λ_1	0.75	W/mk	tp1	19.92074356	°C
δ_2	0.018	m	λ_2	0.0177	W/mk	tp2	19.80984988	°C
δ_3	0.005	m	λ_3	0.75	W/mk	tp3	2.893865242	°C
δ_4	0.018	m	λ_4	0.0177	W/mk	tp4	2.782971565	°C
δ_5	0.005	m	λ_5	0.75	W/mk	tp5	-14.13301307	°C
δ_6		m	λ_6		W/mk	tp6	-14.24390675	°C
						tp7		°C
q	16.63405	W						

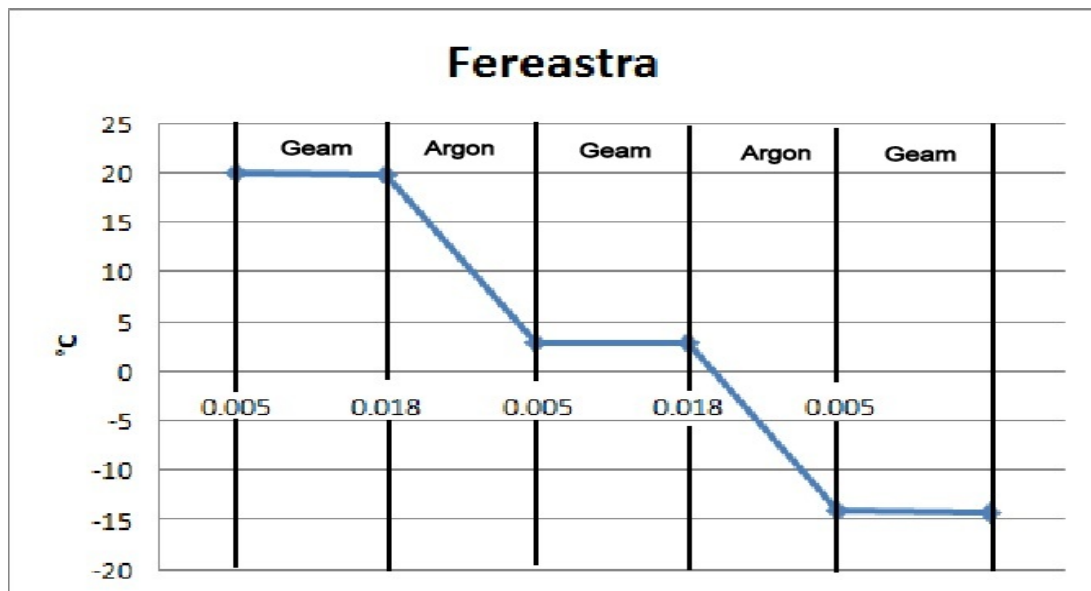


Figura 2.11

$$Q_1 = Q_{1.1} + Q_{1.2} + Q_{1.3} + Q_{1.4} = 844.1254483 + 189.2818 + 1000 + 605.616$$

$$Q_1 = 2638.71712 \text{ W}$$

2.1.2 Mers de calcul pentru Q_2

$$Q_2 = n \cdot Q_1$$

n - numărul de schimburi (0.7; 0.8; 1)

Q_1 - fluxul de căldură pierdut prin transmisie

$$Q_2 = 1 \cdot 2638.71712 \Rightarrow Q_2 = 2638.71712 \text{ W}$$

2.1.3 Mers de calcul pentru Q_3

$$Q_3 = \frac{m \cdot c_w \cdot (t_b - t_r)}{\tau \cdot 3600} \text{ [kW]}$$

m - cantitatea de apă caldă preparată [Kg]

$$m = n \cdot c_{zn} \cdot \rho \text{ [Kg]}$$

$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$ - densitatea apei [Kg/m³]; $n = 4$ - numărul de locatari $\Rightarrow n$

c_{zn} - consumul zilnic de persoană [l] $\gg c_{zn} = l \cdot 1000 = \text{m}^3$

Un consum de acm specific unui nivel de confort mediu la o temperatură de 45°C vom avea un $c_{zn} = 50 \text{ l}$ de persoană

c_w - căldura specifică a apei [KJ/KgC] $\Rightarrow c_w = 4.186 \text{ KJ/Kg}\cdot\text{C}$

t_b - temperatura apei din boiler [C] $\Rightarrow t_b = 50^\circ\text{C}$

t_r - temperatura apei de intrare [C] $\Rightarrow t_r = 10^\circ\text{C}$

În general avem vara $t_r = 12...17^\circ\text{C}$, iar iarna $t_r = 5...10^\circ\text{C}$

τ - timpul în care este încălzită apa [h] $\Rightarrow \tau = 4\text{h}$

$$m = 4 \cdot (50 \cdot 1000) \cdot 1000 \text{ m} = 200 \text{ Kg}$$

$$Q_3 = \frac{200 \cdot 4.186 \cdot (50 \cdot 10)}{4 \cdot 3600} \Rightarrow Q_3 = 2325.555556 \text{ W}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2638.71712 + 2638.71712 + 2325.555556$$

$$Q = 7602.989795 \text{ W} \Rightarrow Q = 7.6 \text{ KW}$$

3 Calculul necesarului de frig pentru depozit de fructe

3.1 3.1 Calculul grosimii izolațiilor

Regimul de funcționare al spațiilor frigorifice, caracterizat prin valori coborâte ale temperaturilor, prin variația rapidă a acestora și prin umiditatea mare a aerului încăperilor, impune pentru izolațiile termice ale pereților, planșeelor și pardoselilor condiții deosebite. Pereții spațiilor frigorifice despart două medii cu temperaturi diferite. Fluxul de căldură ce pătrunde din exterior în camere care trebuie preluat de instalația frigorifică este direct proporțional cu diferența de temperatură dintre cele două fețe ale peretelui și cu coeficientul global de transmitere a căldurii. Izolarea se execută la spațiile răcite atât la pereți cât și la tavan și podea și are ca rol împiedicarea apariției condensului pe suprafața caldă a pereților incintelor frigorifice.

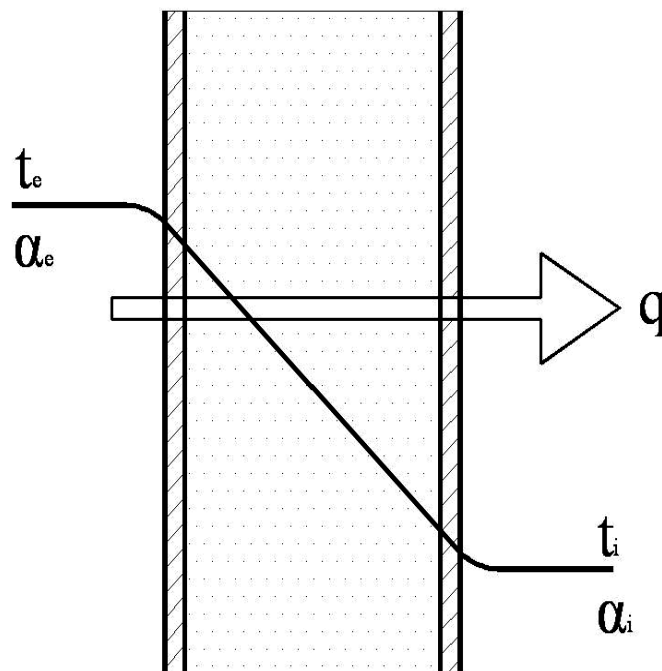


Figura 3.1 Fig.13 Variația de temperatură prin peretele termoizolant.

Din exploatarea frigoriferelor se cunoaște că, prin învelișul exterior al spațiilor frigorifice trece în majoritatea cazurilor mai mult de jumătate din cantitatea totală de căldură ce pătrunde în încăperi. Această cantitate de căldură se poate reduce prin majorarea grosimii stratului termoizolant. Dar, reducerea infiltrațiilor de căldură în acest fel nu se poate face nelimitat, deoarece la o anumită grosime a stratului izolan, adică la o anumită valoare a coeficientului k de transfer al căldurii, costul construcției izolate va fi mai mare decât costul energiei ce reprezintă frigul economisit prin majorarea grosimii izolației.

De aceea se obișnuiește a se folosi în calcule valori optime ale coeficientului k de transfer al căldurii, calculându-se astfel o grosime optimă a izolației termice.

Pentru izolarea pereților camerelor se vor folosi panouri tip sandwich. Fig.15.

Tablă din oțel galvanizat plastifiat

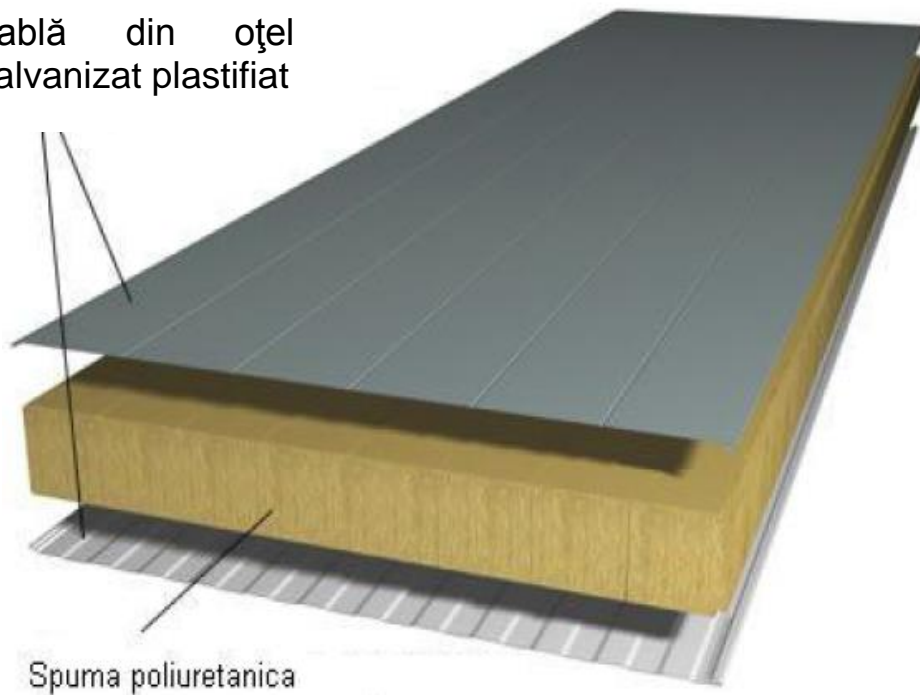


Figura 3.2 Fig.15. Construcția panourilor de tip sandwich

Rolul panourilor plastifiate este de a preîntâmpina pătrunderea vaporilor în interiorul izolației eliminând necesitatea barierei de vapori. Panourile folosesc metoda de îmbinare nut-feder reducându-se astfel transferul de căldură cu mediul extern.

Deoarece avem un singur depozit vom adopta coeficienții de transfer de căldură, prin convecție funcție de Δt .

Aleg pentru $\Delta t = t_e - t_i = 31,8 - 1 = 30,8 \text{ } ^\circ\text{C}$, $k = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Din catalogul de produse INCOLD Italia se alege $\lambda_{\text{poliuretan } 100 \text{ mm}} = 0,023 \text{ W/mK}$.

Tabelul 3.17 Tabel.2.4 Calculul grosimi izolației

Spațiul frigorific	Perete	k	α_i	α_e	$1/\alpha_i$	$1/\alpha_e$	R	1/k	λ_{iz}	δ_{iz} calc	δ_{iz} ales	Kr
		[W/m ² K]	[m ² K/W]				[W/mK]	[m]	[m]			
	N	0,229	10	18	0,10	0,06	0,590	4,367	0,023	0,097	0,100	0,23
DR	E	0,224	10	12	0,10	0,08	0,618	4,464	0,023	0,098	0,100	0,23
	S	0,221	10	12	0,10	0,08	0,618	4,525	0,023	0,100	0,100	0,23
	V	0,223	10	12	0,10	0,08	0,618	4,484	0,023	0,099	0,100	0,23
	T	0,221	10	12	0,10	0,08	0,618	4,525	0,023	0,100	0,100	0,23
	P	0,228	10	0	0,00	0,00	0,435	4,386	0,023	0,000	0,100	0,23
CP	N	0,221	25	12	0,04	0,08	0,558	4,525	0,023	0,101	0,100	0,23
	E	0,224	25	12	0,04	0,08	0,558	4,464	0,023	0,100	0,100	0,23
	S	0,224	25	12	0,04	0,08	0,558	4,464	0,023	0,100	0,100	0,23
	V	0,223	25	12	0,04	0,08	0,558	4,484	0,023	0,100	0,100	0,23
	T	0,221	25	12	0,04	0,08	0,558	4,525	0,023	0,101	0,100	0,23
	P	0,228	25	0	0,00	0,00	0,435	4,386	0,023	0,000	0,100	0,23

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

Coeficientul global de transfer de căldură se determină utilizand relația :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ - suma rezistențelor termice ale tuturor straturilor din care este realizat peretele[m²K/W]

δ_{iz} - grosimea stratului de izolație termică [m]

λ_{iz} - conductivitatea termică a materialului izolator [W/mK]

α_e - coeficient de convecție pe partea exterioară a peretelui [W/mK] ;

α_i - coeficient de convecție pe partea interioară a peretelui [W/mK] ;

3.2 3.2 Bilantul caloric al spatiului climatizat pe timp de vară. Necesarul de frig pentru frigifer.

Se stabilește consumul zilnic de frig pe întreg frigiferul și pentru fiecare / încăpere în parte, luându-se în considerare cele mai nefavorabile condiții de lucru:

- temperatura aerului exterior pentru luna cea mai caldă a anului;
- încărcarea maximă și simultană a camerelor de refrigerare.

- camerele vecine celei căreia i se face calculul necesarului de frig sunt goale și au temperatura vestibulului sau a sasului.

Aceste calcule determină necesarul de frig pe categorii de consumatori, grupați după temperatura cerută și permit stabilirea puterilor frigorifice în vederea proiectării instalației.

Pentru calculele termice sunt necesare următoarele:

- planul frigoriferului care a fost stabilit;
- dimensiunile camerelor;
- temperaturile necesare în fiecare cameră.

Se consideră:

- 1°C în depozitele de refrigerate.
- orientarea frigoriferului după punctele cardinale;
- condiții climatice în lunile cele mai călduroase pentru zona geografică respectivă.

Consumul de frig se calculează pentru 24 ore cu relația:

$$Q_{nec} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \text{ [kcal/24h]}$$

Q_1 - necesarul de frig pentru acoperirea pătrunderilor de căldură prin convecție, conducție și radiație din mediul înconjurător prin pereți, pardosea și plafon.

Q_2 - necesarul de frig tehnologic pentru procesele de răcire, refrigerare și congelare, eliminarea căldurii de respirație sau pentru unele procese chimice și biochimice.

Q_3 - necesarul de frig pentru ventilarea camerelor frigorifice cu aer proaspăt care trebuie răcit și uscat.

Q_4 - necesarul de frig rezultând din condiții de exploatare, acoperirea căldurii provenite din iluminat, din funcționarea motoarelor, căldura provenită de la persoanele ce manipulează produsele, datorită deschiderii ușilor etc.

3.2.1 Consumul de frig Q_1

Se determină pentru fiecare spațiu în parte cu relația:

$$\sum Q_1 = \sum F \cdot k \cdot (\Delta t + \Delta t_R) \text{ [W]}$$

F - reprezintă suprafața pereților, a pardoselei și a plafonului corespunzător fiecărui spațiu frigorific în parte în m^2 . Ca suprafață de transfer se va considera suprafața exterioară a perimetrului izolat termic.

k - reprezintă coeficientul global de transmitere a căldurii prin convecție, conducție și radiație prin pereți, plafon și pardoseală (toate izolate termic) în $[W/(m^2 \cdot \text{grd.})]$. Valoarea coeficientului k a fost calculată în tabelul 2.4 (kr).

