

# CALCULUL IZOLAȚIILOR FRIGORIFICE

Grosimea stratului de material termoizolant cu care sunt prevăzute spațiile frigorifice, influențează două tipuri de cheltuieli:

- Cheltuielile cu materialul izolator, respectiv cu manopera de montare a acestuia;
- Cheltuielile pentru producerea frigului necesar în vederea compensării pătrunderilor de căldură.

Cele două tipuri de cheltuieli, variază în sensuri contrare odată cu grosimea materialului termoizolator, deci întotdeauna poate fi găsit un optim în ceea ce privește cheltuielile totale. Aceste cheltuieli globale prezintă un minim în situația optimă.

## 1. Calculul grosimii izolațiilor frigorifice

În practică se pot utiliza două metode pentru calculul grosimii izolațiilor:

- Prin adoptarea densității de flux termic;
- Prin adoptarea coeficientului global de transfer termic.

*Calculul grosimii izolațiilor prin adoptarea densității de flux termic*

Din considerente de natură economică, se acceptă pentru densitatea de flux termic ce poate să treacă prin termoizolațiile frigorifice, valori în intervalul  $q=10\dots 15\text{W/m}^2$ .

Densitatea de flux termic se poate calcula cu relația:

$$q=k\cdot(t_e-t_i),$$

unde:  $k$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] este coeficientul global de transfer termic;  
 $t_e$  [ $^{\circ}\text{C}$  sau  $\text{K}$ ] este temperatura în exteriorul spațiului frigorific izolat;  
 $t_i$  [ $^{\circ}\text{C}$  sau  $\text{K}$ ] este temperatura în interiorul spațiului frigorific izolat.  
Coeficientul global de transfer termic se poate calcula cu relația:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

unde:  $\alpha_{i,e}$  [ $\text{W/m}^2$ ] sunt coeficienții de convecție pe partea din interior/exterior a izolației;

$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  [ $\text{m}^2/\text{W}$ ] reprezintă suma rezistențelor termice ale tuturor straturilor din care este

realizat peretele, mai puțin izolația termică (tencuială, cărămidă, beton, etc.);

$\delta_{iz}$  [ $\text{m}$ ] este grosimea stratului de izolație termică;

$\lambda_{iz}$  [ $\text{W/mK}$ ] este conductivitatea termică a materialului izolator.

Cu ajutorul celor două relații de calcul prezentate anterior se poate determina grosimea izolației termice:

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[ \frac{t_e - t_i}{q} - \left( \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i} \right) \right]$$

Pentru coeficienții de convecție, pot fi considerate următoarele valori orientative:

- $\alpha=30$   $\text{W/m}^2\text{K}$  pentru pereți exteriori sau interiori ai spațiilor cu circulație intensă a aerului (de exemplu în cazul tunelelor de răcire);
- $\alpha=10$   $\text{W/m}^2\text{K}$  pentru pereți interiori ai spațiilor fără circulație intensă a aerului.

Pentru temperaturi, se pot lua în considerație următoarele recomandări:

- $t_i$  se determină din considerente legate de tehnologiile de fabricație sau de conservare prin frig a produselor respective;

- $t_e$  se determină astfel:
  - pentru pereți exteriori se consideră temperatura convențională de calcul  $t_{ex}$  pentru localitatea în care este amplasată izolația (temperatura medie multianuală în luna cea mai caldă a anului):
  - se notează  $\Delta t_{max} = t_{ex} - t_i$
  - pentru pereți interiori se calculează diferența de temperatură pe fețele acestora  $\Delta t$ , în funcție de  $\Delta t_{max}$  cu relația:
  - $\Delta t = A \cdot \Delta t_{max}$
  - unde:
    - $A = 0,7 \dots 0,8$  pentru pereți care separă spațiile răcite (izolate) de cele neizolate care comunică direct cu spațiul exterior (valorile mai mici sunt recomandate în cazul refrigerării, iar cele mai mari în cazul congelării);
    - $A = 0,6 \dots 0,7$  pentru pereții care separă spațiile răcite de cele nerăcite, dar care nu comunica direct cu exteriorul (de exemplu coridoare interioare);
    - $A = 0,4$  pentru pereții care separă spațiile răcite de cele nerăcite, având izolații termice (camere frigorifice care nu funcționează, sasuri și culoare);
    - Pentru sol se poate admite că temperatura de calcul are valoarea de  $15^\circ\text{C}$ .

*Calculul grosimii izolațiilor prin adoptarea coeficientului global de transfer termic*

Din relația de definiție a coeficientului global de transfer termic, se poate deduce următoarea relație de calcul pentru grosimea izolației:

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[ \frac{1}{k} - \left( \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i} \right) \right]$$

unde  $k$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] este coeficientul global de transfer termic, iar celelalte mărimi au fost prezentate în paragraful anterior.