Δt - reprezintă diferența de temperaturi dintre temperatura exterioară suprafeței de transfer termic considerată și temperatura interioară spațiului frigorific.

Diferența de temperatură Δt_R se ia în considerație numai la pereții exteriori și la plafoane care sunt și acoperiș pentru clădire.

$\Delta t_R = 0^\circ\text{C}$ pentru pereții exteriori orientați spre N

$\Delta t_R = (5... 10)^\circ\text{C}$ pentru pereții exteriori orientați spre E, V, S-E, S-V;

$\Delta t_R = 15^\circ\text{C}$ pentru pereții exteriori orientați spre S;

$\Delta t_R = (15... 18)^\circ\text{C}$ pentru plafoane care sunt și acoperiș (terasă).

Calculul valorilor mărimii $\sum Q_1$ se recomandă a se efectua tabelar conform tabelului 2.5

Valoarea mărimii $\sum Q_1$ la aparate se obține prin însumarea fluxurilor termice prin toate cele 6 suprafețe delimitatoare.

La stabilirea valorii mărimii $\sum Q_1$ se consideră doar unul dintre fluxurile termice prin suprafețele ce separă spațiile frigorifice vecine. Pentru aparatele de răcire din spațiile frigorifice se consideră situația cea mai grea pentru fiecare spațiu în parte, respectiv că spațiile vecine nu sunt răcite.

Spațiul frigorific c	Perete e	Dimensiuni i		Suprafață F [m ²]	Kr [W/m ² K]	Δt [grad]	Δt_r	Q1 [W]	$\sum Q_1$	q
		a [m]	b [m]							
DR	N	15	4	60	0,23	30,8		425,04	2460,68	7,08
	E	7	4	28	0,23	30,8	8	249,87		8,92
	S	15	4	60	0,23	18,5	15	462,02		7,70
	V	7	4	28	0,23	30,8		198,35		7,08
	T	15	7	105	0,23	30,8		743,82		7,08
	P	15	7	105	0,23	15,8		381,57		3,63
CP	N	7	4	28	0,23	18,5		119,14	1335,66	4,26
	E	7	4	28	0,23	26,8	8	224,11		8,00
	S	7	4	28	0,23	26,8	15	269,19		9,61
	V	7	4	28	0,23	18,5		119,14		4,26
	T	7	7	49	0,23	26,8		302,04		6,16
	P	7	7	49	0,23	26,8		302,04		6,16

Tabelul 3.18 Tabel 2.5 Calculul valorilor mărimii Q_1

3.2.2 Necesarul de frig Q_2

$\sum Q_2$ - necesarul de frig tehnologic pentru procesele de răcire, refrigerare și congelare;

$$Q_{2d} = m_{cp} \cdot (t_c - t_i) = 50000 \cdot 3,64 \cdot 4 = 4186000 / (24 \cdot 3600) = 8,42 \text{ kW}$$

$$Q_{2c} = 26000 \cdot 3,64 \cdot 19 = 1798160 = 20,8 \text{ kW}$$

$$Q_2 = 20,8 + 8,42 = 29,3 = 30 \text{ kW}$$

unde:

Q_{2d} - necesarul de frig tehnologic depozit

Q_{2c} - necesarul de frig tehnologic camera de preracire

m - cantitatea de produse introduse în tunelul de congelare, în kg;

t_e, t_i - temperaturi specifice corespunzătoare temperaturii inițiale a produsului cald (24 °C), respectiv temperaturii finale a produsului refrigerat (1 °C).

Căldura specifică mere $c_p = 3.64$ [kJ/kgK]

3.2.3 Necesarul de frig Q_3

În funcție de natura produselor din spațiul frigorific, este necesar uneori să se realizeze ventilarea spațiului, prin asigurarea unui anumit număr de schimburi ale aerului din incintă în 24h. Ca exemplu, întotdeauna va fi necesară ventilarea, prin introducerea de aer proaspăt, în spațiile de păstrare pentru legume, fructe și ouă refrigerate. Aceste produse vii, respiră în timpul păstrării și necesită în consecință ventilarea spațiilor de păstrare.

Acest consum de frig se ia în considerare doar la depozitele de refrigerare care se ventilează. Se stabilește cu relația:

$$Q_3 = V \cdot a \cdot \rho_i \cdot (h_{ex} - h_i) \text{ [kJ/24]}$$

V - volumul camerelor ventilate, în m^3 .

$a = 2 \dots 4$ schimburi pe zi pentru depozitele de mere.

ρ_i - reprezintă densitatea aerului la temperatură interioară, în kg/m^3 .

Pentru depozitele de refrigerare considerăm umiditatea relativă $\varphi_i = 95\%$ și $t_i = 1$ °C rezultând în acest caz $h_i = 9$ kJ/kg.

Parametri aerului exterior pentru zona în care este amplasat depozitul sunt: temp ex 31,8 și umiditatea ext 60% rezultând din diagram mollier entalpia aerului. Calculul făcut în programul Coolpack.

$$\rho_i = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{ex} = 75.19 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_3 = 616 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot (75.19 - 9) / (24 \cdot 3600) = 0.0025 \text{ kW}$$

3.2.4 Necesarul de frig Q_4

Q_4 - frigul consumat pentru acoperirea pierderilor în timpul exploatarei, datorat deschiderii ușilor, a corpurilor de iluminat, a motoarelor electrice, a oamenilor. Se admite $Q_4 = (0,1 \dots 0,4) \cdot Q_1$

$$Q_4 = 0.2 \cdot 3796,17 = 759,234 = 0.08 \text{ kW}$$

$$Q_{total} = \sum Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0.04 + 30 + 0.00025 + 0.08 = 30.12 = 31 \text{ kW}$$

3.3 3.3 Stabilirea direcției raportului de termoumiditate și trasarea procesului de condiționare a aerului pe diagrama i-X pe timp de vară.

În fig.16 este reprezentat un agregat pentru condiționarea aerului pe timp de vară, cu recirculare parțială.

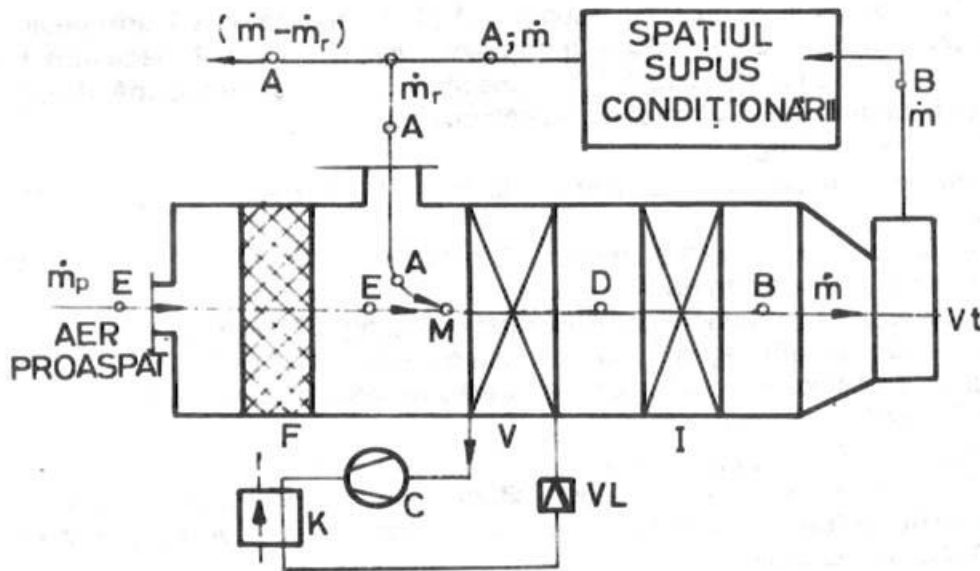


Figura 3.3 Figura.16. Schema aparatului de condiționare a aerului pe timp de vară, cu recirculare parțială.

F - filtru; V - vaporizator; C - compresor; K - condensator; VL - ventil de laminare; I - încălzitor; Vt - ventilator

Procesele de lucru pot fi reprezentate în diagrama h-x, ca în figura următoare.

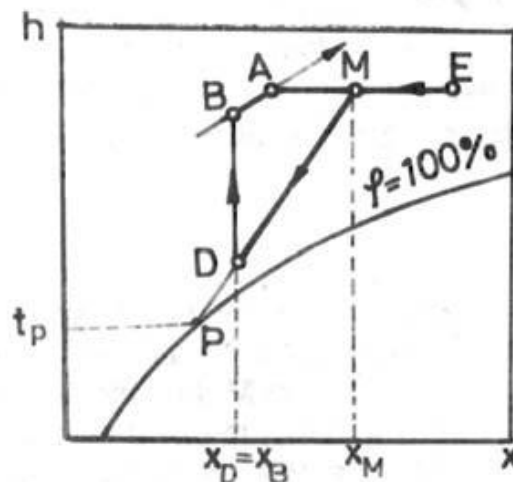


Figura 3.4 Fig.17.

- A reprezintă starea aerului recirculat provenit din spațiul condiționat, iar E este starea aerului exterior.
- Aerul tratat în aparatul de condiționare, care se introduce în incintă, având starea B, trebuie să preia degajările de căldură \dot{Q}_v [kW] și de umiditate \dot{W}_v [kg/s].
- Direcția procesului suferit de aer în incintă este dată de raportul de termoumidificare $\varepsilon_v = \dot{Q}_v / \dot{W}_v$
- Prin punctul A se trasează dreapta având raportul de termoumidificare ε_v , iar punctul B, se fixează pe această dreaptă, adoptându-se o anumită diferență de temperatură față de starea A;
- Aerul recirculat A, se amestecă cu aerul proaspăt E și rezultă starea de amestec M. De regulă $x_M > x_B$, deci aerul va trebui să fie uscat;
- Pe verticala din B, se fixează starea D, având $x_D = x_B$ și $\varphi_D = 90...98 \%$;

- Se unește M cu D, iar apoi se prelungeste acest segment până la intersecția cu $\phi = 100\%$, rezultând starea P, având temperatura t_p .
- Circulând aerul cu starea M peste o suprafață rece având temperatura t_p , se va obține procesul de răcire și uscare MD;
- Temperatura suprafeței t_p se asigură cu o instalație frigorifică, a cărei temperatură de vaporizare va fi $t_0 < t_p$;
- Ultimul proces din aparatul de condiționare va fi încălzirea finală DB.

Calculul agregatului de condiționare a aerului pe timp de vară se efectuează asemănător cu cel a agregatului de condiționare a aerului pe timp de iarnă, cu observația că pe timp de vară nu este necesară umidificarea.

3.3.1 Date

$$V_{\text{total}} = 616 \text{ m}^3; \quad t_{\text{int}} = 1^\circ\text{C}; \quad t_{\text{ex}} = 31,8; \quad \varphi_{\text{int}} = 90\%; \quad \varphi_{\text{ext}} = 60\%; \quad \rho_{\text{aer}} = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Starea A

$$t_A = t_i + 3 = 4^\circ; \quad x_A = 0,0043 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right]; \quad \varphi_A = 86\%; \quad h_A = 14,89 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$$

Starea B

$$t_B = 1^\circ\text{C}; \quad x_B = 0,0036 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right]; \quad \varphi_B = 90\%; \quad h_B = 10,24 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$$

Starea E

$$t_E = 31,8^\circ\text{C}; \quad x_E = 0,0171 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right]; \quad \varphi_E = 60\%; \quad h_E = 75,19 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$$

Starea M

$$h_M = \frac{h_E + n \cdot h_A}{n + 1} = \frac{75,13 + 20 \cdot 14,89}{21} = 17,75 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$$

$$x_M = \frac{x_E + n \cdot x_A}{n + 1} = \frac{0,0171 + 20 \cdot 0,0043}{21} = 0,0049 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right]$$

Rezulta din diagrama Mollier

Starea D

$$h_D = 10,8 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]; \quad x_D = 0,003 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right]; \quad \varphi_D = 97\%$$

Raportul de recirculare $n = 20$

$$\text{Debitul de aer ventilat } \dot{V} = \frac{V_{\text{total}} \cdot 20}{24\text{h}} = \frac{616 \cdot 20}{24} = 513 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$\text{Debitul masic } \dot{m} = V \cdot \rho_{\text{aer}} = 513 \cdot 1,2 = \frac{615,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right]}{3600} = 0,171 \text{ [kg/s]}$$

$$t_p = -3^\circ\text{C}; \quad t_0 = t_p - 9^\circ\text{C} = -3 - 9 = -12^\circ\text{C}$$

Puterea termica a vaporizatorului (puterea frigorifică)

$$\Phi_V = \Phi_0$$

Puterea termica a încălzitorului:

$$\Phi_I = \dot{m} \cdot (h_B - h_D)$$

Cantitatea de apa condensată în unitatea de timp pe suprafața de racire este :

$$\dot{W}_V = \dot{m} \cdot (X_M - X_D)$$

4 Utilizarea frigului artificial în lucrările de construcții

Există două domenii principale în care se utilizează frigul artificial în lucrările de construcții și anume:

- înghețarea terenurilor acvifere în vederea săpării puțurilor de mină, a barajelor, a depozitelor de gaze lichefiate etc.;
- prerăcirea componentelor betonului în cazul executării unor masive de beton, ca de exemplu, baraje.

4.1 5.1. ÎNGHETAREA SOLULUI

4.1.1 5.1.1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND ÎNGHETAREA SOLULUI

Înghețarea artificială a solului reprezintă una dintre cele mai interesante, și în același timp și importante aplicații practice a frigului artificial. Totodată, este una dintre primele aplicații industriale a tehnicii frigului și care a asigurat o dezvoltare deosebită a industriei extractive. Așa se explică faptul că, odată apărută mașina frigorifică cu absorbție, realizată în 1859 de către Ferdinand Carre este folosită la săparea primului puț de mină, prin înghețarea artificială a rocilor. Dar, nu numai industria minieră folosește în ultimul secol procedeul consolidării rocilor la săpararea unor lucrări subterane. Lucrări ingineresti de tot genul, ca metrouri, stații subterane de pompare, rezervoare de gaze lichefiate, poduri, lucrări portuare și altele asemănătoare, amplasate în zone acvifere, au fost realizate prin metoda consolidării prin frig a rocilor.

Această metodă a consolidării rocilor prin frig artificial realizează în jurul lucrării ingineresti subterane un perete înghețat, protector pe durata lucrărilor de construcții. Acest perete asigură o izolare hidraulică și în același timp și o protecție mecanică. Rezistența mecanică a rocilor crește pe măsură ce temperatura lor scade, încât metoda expusă mai sus prezintă avantajul reglării capacității portante a peretelui înghețat.

Apa conținută în terenuri, prin înghețare capătă proprietățile cimentului, exprimate prin forțele de coeziune mari care apar între cristalele de gheață și grăunții de rocă.

Pentru obținerea peretelui protector se folosesc sonde de înghețare, forate pe conturul lucrării subterane și prin care circulă agentul de răcire, care poate fi un agent intermediar, ca de exemplu, saramura de clorură de calciu, sau agentul frigorific, de exemplu amoniacul. În funcție de grosimea peretelui și de rezistența mecanică pe care trebuie să o aibă, se va alege temperatura agentului de răcire, distanța dintre sonde și durata de înghețare.

Instalația de consolidare prin frig a rocilor cuprinde trei părți principale: stația frigorifică, rețeaua de distribuție a agentului de răcire (saramura) și sondele de înghețare a solului.

Stația frigorifică cuprinde instalația frigorifică propriu-zisă, cu comprimare mecanică de vapori sau prin absorbție, într-o treaptă, sau în două trepte. În funcție de condițiile de amplasament ale obiectivului, stația frigorifică poate fi de construcție staționară (în minieră) sau mobilă (la metrouri).

Rețeaua de distribuție alcătuită din conducte metalice sau din mase plastice, are rolul de a face legătura între stația frigorifică și sondele de înghețare. Pentru reducerea pierderilor de frig rețeaua de distribuție se izolează termic.

Sondele de înghețare constituie schimbătorul de căldură subteran, prin care se extrage căldura de la terenul supus înghețării. În fig. 5.1. se prezintă schița unei sonde de înghețare cu ajutorul saramurii. Saramura rece, cu temperatura între $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ până la $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$

coboară prin țeava interioară și apoi se întoarce prin spațiul inelar dintre cele două conducte concentrice.

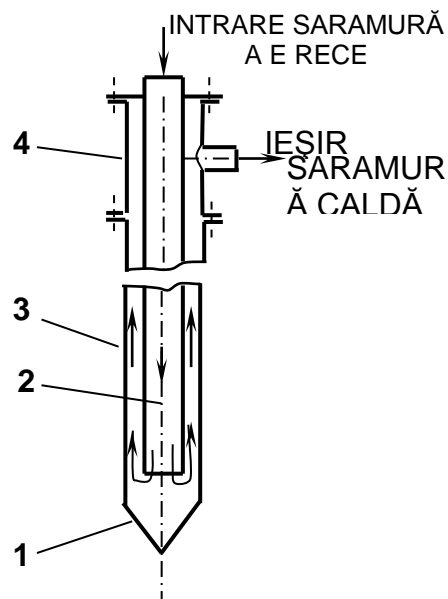


Figura 4.1 Fig. 5.1 Sonda de înghețare:

1 - șiu (tub scurt de oțel, cu pereți groși, rezistent); 2 - țeava interioară; 3 - țeava exterioară (burlan de înghețare); 4 - capul sondei.

Circulația continuă a saramurii prin sonda de înghețare face ca rocile ce înconjoară sondele, inclusiv apa conținută în spațiile libere, să se răcească treptat. În jurul sondei începe să se formeze stratul de rocă înghețată, diametrul cilindrului de teren înghețat se mărește în timp. Așa cum s-a arătat în capitolul 3, rezultă că, dezvoltarea radială a cilindrului de rocă înghețată în jurul sondei se desfășoară cu o viteză variabilă de înaintare; la început, viteza de înaintare a frontului de gheață este mai mare după care scade în timp. Apoi, se atinge stadiul staționar de transfer de căldură, când cilindrul nu mai crește în dimensiuni. Reiese că, distanța dintre sondele de înghețare este determinată de raza maximă a cilindrului de teren înghețat. Pentru a realiza peretele înghețat, care să reziste la solicitările la care este supus, se impune ca distanța dintre sondele vecine să fie mai mică decât raza maximă a terenului înghețat astfel încât cilindrii formați să se unească între ei. În fig. 5.2. se prezintă evoluția în timp a înghețării terenului în jurul sondelor. În faza inițială a început răcirea, dar încă nu s-a format teren înghețat. În faza a II-a (după circa 20 zile), în jurul fiecărei sonde se formează câte un cilindru de teren înghețat, fără ca aceștia să se unească. În faza a III-a (după circa 30 zile), cilindrii se întretaie și formează peretele protector.

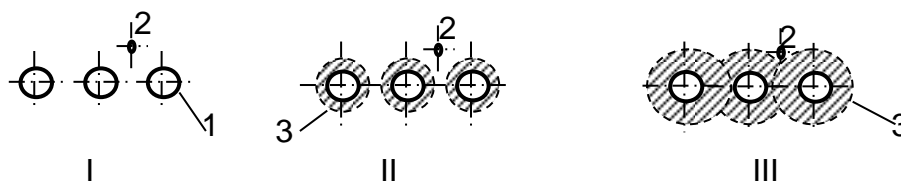


Figura 4.2 Fig. 5.2. Evoluția cilindrilor individuali de rocă înghețată
1 - sonda de înghețare; 2 - sonda de măsurători termice; 3 - teren înghețat

Această evoluție poate fi urmărită cu suficientă precizie prin măsurarea temperaturii masivului cu ajutorul unor sonde de măsurători termice 2, montate la distanțe bine stabilite de sondele vecine de înghețare. Astfel, în faza I-a, temperatura este cea inițială, deci, neafectată de prezența sondelor, în faza a II-a temperatura este mai scăzută dar mai mare de 0 °C. Cum în practică sondele de înghețare au o abatere de la poziția verticală (sau de la cea impusă prin proiect), sondele de măsurători termice sunt prevăzute între sondele

cele mai distanțate între ele, acolo unde evoluția peretelui de protecție este cea mai defavorabilă.

Primele realizări ingineresti de consolidare prin frig artificial a terenurilor acvifere, metodă prin care vor fi aduse la lumină multe bogății subterane, sunt legate de numele inginerului de mine și metalurgie Friederich Herman Poetsch. El a obținut în 27 februarie 1883 brevetul pentru procedeul său de adâncire a puțurilor verticale, în roci bogate în apă (și curgătoare). Poetsch a reușit să experimenteze procedeul său la adâncirea unor puțuri de mină, dar a avut și multe insuccese încât la 9 iunie 1902 moare sărac și dezamăgit. Metoda de înghețare prin frig artificial a terenurilor a avut mare succes în Franța. Astfel, numai în perioada 1892 - 1898 în bazinele carbonifere Nord și Pas de Calais s-au săpat circa 20 puțuri până la o adâncime de 100 m, prin aplicarea metodei înghețării după planurile lui Poetsch.

Desigur că nu ar putea fi omis numele lui Louis Gebhard care realizează numeroase lucrări de adâncire a puțurilor prin înghețare, atât în Germania, cât și în Franța, Anglia, Olanda și Polonia, ceea ce face ca metoda propusă de Poetsch să devină o tehnologie demnă de toată încrederea, cu siguranță absolută și cu un mare randament.

Gebhard, un mare practician, începe să folosească în locul instalațiilor cu absorbție realizate de F. Carre, pe cele cu comprimare mecanică de vapori, realizate de Karl von Linde, cu începere din anul 1874.

Poetsch, în 1888 prevede extinderea procedeului de înghețare, la construcția podurilor, la construcții navale, lucrări de fortificații, la protecția fundațiilor subterane și a bazinelor cu apă. El susține că poate să "rezolve orice problemă sub apă" chiar și puțuri începute și abandonate.

În anul 1900 se depășește bariera adâncimii de 100 m. Realizarea unor puțuri mai adânci (peste 100 m) ridică unele probleme în plus față de puțurile de mai mică adâncime deoarece abaterile de la verticalitate pot conduce la formarea unor "ferestre" în peretele protector.

În țara noastră, această tehnologie de forare a unor puțuri de mină, cât și a galeriilor de metrou, prin înghețarea solului, a fost folosită cu începere din anul 1961, așa cum se prezintă în paragraful 5.1.3.

4.1.2 5.1.2. CONSTRUCȚIA INSTALAȚIEI DE ÎNGHEȚARE A SOLULUI.

În funcție de forma și mărimea lucrării care se realizează la adăpostul terenului înghețat, principal se pot utiliza următoarele tipuri de instalații:

- a) cu răcire indirectă, denumită și "cu dublu schimb" (fig.5.3);
- b)cu răcire directă, în circuit închis (fig. 5.4)
- c)răcire directă, în circuit deschis (fig.5.5)

a) Răcirea indirectă se utilizează în practică cel mai mult, fiind cunoscută încă de la începuturile metodei de înghețare a solului.

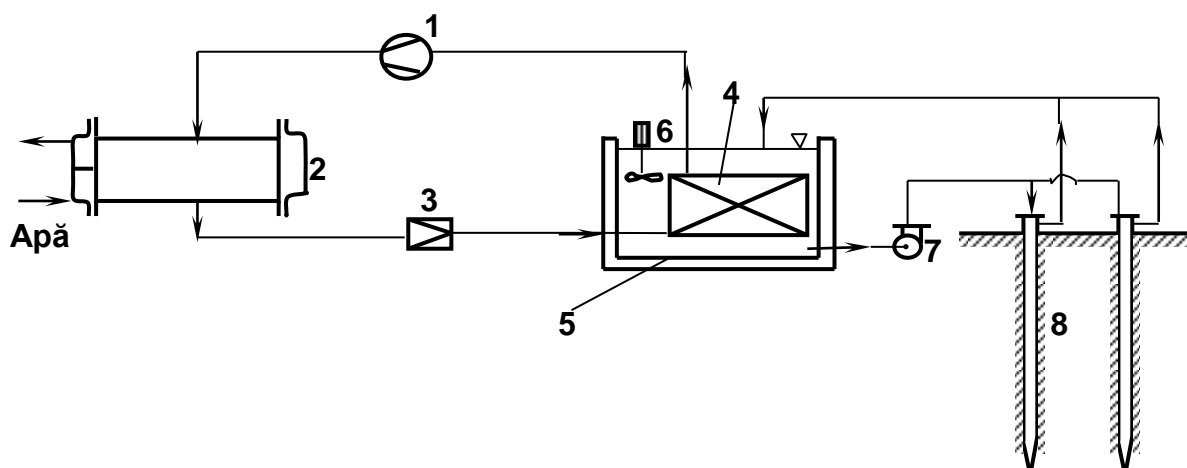


Figura 4.3 Fig. 5.3. Instalația frigorifică cu răcire indirectă;

1 - compresor; 2 - condensator; 3 - ventil de laminare; 4 - vaporizator; 5 - bazin de răcire a saramurii; 6 - agitator; 7 - pompă de saramură; 8 - sonde de înghețare.

Ca agent frigorific se poate folosi amoniacul sau freonii, iar ca agent intermediar se utilizează soluțiile de clorură de calciu, clorura de sodiu sau magneziu, sărurile respective fiind relativ ușor de procurat.

Instalațiile frigorifice cuprind unul sau mai multe blocuri frigorifice. Acest mod de compunere prezintă avantaje în ceea ce privește montarea, cât și exploatarea instalațiilor; se poate asigura o reducere în trepte a puterii frigorifice pe măsură ce crește rezistența termică a stratului de teren înghețat.

Componentele principale ale instalației frigorifice se montează grupat pe cele trei secțiuni: secția de compresoare, secția condensatoarelor și secția vaporizatoarelor. De regulă compresoarele se montează, fie în aer liber, atunci când tipul lor permite, fie acoperite sub șarpante protectoare.

Pe măsură ce se scot din funcțiune, blocurile frigorifice se demontează și se pot monta la un nou obiectiv.

b) Răcirea directă în circuit închis (fig. 5.4.) se utilizează în cazul în care adâncimea de înghețare este mică.

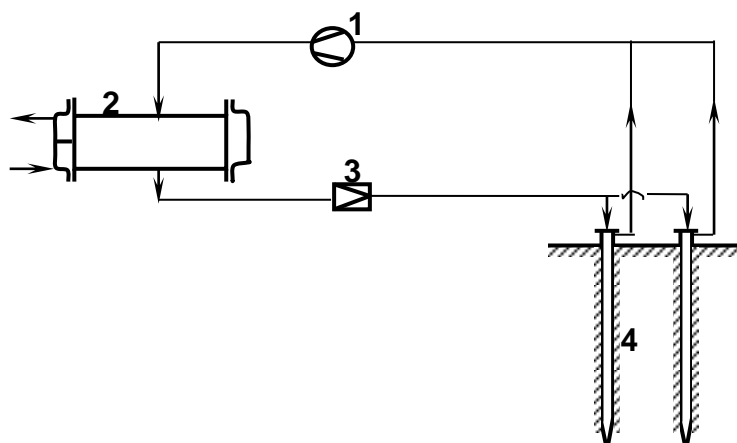


Figura 4.4 Fig. 5.4. Instalația frigorifică cu răcire directă, în circuit închis;

1 - compresor; 2 - condensator; 3 - ventil de laminare; 4 - sonde de înghețare.

Sondele de înghețare constituie vaporizatorul instalației frigorifice. În cazul unor sonde de lungime mare, înălțimea coloanei de agent frigorific este de asemenea mare. Ca urmare a presiunii hidrostatice variabile și temperatura de vaporizare este variabilă, fiind mai mare

la capătul inferior și mai mică la capătul superior. Din acest motiv, adâncimea sondelor de înghețare nu poate depăși anumite limite, și în plus, se recurge la fragmentarea coloanei de lichid cu ajutorul unor pereți despărțitori.

Pierderile de agent frigorific, mai mari decât în cazul răcirii indirecte, reprezintă un alt inconvenient al acestui mod de răcire.

c) Răcirea directă în circuit deschis constă în introducerea agentului frigorific (cel mai frecvent, azot lichid) în sondele de înghețare, fără ca acesta să mai fie folosit după vaporizare.

La presiunea atmosferică, azotul lichid fierbe la temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ încât, vaporii reci de azot, înainte de a fi evacuați se folosesc de asemenea pentru congelarea solului, fiind circulați prin sonde de înghețare (Fig. 5.5.).

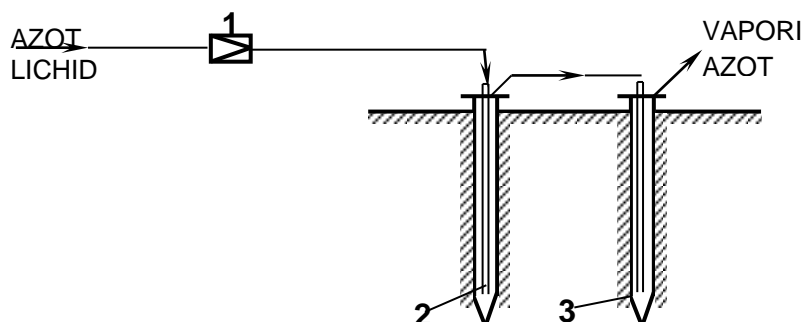


Figura 4.5 Fig. 5.5. Înghețarea cu azot lichid în două trepte.

1 - ventil de laminare; 2 - sonda de înghețare; 3 - sonda de înghețare cu vaporii de azot.

Această metodă se folosește când se urmărește o înghețare rapidă și volumul de teren înghețat este redus.

Se vor prezenta în continuare unele elemente constructive ale instalațiilor de înghețare.

Rețeaua de saramură (fig. 5.6.) are rolul de a asigura transferul de căldură de la sol către agentul frigorific. Cuprinde două schimbătoare de căldură, cel subteran, alcătuit din sondele de înghețare și cel de suprafață reprezentat de vaporizatorul imersat în saramură. Între cele două schimbătoare de căldură există conducte magistrale, distribuitoare - colectoare și racorduri la sonde.

Saramura răcită prin intermediul vaporizatorului 1 este circulată cu pompa 2 prin magistrala de tur a rețelei 3. Sondele de înghețare 5 se leagă prin vane la distribuitorul 4 și colectorul 6, ambele de construcție inelară. Printr-o asemenea construcție și mod de legare a sondelor, prezentate în figura 5.6., se asigură o echilibrare a căderilor de presiune pe sondele de înghețare și ca urmare, o alimentare uniformă cu agent intermediar și deci și o răcire uniformă pentru toate sondele.

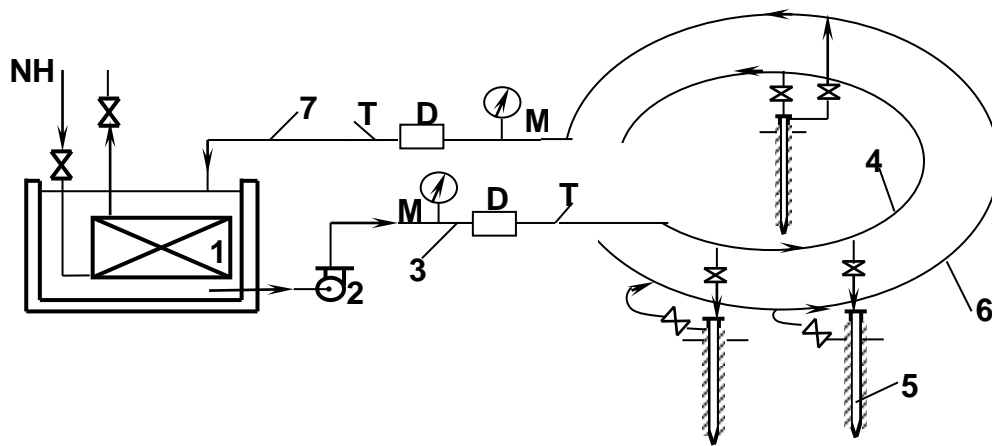


Figura 4.6 Fig. 5.6. Schema rețelei de saramură
 1- vaporizatorul; 2 - pompa de saramură; 3 - magistrala de tur; 4 - distribuitorul inelar; 5 -sondele de înghețare; 6 - colectorul inelar; 7 - magistrale de retur;
 M - manometru; D - debitmetru; T - termometru.

Magistralele 3 și 7, de același diametru și lungime variabilă (determinată de o serie de factori) se pot monta atât la suprafață, cât și în canal.

Magistralele se dimensionează în funcție de puterea frigorifică a schimbătorului de căldură subteran, alcătuit din sondele de înghețare.

$$\Phi_0 = \pi \cdot d \cdot H \cdot N \cdot q_F \text{ [W]} \quad (5.1)$$

unde: d - diametrul exterior al sondei de înghețare, m;

H - adâncimea de înghețare, m;

N - numărul de sonde de înghețare;

q_F - densitatea fluxului termic, raportat la suprafața exterioară a sondei. La temperatura saramurii de -20°C se poate considera $q_F = (260...290) \text{ W/m}^2$.

Debitul volumic \dot{V} de agent intermediar în rețeaua de înghețare, în funcție de care se aleg pompele se determină cu relația:

$$\dot{V} = \frac{\Phi_0}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} \quad (5.2)$$

în care: ρ este densitatea agentului intermediar kg/m^3 ;

c - căldura specifică a agentului intermediar, $\text{J/kg}\cdot\text{K}$;

Δt - creșterea temperaturii agentului (saramura) în sondele de înghețare, K;

La începutul perioadei de răcire, diferența de temperatură este $\Delta t = 5...6 \text{ K}$, ca apoi să scadă la $1...2 \text{ K}$.

În conductele magistrale se recomandă ca viteza saramurii să fie $w = 0,9...1,5 \text{ m/s}$.

În acest caz, diametrul conductelor de transport a saramurii este dat de relația:

$$D = \sqrt{\frac{4\dot{V}}{\pi w}}, \text{ [m]} \quad (5.3)$$

În funcție de valoarea determinată pentru D se aleg conducte metalice de diametru nominal cuprins între $75...200 \text{ mm}$. Dacă rezultă $D > 200 \text{ mm}$ se vor alege două conducte cu diametrul mai mic de 200 mm .

Conductele magistrale se realizează prin îmbinări cu flanșe sau sudate, iar la lungimi mai mari de 100...150 m se vor prevedea coturi compensatoare. Pentru reducerea pierderilor de frig, magistralele vor fi izolate termic.

Distribuitorul de saramură răcită și colectorul de saramură de la sonde sunt construcții metalice identice.

În figura 5.7. se prezintă modul de racordare a sondelor de înghețare 5 la distribuitorul 1 și colectorul 2. Vanele 3 asigură închiderea, deci oprirea circulației și reglajul debitului. Prin aceste vane se poate izola o anumită sondă care nu funcționează normal sau la care se observă o anumită defecțiune.

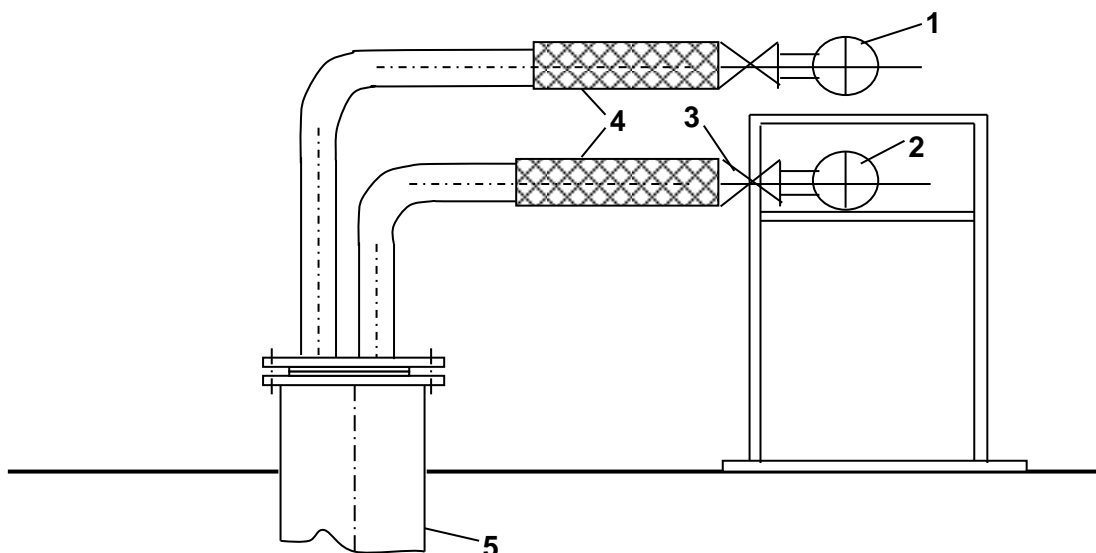


Figura 4.7 Fig. 5.7. Racordarea sondelor de înghețare la distribuitor și colector; 1 - distribuitor; 2 - colector; 3 - vane; 4 - racord elastic; 5 - sonda de înghețare.

Poziția distribuitorului și colectorului față de rândul sondelor de înghețare poate fi laterală, de o singură parte, sau laterală, de ambele părți ale sondelor. Amplasamentul trebuie astfel făcut încât să fie posibilă vizitarea, supravegherea și eventual înlocuirea sondelor de înghețare.

Racordarea sondelor la distribuitor și colector se face prin câte un racord elastic. (fig. 5.7.). Dimensionarea distribuitorilor și a colectoarelor se face din condiția ca viteza saramurii să nu depășească 0,9...1,5 m/s.

Coloanele de distribuție și colectare urmăresc în teren forma șirului de sonde de înghețare și pot avea același traseu sau trasee diferite. Configurația traseului poate fi în linie sau circulară. În oricare din situațiile prezentate, distanțele dintre ștuțurile de racord și sondele de înghețare sunt variabile, astfel încât racordurile rigide prin flanșe și sudură sunt greu de realizat. Cea mai practică soluție de racord, în acest caz, este furtunul de cauciuc (fig. 5.7).

În rețeaua de saramură poate pătrunde aer prin procesul de pompare, ceea ce conduce la intensificarea acțiunii corosive a saramurii. În scopul îndepărtării aerului nedorit, pe partea superioară a conductelor, în punctele cele mai ridicate ale acestora se montează robinete de evacuare periodică a aerului și eventual a altor gaze.

Pe conductele magistrale se vor monta aparate de măsură și control: debitmetre, termometre și manometre (fig. 5.6). În acest caz se poate aprecia funcționarea fiecărei sonde, după depunerile exterioare de gheață pe racordul metalic sau de cauciuc, lăsate neizolate termic, tocmai în acest scop. În scopul urmăririi regimului de lucru, sub aspect

hidraulic și termic, în mod individual se pot monta aparate de măsură și control pe fiecare sondă de înghețare, dar această soluție este mai costisitoare.

Sonda de înghețare realizează transferul de căldură de la terenul ce urmează a fi înghețat spre agentul frigorific (la răcirea directă) sau agentul intermediar (la răcirea indirectă).

În figura 5.1. s-a prezentat schema de principiu a unei sonde de înghețare cu saramură, activă pe toată lungimea. Conducta exterioară, sau burlanul de înghețare 3 este o conductă din oțel, etanșă și rezistentă la eforturile mecanice care apar datorită presiunii solului și variației de temperatură, între momentul fixării ei în sol și cel al funcționării la o temperatură sub 0°C.

În procesul de înghețare, coloana de burlane, care poate atinge lungimi de sute de metri se contractă, însă nu liber, deoarece ea este strânsă în masivul de roci. La o variație de temperatură între momentul inițial (fără saramură) și momentul pornirii circulației de saramură, de 40°C, conducta din oțel de 500 m adâncime ar trebui să se contracte cu:

$$\Delta H = H \cdot \alpha \cdot \Delta t = 500 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 0,220 \text{ m} = 22 \text{ cm}$$

Datorită fixării coloanei în gaura forată, efortul unitar de întindere ce apare în urma scăderii temperaturii este:

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t = 22 \cdot 10^{10} \cdot 11 \cdot 10^{-10} \cdot 40 = 968 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 9680 \text{ N/cm}^2$$

La acest efort de întindere apărut datorită contracției coloanei se mai adaugă efortul de același semn provocat de dilatarea masivului de rocă acviferă înghețată. În scopul compensării eforturilor de întindere s-a propus îmbinarea coloanei cu nipluri elastice. O asemenea soluție este mai scumpă și în plus, micșorează secțiunea liberă de curgere ceea ce conduce la încălzirea excedentară a saramurii.

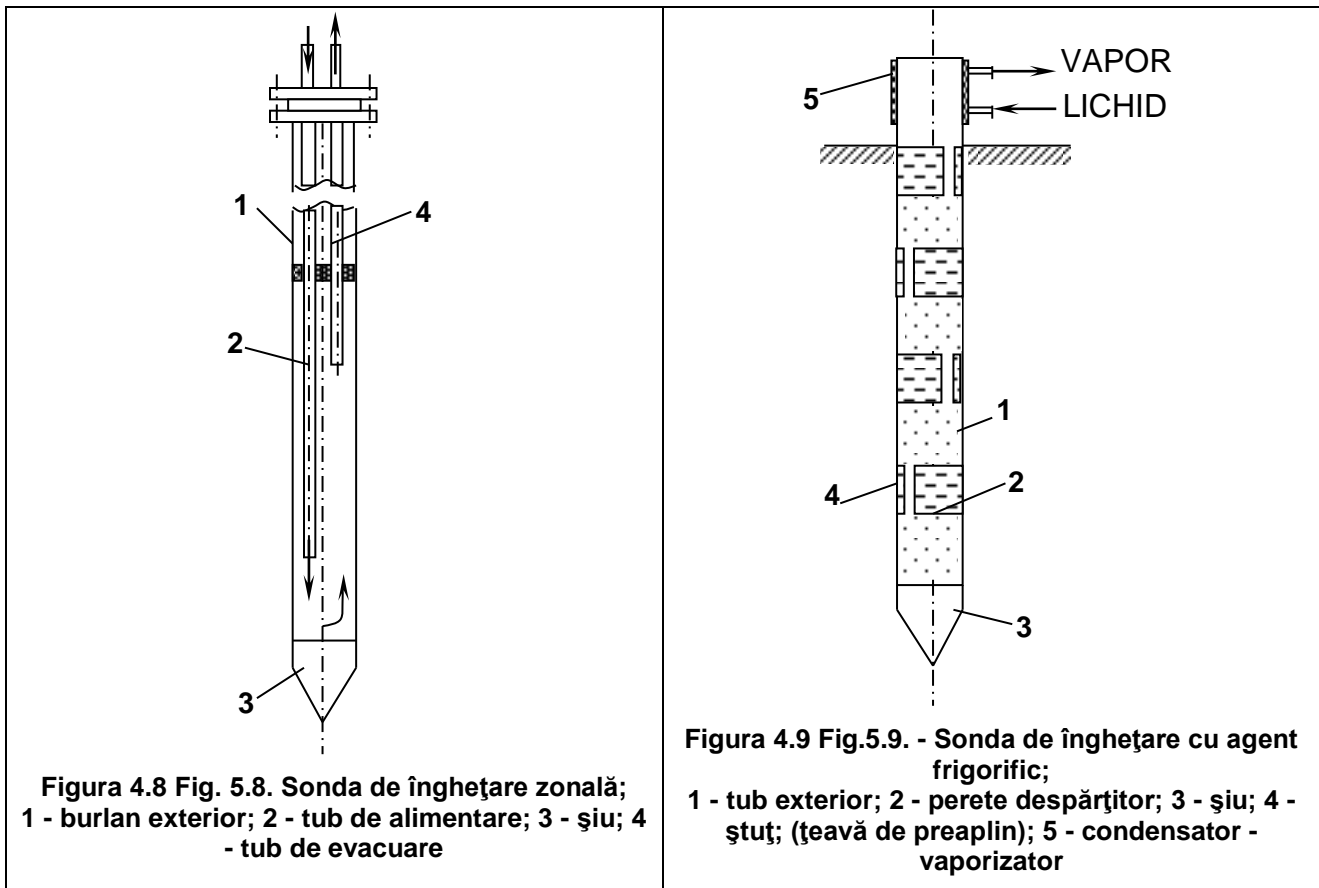
La lucrări subterane de mare adâncime, ca puțurile de mină, depozite subterane se folosesc burlane de 139,7 x 7 mm pentru a fi posibilă determinarea abaterii de la poziție verticală.

La tunelurile de metrou și în general la lucrările la care adâncimea de înghețare nu depășește 50 - 60 m, diametrul cel mai frecvent utilizat este 114,3 x 7 mm.

Țeava interioară 2 (fig. 5.1.), numită și tub de alimentare, de regulă țeava ușoară de instalații de 50 mm diametrul, se introduce în burlanul exterior 3 fără însă a atinge șeful de bază 1 al sondei. Se asigură în acest mod un volum minimal de depuneri solide care circulă cu saramura în mod incidental. În scopul economisirii de metal, tubul de alimentare poate fi din material plastic, ceea ce prezintă marele avantaj al lipsei coroziunii și al refolosirii materialului respectiv.

Șiul de fund are rolul de a asigura închiderea burlanului exterior în partea sa inferioară. Cel mai adesea are formă conică pentru a asigura introducerea cu ușurință a coloanei metalice în gaura de sondă. Această componentă a sondei de înghețare se execută fie prin turnare sau se confecționează cu ajutorul sudurii.

Corespunzător profilului geologic al terenului în care se lucrează, se întâlnesc și cazuri când nu este nevoie să se înghețe terenul pe toată înălțimea sondelor, ci numai la partea lor inferioară. În acest caz se folosesc sonde de înghețare zonală (fig. 5.8) cu ajutorul cărora se asigură congelarea doar a zonei inferioare, ceea ce prezintă avantaje economice deosebite: nu se consumă energie pentru a îngheța în mod inutil formațiuni geologice consistente și uscate și nu se reduce ritmul lucrărilor de săpare printr-o eventuală mărire a rezistenței rocilor.



În cazul răcirii directe, sondele de înghețare cu agent frigorific sunt de construcție specială (fig. 5.9). Particularitatea acestor sonde este prezența pereților despărțitori 2 dispuși unul sub celălalt la circa 3 m, fiecare perete fiind prevăzut cu un ștuț de preaplin. O asemenea construcție are rolul de a fracționa coloane de lichid, ceea ce asigură o răcire mai uniformă pe lungimea sondei.

Fiecare sondă este prevăzută la partea superioară cu câte o cămașă de răcire. Sondele se umplu cu amoniac lichid într-o asemenea cantitate încât, fiecare secție să fie înecată cu lichid, respectiv până la partea superioară a ștuțurilor 4. Ca urmare a fluxurilor de căldură de la sol se produce fierberea amoniacului în toate secțiile sondei. Vaporii formați se ridică prin ștuțurile 4 și ajungând la partea superioară a sondei, se condensează cedând căldură agentului (amoniac) din cămășile de răcire.

Ca urmare, cămășile de răcire de la partea superioară a sondelor constituie vaporizatorul instalației frigorifice. Amoniacul care se condensează la partea superioară a sondei curge înapoi (de sus în jos) prin ștuțurile 4. Folosirea pereților despărțitori și a ștuțurilor micșorează influența presiunii hidrostatice a lichidului asupra temperaturii de vaporizare a amoniacului. Asemenea sonde de înghețare se folosesc pentru lucrări de mică adâncime.

Amplasarea sondelor se face în funcție de o serie de factori: formă, poziția și dimensiunile lucrării care se realizează, structura terenului, temperatura și viteza agentului etc.

În cazul puțurilor de mină de secțiune circulară, sondele se amplasează pe un cerc concentric de diametru D mai mare decât diametrul de săpare D_s cu grosimea δ a peretelui înghețat:

$$D = D_s + \delta \quad (5.4)$$

Trebuie să se țină seama și de deviația sondelor de la poziția verticală, încât, pentru adâncimi mari se utilizează relația:

$$D = D_s + 1,2\delta + a \quad (5.5)$$

unde $a = 0,03 H$ este abaterea medie statistică de la verticală a sondelor.

Distanța dintre sonde se ia de obicei de 1,0...1,4 m în terenuri rezistente și de 0,8...0,9 m în terenuri slabe.

Pentru adâncimi de peste 500 m se recomandă să se dispună sondele pe două cercuri concentrice pentru a se forma un perete de grosime mai mare și deci mai rezistent.

La înghețarea terenului în jurul puțurilor de secțiune dreptunghiulară, sondele se pot dispune pe dreptunghi sau elipsă. În aceste situații, centura de teren înghețat poate fi solicitată la întindere, ceea ce este de nedorit, deoarece limita de rezistență la întindere a terenurilor înghețate este de circa 3 ori mai mică decât limita rezistenței la compresiune. Din acest motiv, chiar și la puțurile de mină de secțiune dreptunghiulară, sondele se dispun pe unul sau două cercuri (fig. 5.10).

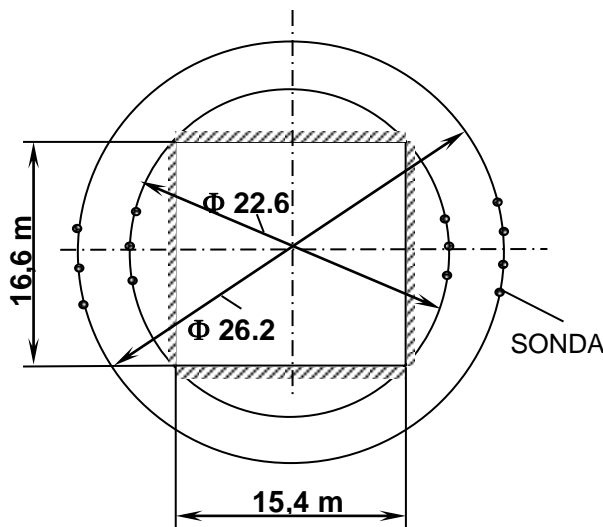


Figura 4.11 Fig. 5.10. Dispunerea sondelor în jurul puțurilor de mină de secțiune

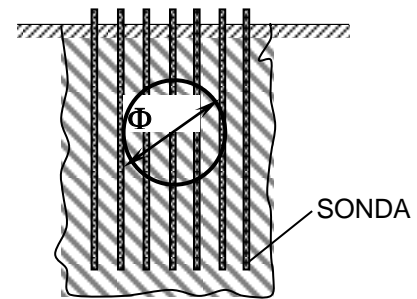


Figura 4.11 Fig. 5.11. Amplasarea sondelor verticale pentru realizarea galeriei înclinate

Pentru realizarea galeriilor înclinate, înghețarea terenului se realizează cu sonde verticale (fig. 5.11), sau combinat, atât cu sonde verticale, cât și cu sonde înclinate (fig. 5.12).

Distanța dintre sondele verticale (fig. 5.11) se ia de 2...3 m, iar distanța dintre rânduri este de 1,5...2,5 m.

Se poate folosi câte un rând de sonde înclinate montate deasupra galeriei (fig. 2.12, a) sau sonde înclinate sub galerie și sonde verticale scurte deasupra galeriei (fig. 5.12, b).

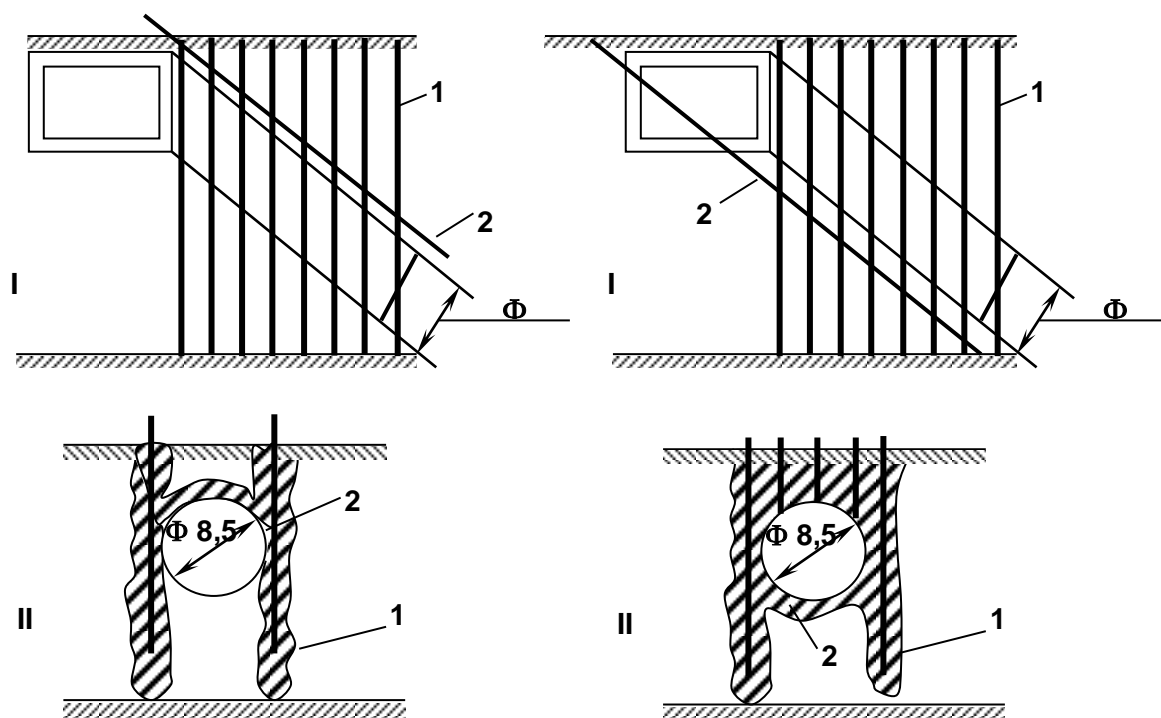


Figura 4.12 Fig. 5.12. Realizarea galeriilor înclinate cu sonde verticale (1) și sonde oblice (2):
I - secțiunea longitudinală; II - secțiunea transversală; a) sonde înclinate, deasupra galeriei; b) sonde înclinate, sub galerie.

4.1.3 5.1.3. UTILIZAREA METODEI DE ÎNGHEȚARE A SOLULUI ÎN ȚARA NOASTRĂ a) Puturi de mină

Aplicarea metodei de înghețare a solului pentru lucrări de minerit a avut loc la noi în țară începând cu anul 1960 la puțul Godeni din bazinul carbonifer Câmpulung - Muscel. Proiectul a fost elaborat în anul 1959 la IPROMIN București, iar lucrarea a fost executată cu Trustul Minier Argeș, având în subantrepriză de specialitate Întreprinderea Frigotehnica București și Trustul de prospecțiuni, explorări și deschideri de mine noi, București.

Adâncimea de săpare a puțului Godeni a trebuit să fie de 202 m. Sondele de înghețare, constituite din două țevi concentrice (fig. 5.1) cu diametrele exterioare de 146 mm și respectiv 57 mm, în număr de 27 au fost amplasate pe un cerc cu diametrul de 10 m, la distanța de 1,17 m una de alta.

Instalația frigorifică a fost dimensionată cu mare precauție pentru a avea o siguranță mărită în funcționarea ei. Toate părțile componente ale instalației frigorifice au fost proiectate și executate în țară.

La proiectarea instalației s-a avut în vedere funcționarea de scurtă durată și variația puterii frigorifice în timp. S-a utilizat răcirea indirectă cu soluție de clorură de calciu, iar ca agent frigorific a fost folosit amoniacul. Pentru a avea elasticitatea necesară în funcționare la diferite puteri frigorifice au fost folosite grupuri de utilaje frigorifice și anume:

- 6 compresoare 4 AU - 20 (200.000 kcal N/h = 233 kW, fiecare);
- 3 baterii de condensatoare atmosferice a câte 300 m² (900 m²);
- bazine pentru răcirea saramurii, fiecare cu câte 2 vaporizatoare superintensive de 50 m² (600 m²);
- 2 grupuri a câte 5 pompe pentru recircularea saramurii.

Puterea frigorifică a instalației montate a fost de 1,2·10⁶ kcal N/h = 1395 kW și s-a caracterizat prin următoarele date tehnice la exploatare:

- suprafața de schimb de căldură a sondelor2500 m²;
- puterea instalației750 kW;
- debitul saramurii în:
 - în perioada activă350 m³/h;
 - în perioada pasivă70 m³/h;
- viteza de circulație a saramurii în sondă:
 - tur:1,8 m/s; 0,36 m/s;
 - retur:0,29 m/s; 0,06 m/s
- volumul rocilor înghețatecirca 10.000 m³
- consumul specific de frig mediu50.000 m³
- durata înghețării (perioada activă) 130 zile

În timpul răcirii și deci a înghețării solului, puterea frigorifică scade în mod continuu, încât, treptat s-a scos din funcțiune câte un compresor, în perioada pasivă (de săpare a puțului) s-a menținut în lucru doar un singur compresor și grupul de utilaje aferent.

După terminarea lucrărilor de la puțul Godeni, în anii următori, aceeași instalație s-a montat la puțul Poenari, din același bazin carbonifer, unde sondele au fost amplasate pe un cerc cu diametrul de 11 m, la distanța de 1,28 m una de alta.

Un alt puț realizat prin această tehnologie de înghețare a solului a fost puțul Jugur de la același bazin carbonifer. Centrala frigorifică a cuprins 15 compresoare 3 AV - 20 (150.000 kcal N/h fiecare=175kW), repartizate în 5 linii tehnologice independente, cu întreg utilajul aferent. Fiecare linie este compusă din:

- o butelie de răcire intermediară BRI - 700;
- un condensator cu evaporare forțată CEF - 180;
- un bazin cu patru grupuri vaporizatoare intensive de câte 16,5 m² (în total 66 m²).

Sondele de înghețare, în număr de 27 bucăți au fost prevăzute să se amplaseze pe un cerc cu diametrul de 10,4 m, la distanță de 1,21 m. Sondele sunt de tipul celei indicată în figura 5.8 deci cu răcire zonală, având următoarele caracteristici: diametrul exterior al burlanului este de 146 mm iar tuburile interioare au 57 mm (la exterior), tubul de alimentare are lungimea de 430 m, iar cel de evacuare este de 220 m. Ca urmare, sondele de înghețare trebuie să producă înghețarea solului numai pe adâncimea de la 220 m la 430 m. Prin proiect s-au prevăzut următoarele date: temperatura saramurii, - 35 °C, viteza saramurii în conducte de tur 1,8 m/s, viteza în conducte de retur (pe adâncimea de răcit) 0,6 m/s, durata înghețării (perioada activă) a fost de 75 zile.

Au fost prevăzute temperaturi scăzute și viteze mari de congelare deoarece cilindrul înghețat trebuie să preia presiuni de până la 56 bar.

b)Tunelurile pentru metroul din București

Începând cu anul 1976, pentru realizarea metroului din București s-a procedat la aplicarea metodei de înghețare a solului într-o zonă considerată "experimentală", dar cu realizări efective de galerii.

Prin proiect s-a prevăzut consolidarea prin înghețare artificială a profilului de săpare a tunelurilor de metrou pe o lungime de circa 550 m pe ambele fire. Amplasamentul sondelor s-a făcut în două variante (pentru experimentare): pentru un fir de tunel, ambele rânduri de sonde s-au fixat în profilul circular de săpare, iar pentru cel de al doilea fir de tunel, sondele au fost forate în afara profilului de înaintare (fig. 5.13). Au fost folosite sonde cu saramură cu posibilitatea de înghețare pe toată înălțimea de 16 m, cât și sonde cu înghețare zonală între adâncimile de 7 m și 16 m. Distanța dintre sonde a fost fixată la 1,4 m.

Pentru a se împiedica accesul apelor în frontul de săpare, datorate unor eventuale zone neînghețate, traseul de tunel înghețat a fost împărțit în incinte închise prin timpane transversale. La distanțe de 30...50 m în lungul traseului au fost montate sonde de înghețare, așezate în plan normal pe axul tunelului prin care să se închidă accesul apelor spre frontul de săpare.

Echipamentul frigorific principal cuprinde:

- 8 compresoare frigorifice 3 AV - 20, funcționând într-o treaptă, pentru care corespunde puterea frigorifică de $1,2 \cdot 10^6 \text{ kcal N/h} = 1395 \text{ kW}$.
- 4 condensatoare de evaporare forțată CEF - 250;
- 3 bazine de răcire a saramurii echipate cu câte 4 grupuri de vaporizatoare superintensive de câte 51 m^2 (total 612 m^2);
- 3 grupuri de câte 2 pompe a $220 \text{ m}^3/\text{h}$ pentru circulația saramurii pe traseele de distribuție și prin sonde.

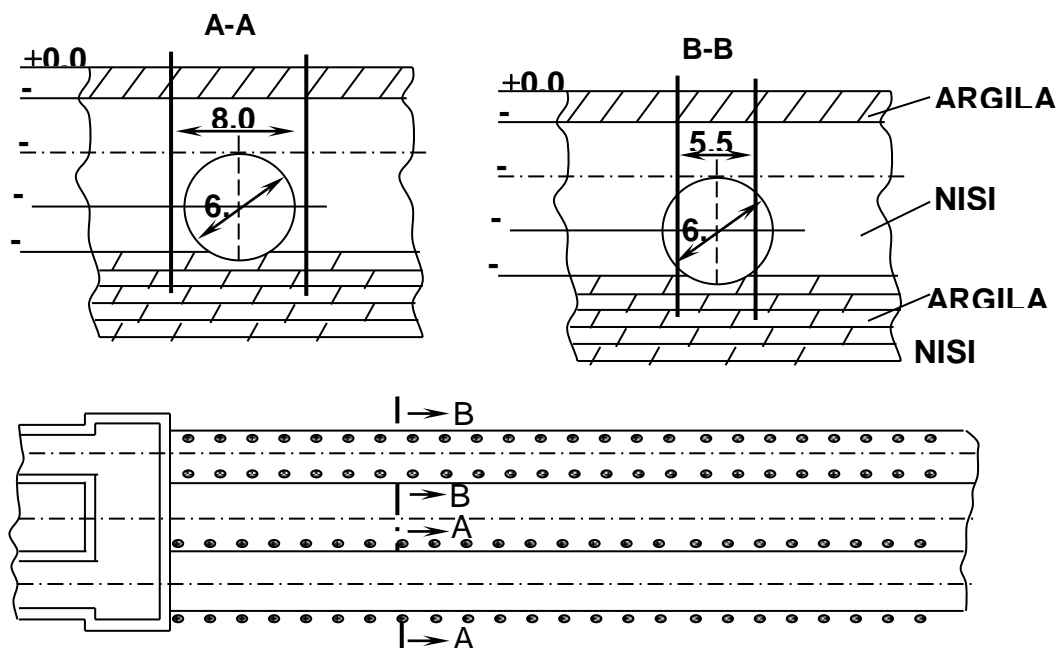


Figura 4.13 Fig.5.13. Amplasamentul sondelor de înghețare

Centrala frigorifică este stabilă, adăpostită într-o baracă metalică demontabilă, existând posibilitatea de reamplasare rapidă a instalației într-un alt loc. Agentul frigorific utilizat este amoniacul, iar agentul intermediar este clorura de calciu.

În perioada principală de înghețare temperatura de vaporizare este $t_0 = -22 \text{ }^\circ\text{C}$, asigurând răcirea saramurii la $-17 \text{ }^\circ\text{C}$, iar pe retur, saramura a avut temperatura cu $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ mai ridicată.

La o asemenea lucrare, realizată în oraș, se impune protejarea contra înghețului a straturilor de deasupra galeriilor, în care sunt amplasate instalațiile de apă - canal, ceea ce presupune folosirea sondelor cu înghețare zonală, care să nu fie active la partea superioară.

c) Puturi pentru prospectarea balastierelor

Procedee și instalația frigorifică au avut caracter de noutate și s-a aplicat, începând cu anul 1966, la mai multe obiective, în general pe văile râurilor unde s-au construit hidrocentrale.

Echipamentul frigorific principal cuprinde: un agregat frigorific pentru amoniac de 20.000 kcal N/h = 233 kW, rezervor de amoniac, separator de lichid și anexe - toate fiind montate pe o remorcă.

S-au folosit sonde de înghețare cu agent frigorific, în număr de 8 bucăți, cu diametrul exterior de 133 mm, montate pe un cerc cu diametrul de 2 m, la distanța de 0,76 m, lungimea lor fiind de 7,5 m. Legarea sondelor la distribuitor și colector s-a făcut cu racorduri flexibile.

Sondele au o construcție specială, fiind prevăzute cu 4 pereți transversali cu ștuțuri de preaplin, formându-se astfel 5 compartimente. Agentul lichid se introduce în compartimentul cel mai de sus și se scurge prin ștuțuri până la baza sondei. Conducta de aspirație străbate toate compartimentele, vaporii fiind aspirați din compartimentul cel mai de jos. Circulația vaporilor formați se face, ca și a lichidului, de sus în jos, obținându-se astfel o răcire uniformă și eficientă pe toată înălțimea sondei.

Durata înghețării, respectiv a formării centurii de teren înghețat la adăpostul căreia să se poată efectua săparea și preluarea de probe de sol este de 10 zile.

4.1.4 5.1.4. CÂMPUL DE TEMPERATURĂ ÎN SOLUL ÎNGHEȚAT.

Când prin sonda de înghețare circulă saramură a cărei temperatura este sub 0 °C, practic - 20 °C...-25 °C, în jurul sondei se formează un câmp termic, care în cazul unei singure sonde, poate fi reprezentat prin suprafețe cilindrice coaxiale, de temperatură constantă (izoterme).

După distanța radială se deosebesc în sol, din punct de vedere termic, trei zone: zona cilindrică din imediata vecinătate a sondei care este în zona înghețată, zona răcită, cuprinsă între suprafața cilindrică izotermă de 0 °C și izoterma de temperatură naturală și a treia zonă, cea de temperatura naturală (fig. 5.14).

În zona înghețată temperatura masivului variază de la temperatura peretelui metalic al sondei până la 0 °C. În zona răcită temperatura masivului crește de la 0 °C până la temperatura naturală a masivului.

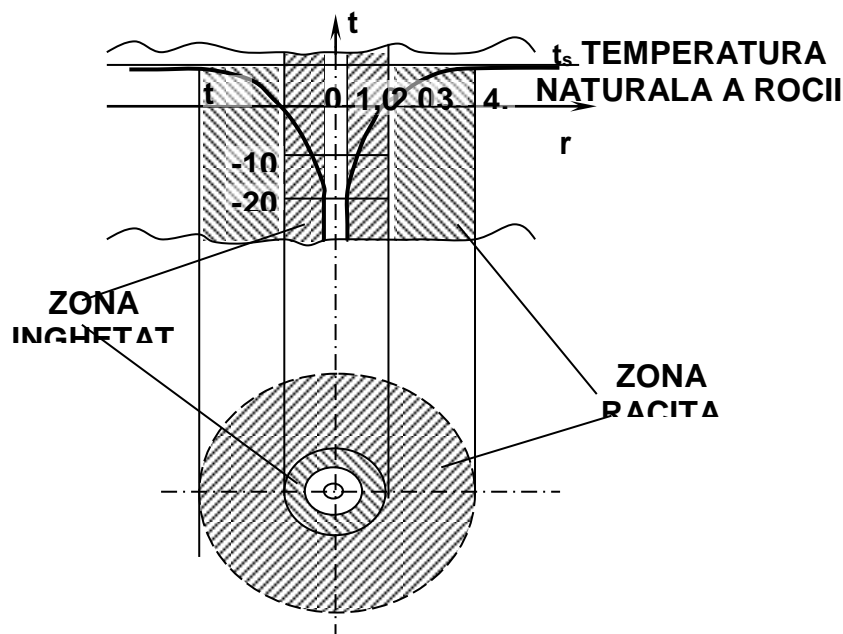


Figura 4.14 Fig. 5.14. Câmpul de temperatură în jurul unei sonde de înghețare.

Este important să se cunoască câmpul termic în terenul supus înghețării deoarece acesta oferă date privind zona de răspândire a consolidării rocilor prin solidificarea apei, cât și a

rezistenței mecanice a rocii înghețate. Se cunoaște faptul că rezistența mecanică depinde direct de temperatură.

Studiul variației temperaturii în zona de influență a unei sonde și a tuturor sondelor simultan oferă posibilitatea calculării dimensiunilor la proiectarea construcției peretelui protector cât și controlul procesului în timpul desfășurării lucrărilor.

Pentru a se stabili relația de variație a temperaturii în zona înghețată în funcție de raza r se consideră ecuația diferențială:

$$q = 2\pi \cdot \lambda \cdot r \cdot \frac{dt}{dr} \quad (5.6)$$

în care: q este fluxul unitar de căldură corespunzător lungimii de 1 m din sonda de înghețare, W/m

λ - conductivitatea termică a terenului, W/m

Integrarea directă a ecuației analitice se poate face în ipoteze simplificatoare, considerând $\lambda = \text{const.}$ și $q = \text{const.}$, ceea ce este justificat la valori mari ale timpului de răcire.

Se separa variabilele:

$$dt = \frac{q}{2\pi\lambda} \cdot \frac{dr}{r} \quad (5.7)$$

Se consideră cunoscute temperaturile t_1 la suprafața sondei de raza r_1 și $t_2 = 0$ °C la raza r_2 corespunzătoare suprafeței exterioare a cilindrii înghețat. Se integrează ecuația (6-7) și cunoscând limitele de integrare se va determina constanta de integrare:

$$t = \frac{q}{2\pi\lambda} \ln r + C \quad (5.8)$$

pentru $r = r_1$, $t = t_1$, deci:

$$C = t_1 - \frac{q}{2\pi\lambda} \ln r_1 \quad (5.9)$$

$$t = t_1 + \frac{q}{2\pi\lambda} \ln \frac{r}{r_1} \quad (5.10)$$

Se pune condiția ca pentru $r = r_2$, $t = t_2$

$$t_2 = t_1 + \frac{q}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (5.11)$$

Se elimina q între relațiile (5.10) și (5.11) și se obține:

$$t = t_1 + (t_2 - t_1) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (5.12)$$

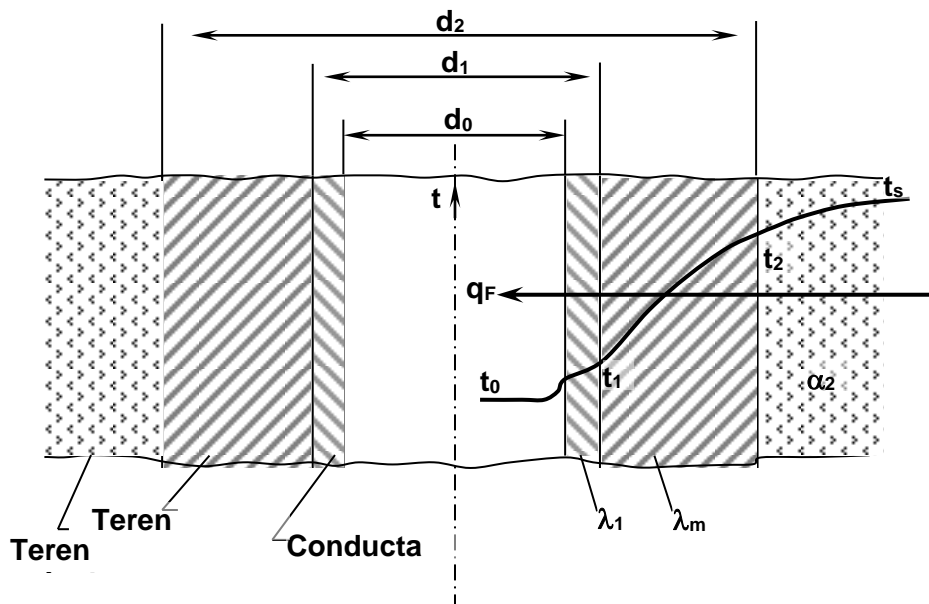


Figura 4.15 Fig. 5.15. Schema schimbătorului de căldură subteran

Pentru $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, relația (5-12) devine:

$$t = t_1 \frac{\ln(r_2 / r)}{\ln(r_2 / r_1)} \quad (5.13)$$

În figura 5.15 se prezintă o secțiune axială printr-o sondă de înghețare și variația temperaturii în limitele t_0 - temperatura agentului de răcire și t_s - temperatura naturală a solului.

Cantitatea de căldură transferată de la masivul neînghețat spre agentul de răcire, prin unitatea de lungimea de conductă și unitatea de timp se calculează cu expresia:

$$q = \frac{\pi(t_s - t_0)}{\frac{1}{\alpha_o d_o} + \frac{1}{2\lambda_m} \cdot \ln \frac{d_1}{d_o} + \frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}, \quad (5.14)$$

În calculele ingineresti, cel mai frecvent se determină, nu fluxul termic pe unitatea de lungime a conductei, ci fluxul termic q_F raportat la unitatea de suprafață a conductei metalice, la 1 m^2 de suprafața exterioară sau interioară. Mărimea q_F se calculează astfel:

$$q_F = \frac{q}{\pi d_o} = \frac{t_s - t_0}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{d_o}{2\lambda_m} \cdot \ln \frac{d_1}{d_o} + \frac{d_o}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_o}{\alpha_2 d_2}} \quad (5.15)$$

Fluxul termic q_F prin unitatea de suprafață a sondei de înghețare, calculat pentru adâncimea de 100 m, în regim laminar de curgere a agentului de răcire prin spațiul inelar al sondei, cu viteza $w = 0,1 \text{ m/s}$, la diametre ale cilindrului de rocă înghețată de la 0,2 la 3 m, pentru $t_0 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$, $d_o = 0,1 \text{ m}$, $\lambda_1 = 2,33 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, variază de la 720 la 230 W/m^2 , așa cum se poate observa din figura 5.16 și tabelul 5.1.

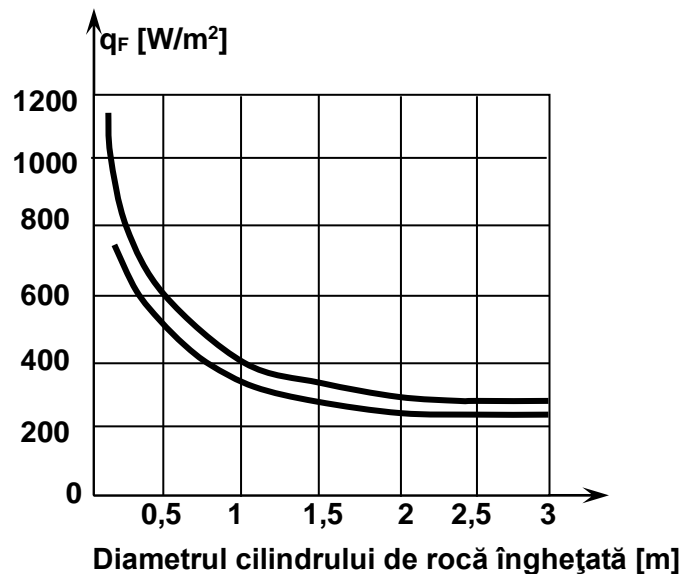


Figura 4.16 Fig. 5.16 Variația fluxului termic q_F prin unitatea de suprafață a sondei de înghețare:
1 - regim turbulent; 2 regim laminar

Tabelul 5.1. Variația fluxului termic q_F [W/m²]

	Diametrul cilindrului de rocă înghețată, în m						
	0,2	0,4	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
q_F , regim laminar	1160		550		387	330	302
q_F , regim laminar	720	465	423	350	321	283	258

Se observă ca densitatea fluxului de căldură q_F scade foarte mult: de la 800...900 W/m² la începutul operației de consolidare prin frig a rocilor până la 230...250 W/m², când cilindrul de rocă înghețată atinge diametrul de 2...3 m. Ca urmare a acestei situații, și puterea frigorifică a instalației va scădea în decursul a 60...80 zile tot cu raportul de 800:230 = 3,5.

Instalația frigorifică va fi constituită din grupuri de utilaje (module) ce vor fi scoase treptat din funcțiune, pe măsură ce se reduce densitatea fluxului de căldură q_F ca urmare a creșterii grosimii stratului de teren înghețat. În practică, pentru calcule se va considera $q_F = (260...290)$ W/m².

O mărime importantă pentru proiectarea instalației și aprecierea procesului de consolidare a rocilor este timpul de înghețare. Pentru calculul duratei de înghețare se pot folosi relațiile prezentate în capitolul 3, la formarea gheții pe suprafețe cilindrice exterioare. La aprecierea valorii pentru l_s - căldura latentă de solidificare se avea în vedere conținutul de apă din terenul supus înghețării.

Dacă între relațiile pentru dependențele $\tau(r)$ și $q_F(r)$ se elimină r se obține dependența $q_F(\tau)$. Eliminarea nu se poate face direct ci, fie cu ajutorul calculatorului, fie printr-o construcție grafică prezentată în figura 5.17.

Studiul variației temperaturii în solul înghețat cât și variația în timp a densității fluxului de căldură se poate face cu ajutorul calculatorului electronic.

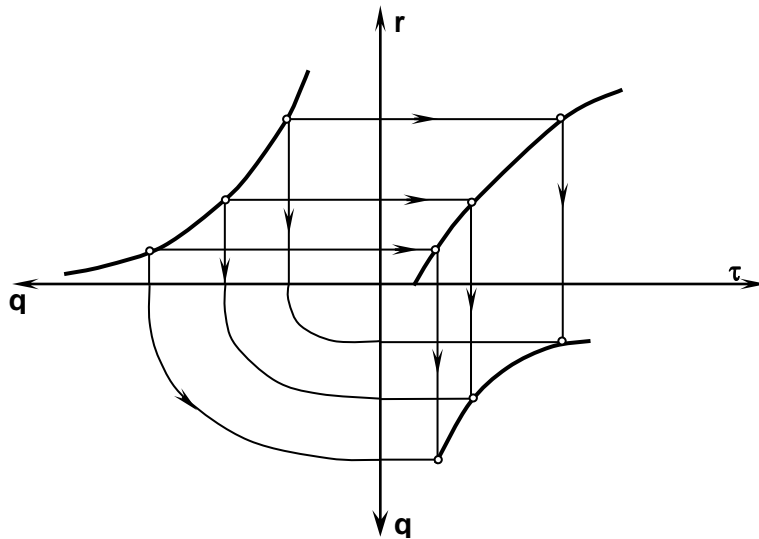


Figura 4.17 Fig. 5.17 Stabilirea dependentei $q_F(\tau)$ pe baza dependentelor $q_F(r)$ și $\tau(r)$

4.1.5 5.1.5. ELEMENTE DE PROIECTARE A INSTALAȚIEI FRIGORIFICE PENTRU ÎNGHEȚAREA SOLULUI.

Pentru proiectarea instalației frigorifice trebuie să se stabilească la început, elementele de baza și anume:

- puterea frigorifică maximă care apare la începutul perioadei de răcire când pătrunderile de căldură spre agentul de răcire din sondele de înghețare au valori mai mari; temperatura de vaporizare a agentului frigorific, plecând de la temperatura minimă sau medie din solul înghețat și având în vedere modul de răcire, directă sau indirectă.

Se calculează cantitatea totală de căldură ce trebuie extrasă din terenul supus răcirii și înghețării. Se cunoaște structura terenului înghețat, deci se cunosc înălțimile h_1, h_2, \dots, h_n ale diferitelor straturi componente, cât și proprietățile termofizice ale acestora.

Grosimea centurii de teren înghețat se stabilește în urma calculelor de rezistența materialelor, încât se pot calcula volumele ocupate de straturile componente: V_1, V_2, \dots, V_n .

Cantitatea de căldură ce trebuie extrasă din zona înghețată cuprinde două componente și anume:

- cantitatea de căldură Q_a corespunzătoare răcirii și înghețării apei;
- cantitatea de căldură Q_t necesară răcirii părții solide a terenului:

$$Q_a = \sum_{k=1}^n V_k \cdot \varepsilon_k \cdot \rho_a \cdot (c_a \cdot t_{ik} + l_s - c_g \cdot t_f) \quad (5.16)$$

unde:

ε_k - reprezintă conținutul în apă din stratul respectiv [m^3/m^3];

ρ_a - densitatea apei [kg/m^3];

c_a, c_g - căldura specifică a apei, respectiv, a gheții, $J/kg \cdot K$;

t_{ik} - temperatura inițială a stratului respectiv (de ordinul k);

t_f - temperatura medie finală a masivului înghețat;

l_s - căldura latentă de solidificare a apei.

$$Q_t = \sum_{k=1}^n V_k (1 - \varepsilon_k) \rho_k \cdot c_k (t_{ik} - t_f) \quad (5.17)$$

ρ_k - densitatea părții de teren solid (uscat) din stratul k;

c_k - căldura specifică a terenului uscat din stratul k.

Cantitatea de căldură extrasă din terenul răcit reprezintă circa 10...18% din cantitatea de căldură extrasă din zona de teren înghețat.

Deci cantitatea totală de căldură Q ce va trebui preluată de către instalația frigorifică se poate aprecia astfel:

$$Q = (1,10 \dots 1,18) (Q_a + Q_t) \quad (5.18)$$

Cu relația (5.1) se calculează puterea frigorifică a instalației, adoptând o valoare medie pentru densitatea fluxului de căldură q_f .

Se poate aprecia timpul de funcționare a instalației frigorifice:

$$\tau = \frac{Q}{\phi_o} \quad (5.19)$$

La anumite grosimi ale cochiliei de teren înghețat în jurul sondei, densitatea fluxului termic scade sub valoarea medie adoptată în calcule și ca urmare, începând de la acest moment, se va putea reduce treptat puterea frigorifică a instalației, prin scoaterea din funcțiune a unor grupuri.

La proiectare se pot avea în vedere unele recomandări practice pentru stabilirea necesarului de frig: pentru înghețarea unui m^3 la -10 °C este necesar un consum specific de frig de 66.000 kJ la 10 % umiditate, de 155.000 kJ la 35 % umiditate și de 210.000 kJ la 50 % umiditate.

4.2 5.2. RĂCIREA BETONULUI LA CONSTRUCȚIILE MASIVE

4.2.1 5.2.1. INSTALAȚII DE PRERĂCIRE A COMPONENTELOR BETONULUI

Formarea betonului din elementele sale componente (nisip, pietriș, ciment și apă) este însoțită de fenomene fizico - chimice în care se degajă căldură și ca urmare temperatura acestuia crește. În cazul unor masive din beton (baraje), dacă viteza de turnare (în sezonul cald când se efectuează construcția) este mai mare și nu se asigură evacuarea căldurii, corpul rezultă la o temperatură medie mai mare decât temperatura medie anuală. Răcirea naturală conduce la contracția masivului și ca urmare la apariția, sub acțiunea tensiunilor interne, a unor fisuri.

Pentru ca variațiile de temperatură între centrul barajului și straturile exterioare să fie cât mai mici se impune ca masivul respectiv să fie turnat la temperatura medie anuală a zonei respective. În acest scop se pot folosi două metode: prin prerăcirea componentelor betonului și prin răcirea masei barajului.

În vederea reducerii căldurii degajată în reacția dintre ciment și apă au fost realizate sortimente de ciment caracterizate prin călduri masice reduse ce se degajă în procesul de priză.

Prin prerăcirea componentelor betonului se urmărește ca betonul să aibă temperatura medie a locului de amplasament și prin aceasta, evitarea apariției unor diferențe mari de temperatură, ce pun în pericol construcția.

În funcție de valoarea diferenței de temperatură care trebuie realizată se poate adopta o anumită schemă de răcire: pentru fiecare component în parte sau numai pentru unele din aceste părți componente.

Se pot folosi instalații frigorifice cu comprimare mecanică de vapori pentru răcirea apei, a aerului sau formarea gheții mărunte, utilizate la prerăcirea componentelor betonului. Folosirea gheții fulgi sau solzi este limitată, atât din cauza conținutului de apă, impus, cât și ca urmare a pericolului ca gheața să nu se topească în procesul de malaxare, ci la turnare sau în procesul de priză, ceea ce duce la formarea de goluri în beton.

De asemenea se pot folosi instalațiile frigorifice cu ejecție.

În vederea stabilirii necesarului de frig pentru prerăcirea componentelor betonului, se calculează mai întâi cantitatea de căldură Q_{o1} ce trebuie evacuată dintr-un m^3 de beton, avându-se în vedere proporțiile în care participă cimentul, nisipul, pietrișul și apa. Fiecare component are o temperatură inițială și urmează a fi răcit până la o temperatură finală t_f , aceeași pentru toți componenții.

$$Q_{o1} = m_c \cdot c_c (t_c - t_f) + m_n \cdot c_n (t_n - t_f) + m_p \cdot c_p (t_p - t_f) + m_a c_a (t_a - t_f) + m_{ap} \cdot c_a (t_p - t_f) + m_{an} \cdot c_a (t_n - t_f) \text{ J/m}^3 \quad (5.20)$$

unde:

m_c, m_n, m_p, m_a - masele de ciment, nisip, pietriș și apă conținute într-un m^3 de beton, $[\text{kg/m}^3]$;

c_c, c_n, c_p, c_w - căldurile specifice masice ale cimentului, nisipului, pietrișului și nisipul dintr-un m^3 de beton, $[\text{kg/m}^3]$;

Puterea frigorifică se determină cu relația:

$$\Phi_o = Q_{o1} \cdot \dot{V}_b \cdot 10^{-3} \text{ [kW]} \quad (5.21)$$

în care \dot{V}_b reprezintă fluxul de betonare, în m^3/s .

Se prezintă în continuare cele mai folosite metode de prerăcire a componentelor betonului.

4.2.1.1 a) Instalație de prerăcire cu apă

Stația de preparare a betonului este deservită de o instalație frigorifică cu comprimare mecanică de vapori care asigură răcirea apei.

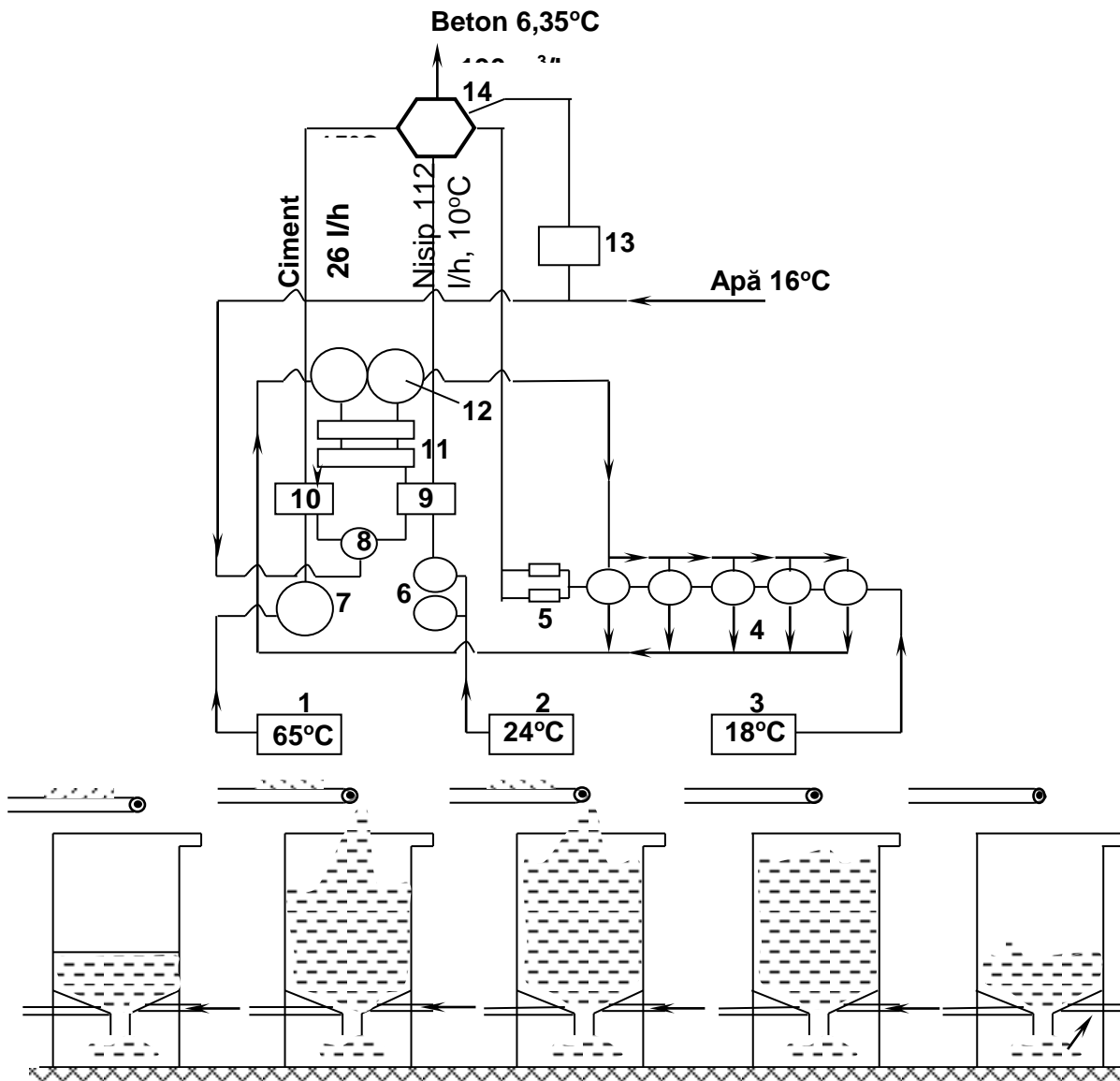


Figura 4.18 Fig. 5.18. Schema de lucru a instalației de răcire a betonului cu ajutorul apei
 1 - ciment; 2 - vagon nisip; 3 - vagon pietris; 4 - tancuri de răcire a pietrișului; 5 - sită; 6 - siloz de nisip; 7 - siloz de ciment; 8 - rezervor de distribuție; 9 - răcitor de nisip; 10 - răcitor de ciment; 11 - răcitor de apă; 12 - rezervor de apă răcită; 13 - răcitor de apă; 14 - instalație de preparare a betonului;
 I, II, III, IV, V - fazele de răcire a pietrișului.

În figura 5.18 se prezintă schema de lucru a unei asemenea instalații de răcire a betonului cu ajutorul apei, folosită la construcția barajului de la Detroit (S.U.A.). Apa este răcită de la 16 la 1,5 °C și transmisă apoi la instalația de preparare a betonului și în cinci rezervoare a câte 90 m³ fiecare, în care se răcește pietrișul.

Procesul de răcire a pietrișului cuprinde cinci faze:

- faza I - introducerea apei în rezervor, 10 minute;
- fazele II și III - introducerea simultană a apei și a pietrișului, 50 minute;
- faza IV - evacuarea apei, 15 minute;
- faza V - evacuarea pietrișului, 15 minute.

Întregul proces de răcire a pietrișului durează 90 minute. Pentru răcirea cimentului și nisipului se utilizează schimbătoare de căldură cu ax elicoidal, la care apa de răcire circulă prin arborele gol și prin manta.

Rezervoarele 12 pentru apa răcită au fiecare volumul de 114 m³.

4.2.1.1.1 Aplicație numerică

Să se calculeze puterea frigorifică necesară prerăcirii betonului, prin metode și condițiile prezentate mai sus. Se cunosc următoarele date de calcul:

$$m_p = 1700 \text{ kg/m}^3 \text{ beton};$$

$$m_c = 135 \text{ kg/m}^3 \text{ beton};$$

$$m_n = 590 \text{ kg/m}^3 \text{ beton};$$

$$m_a = 60 \text{ kg/m}^3 \text{ beton};$$

$$c_c = c_n = c_p = 921 \text{ J/kg} \cdot \text{K};$$

$$c_a = 4180 \text{ J/kg} \cdot \text{K};$$

$$m_{ap} = 16 \text{ kg/m}^3 \text{ beton};$$

$$m_{an} = 38 \text{ kg/m}^3 \text{ beton};$$

$$t_p = 18 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_c = 66 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_n = 21 \text{ }^\circ\text{C}; t_f = 6,35 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\dot{V}_b = \frac{190}{3000} = 0,0528 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Se calculează componentele cantității de căldură Q_{01} :

$$Q_c = m_c \cdot c_c (t_c - t_f) = 135 \cdot 921 \cdot (66 - 6,35) = 7417 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

$$Q_n = m_n \cdot c_n (t_n - t_f) = 590 \cdot 921 \cdot (21 - 6,35) = 7961 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

$$Q_p = m_p \cdot c_p (t_p - t_f) = 1700 \cdot 921 \cdot (18 - 6,35) = 18 \cdot 240 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

$$Q_a = m_a \cdot c_a (t_a - t_f) = 60 \cdot 4180 \cdot (16 - 6,35) = 2 \cdot 420 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

$$Q_{ap} = m_{ap} \cdot c_a (t_p - t_f) = 16 \cdot 4180 \cdot (18 - 6,35) = 779 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

$$Q_{an} = m_a \cdot c_a (t_n - t_f) = 38 \cdot 4180 \cdot (21 - 6,35) = 2327 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

Rezulta:

$$Q_{01} = Q_c + Q_n + Q_p + Q_a + Q_{ap} + Q_{an} = 39144 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

$$\Phi_o = 10^{-3} Q_{01} \cdot \dot{V}_b = 10^{-3} \cdot 39144 \cdot 10^3 \cdot 0,0528 = 2067 \text{ kW}$$

4.2.1.2 b) Instalații de prerăcire cu aer apă

Pentru răcirea componentelor betonului se utilizează în acest caz fie apa, fie aerul ca agenți intermediari, răciți cu ajutorul instalațiilor frigorifice.

În figura 5.19 se prezintă schema unei asemenea instalații, folosită la construcția barajului de la Sariyar din Turcia.

Răcirea aerului se poate face fie direct, prin vaporizarea unui agent frigorific, fie indirect, cu un agent intermediar de răcire, ca de exemplu, saramura de clorură de calciu. Aerul răcit până la $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ este suflat în silozurile cu pietriș de dimensiuni între 4...150 mm.

Apa răcită în bazinul la până la $0,5 \text{ }^\circ$ este trimisă din colectorul 12 la stația de preparare a betonului, servind la scăderea temperaturii acestuia.

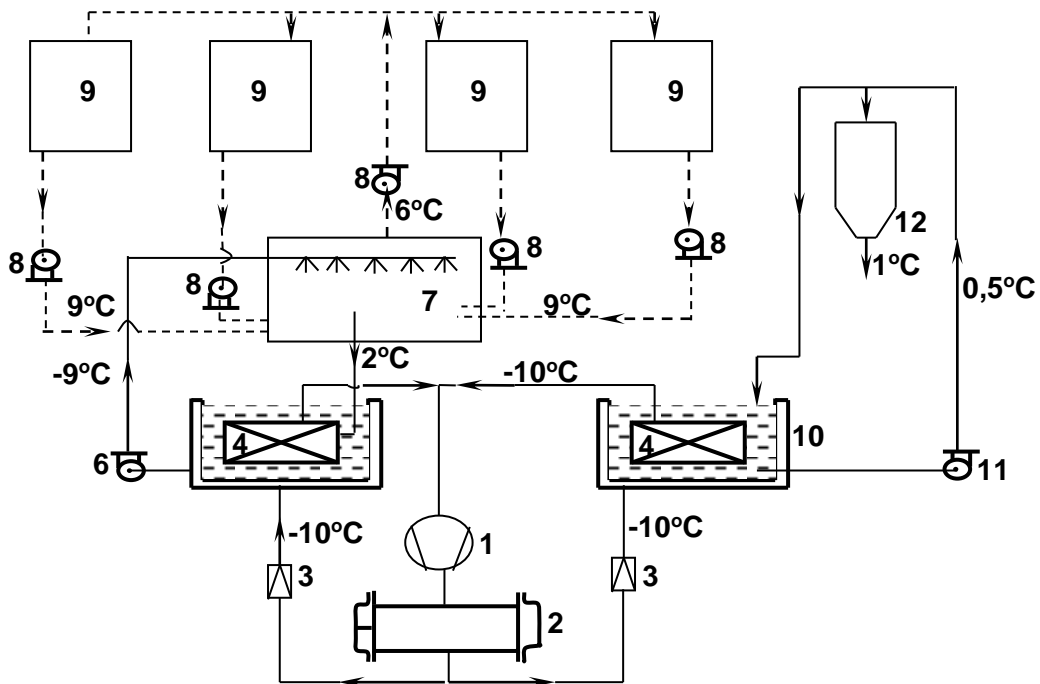


Figura 4.19 Fig. 5.19. Schema instalației de prerăcire a betonului cu aer și apă
 1 - compresor; 2 - condensator; 3 - ventilatoare de laminare; 4 - vaporizatoare; 5 - bazin de răcire a saramurii; 6 - pompă de saramură; 7 - răcitor umed de aer; 8 - ventilatoare; 9 - silozuri de pietriș; 10 - bazin de răcire a apei; 11 - pompă; 12 - colector de apă răcită.

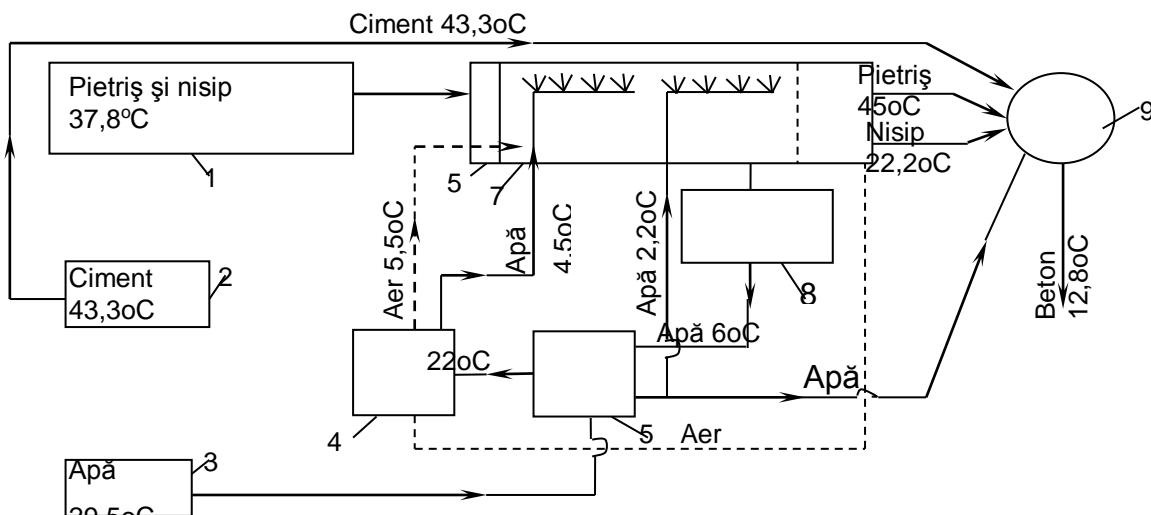


Figura 4.20 Fig. 5.20. Schema instalației de prerăcire cu aer și apă
 1 - siloz de pietriș și nisip; 2 - siloz de ciment; 3 - rezervor de apă; 4 - răcitor de aer; 5 - răcitor de apă; 6 - răcitor de apă; 7 - buncăr de sortare; 8 - instalație de preparare beton.

Pentru intensificarea procesului de răcire a pietrișului, aerul este răcit sub 0°C . Acest procedeu are avantajul unei funcționări fără întrerupere a procesului de preparare a betonului, dar prezintă și o serie de dezavantaje: debite foarte mari de aer de răcire, posibilitatea antrenării particulelor fine de agregat în răcitorul de aer și depunerea acestora pe suprafața de schimb de căldură. Ca urmare, instalația se va curăța la circa 14 zile. În figura 5.20 se prezintă o altă schemă de instalație de prerăcire a betonului cu aer și apă, folosită la construcția unui baraj din India.

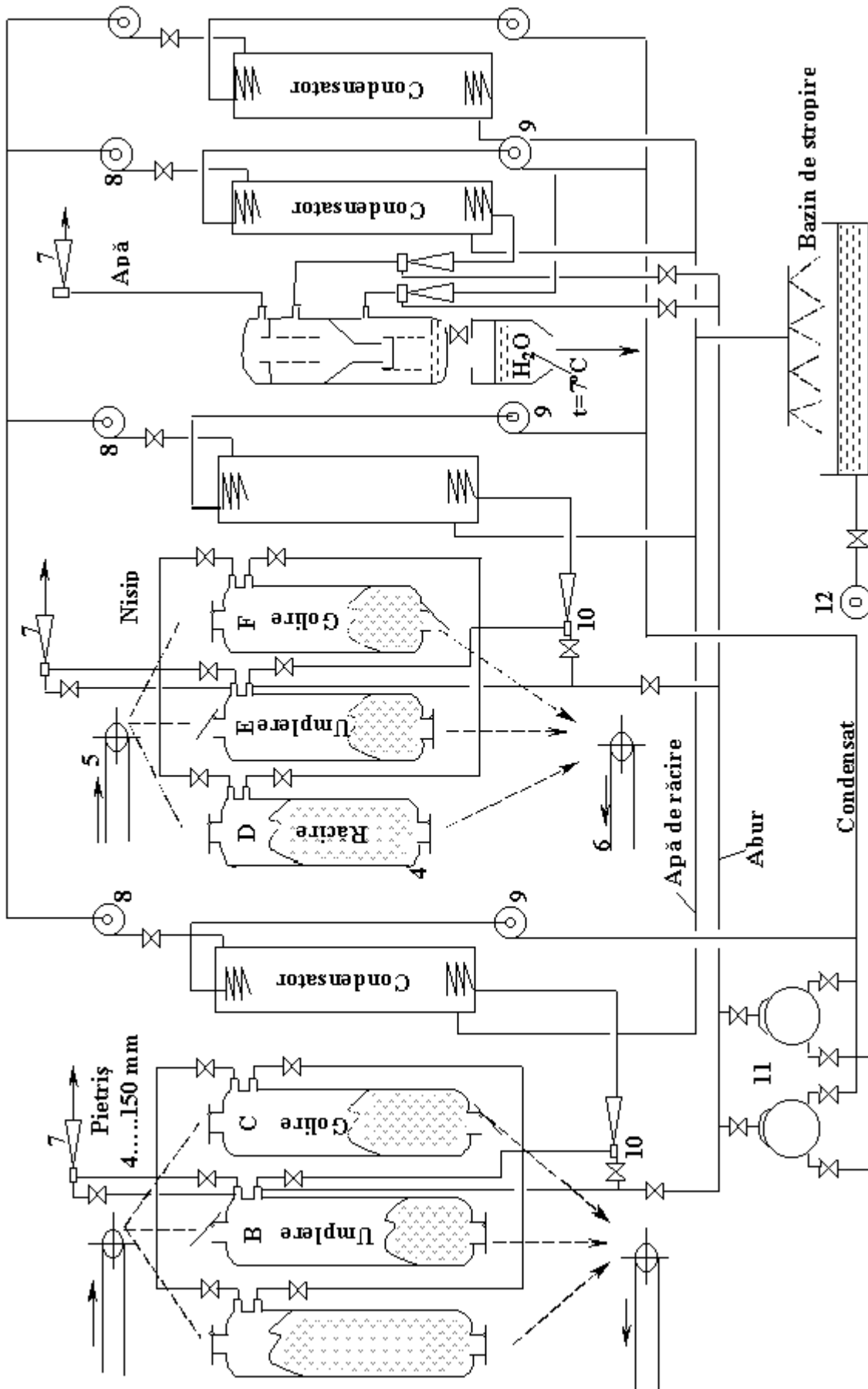


Figura 4.21 Fig. 5.21 Schema instalației de răcire în ved a componentelor betonului

Pietrișul și nisipul se separă între ele în buncărul de sortare 6 și apoi, fiecare circulă pe câte o bandă transportoare, prin camera de răcire 7. Pietrișul este răcit cu ajutorul apei

reci, încât ajunge la o temperatură mai scăzută decât nisipul, răcit cu aer. Prin camera 7 se circulă și aer rece, care se introduce la temperatura de 5,5 °C. Cementul se introduce la instalația de preparare a betonului 9, fără a fi răcit.

O altă posibilitate de prerăcire a agregatelor (pietriș și nisip) și a apei, utilizată mai recent la construirea barajelor, întrebunțează răcirea în vid, la care agregatele ușor umezite în recipiente sub presiune, se răcesc după nevoie (prin reglarea vacuumului) la o temperatură mai scăzută sau mai ridicată. Căldura necesară evaporării umidității de pe agregate și din ele (apa legată) este luată chiar de la corpurile respective (pietriș, nisip) și ca urmare, acestea se răcesc.

O asemenea instalație, utilizată la Hortwell în S.U.A. (figura 5.21) cuprinde 3 recipiente de câte 150 m³, pentru răcirea pietrișului și 3 recipiente de câte 80 m³ pentru răcirea nisipului.

Pietrișul și nisipul cu temperatura maximă de 43 °C se pot răci până la temperatura necesară de 4,5 °C. Pentru realizarea vidului necesar se folosesc două cazane de abur care produc 7,7 t/h fiecare.

4.2.2 5.2.2. RĂCIREA INTERIOARĂ A MASIVULUI DE BETON.

Prerăcirea betonului se recomandă în condițiile unei zone tropicale sau temperate de amplasare a construcției masive; nu se recomandă în cazul amplasării barajului în munți, unde temperatura aerului este scăzută. În asemenea situații se recomandă răcirea betonului prin conducte amplasate în masiv, prin care circulă apă rece.

La răcirea interioară cu conducte montate în beton, are loc o eliminarea a căldurii simultan cu producerea ei în procesul de priză producându-se și o răcire până la temperatura necesară. Pentru răcire se folosesc conducte de oțel cu diametre de 15...25 mm, montate la distanțe de 1,2...2,3 m în plan orizontal și de 1,5...3 m în plan vertical. Lungimea conductelor într-un m³ de beton este de 0,2...0,4 și a fiecărei serpentine de 140...250 m.

Debitul apei de răcire ce circulă prin 1 m³ de beton este de (0,55...3) dm³/h.

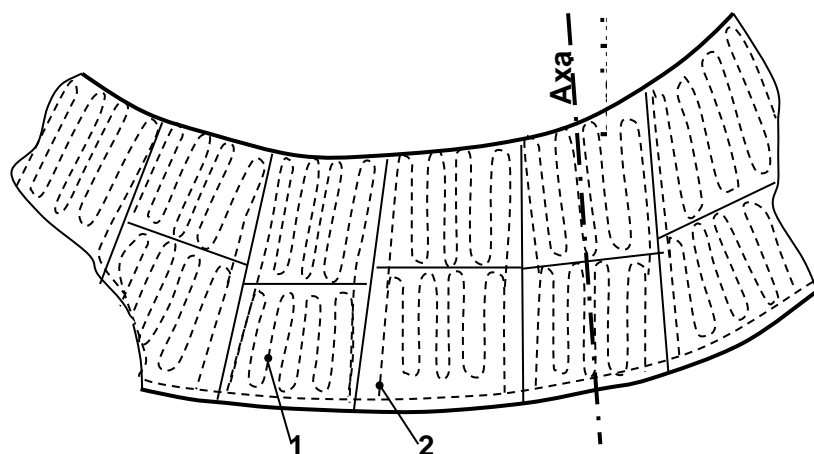


Figura 4.22 Fig. 5.22. Rețea de conducte de răcire a betonului în secțiunea unui baraj:
1 - galerie pentru măsurători; 2 - galerie de conducte de apă de răcire.

Serpentinele se montează și se fixează pe suprafață de beton (fig.5.22). Capetele serpentinelor se leagă de o coloană verticală prin mufe metalice sau de cauciuc. Diametrul distribuitorului și al coloanei este cuprins între 150...200 mm. După montaj, aceste conducte se verifică la presiunea de lucru.