Pentru pereți exteriori se pot recomanda următoarele valori ale coeficientului global de transfer termic  $k$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ], în funcție de temperatura interioară și de zona geografică în care este amplasat spațiul răcit:

Temperatura interioară [ $^\circ\text{C}$ ]	Zona nord	Zona medie	Zona sud
-30...-18	0,32	0,25	0,23
-10	0,40	0,35	0,30
-4	0,46	0,40	0,35
0	0,53	0,46	0,40
4	0,64	0,58	0,49

Pentru pereți interiori care se învecinează cu vestibule sau coridoare, se pot recomanda următoarele valori pentru coeficientul global de transfer termic  $k$  [ $W/m^2K$ ], în funcție de temperatura interioară din spațiul frigorific:

Spațiul răcit	Temperatura $t_i$ [ $^{\circ}C$ ]	$k$ [ $W/m^2K$ ]
Spații de congelare	-23...-35	0,35
Spații de depozitare	-18...-20	0,40
Spații de refrigerare	0	0,52
	4	0,70
	12	0,91

Pentru calcule rapide se pot adopta valorile coeficientului global de transfer termic  $k$  [ $W/m^2K$ ], în funcție de diferențele de temperatură  $\Delta t = t_e - t_i$  pe cele două fețe ale pereților izolați termic, indiferent de tipul acestora, astfel:

$\Delta t$ [ $^{\circ}C$ ]	50...35	35...30	30...25	25...20	20...15	15...10	10
$k$ [ $W/m^2K$ ]	0,23...0,35	0,4	0,45	0,52	0,58	0,63	0,7

Valoarea obținută din calcul, pentru grosimea stratului de material termoizolator, se rotunjește la o valoare imediat superioară standardizată și existentă în producția de serie, iar apoi se recalculază valoarea coeficientului global real, de transfer termic  $k_r$  [ $W/m^2K$ ], în vederea determinării pătrunderilor reale de căldură prin pereți, dinspre exterior spre interiorul spațiului răcit:

$$k_r = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

unde notațiile au aceeași semnificație prezentată anterior.

## 2. Verificarea izolațiilor la condensare

În practica proiectării izolațiilor frigorifice se efectuează două tipuri de verificări ale acestora la condensare:

- Pe fața caldă a peretelui;
- În interiorul stratului de izolație.

### *Verificarea izolației la condensarea umidității pe fața caldă a peretelui*

Grosimea stratului de material izolator termic, trebuie să fie suficientă pentru ca în timpul exploatarei spațiilor frigorifice, pe fața caldă a pereților (fața exterioară) să nu condenseze vaporii de umiditate din aer. Acest fenomen s-ar putea produce în cazul în care temperatura feței calde a peretelui ar scădea sub temperatura punctului de rouă, corespunzător aerului din exteriorul spațiului frigorific.

În regim staționar, densitatea de flux termic  $q$  [ $W/m^2$ ] transmisă prin peretele izolat al spațiului frigorific este egală cu densitatea de flux termic transmisă prin convecție de la aerul exterior la fața caldă a peretelui:

$$q = k_r \cdot (t_e - t_i) = \alpha_e \cdot (t_e - t_e')$$

unde  $t_e'$  este temperatura pe suprafața exterioară (caldă) a peretelui.

Condensarea umidității din aerul exterior este evitată, dacă  $t_e'$  este mai mare decât temperatura punctului de rouă a aerului exterior  $t_r$ , adică ( $t_e' > t_r$ ).

Din relația anterioară se poate determina temperatura  $t_e'$  pe fața exterioară (caldă) a peretelui:

$$t_e' = t_e - \frac{k_r}{\alpha_e} (t_e - t_i)$$

Dacă  $t_e' > t_r$  atunci nu se produce condensarea pe fața caldă a peretelui, iar dacă  $t_e' \leq t_r$  se produce condensarea pe fața caldă a peretelui, ceea ce determină necesitatea îmbunătățirii izolației termice, deci reducerea valorii coeficientului global de transfer termic, notat  $k_r$ .

Această relație se poate corecta, pentru a se ține seama de caracterul nestaționar al regimului termic și de inerția termică a peretelui:

$$t_e' = t_e - \frac{k_r}{\alpha_e} \frac{m}{0,95} (t_e - t_i) > t_r$$

unde:  $m=1,0$  pentru pereți masivi (cu grosime mare);

$m=1,1$  pentru pereți cu grosime medie;

$m=1,2$  pentru pereți subțiri.

Dacă relația anterioară nu se verifică, înseamnă că pe fața caldă a peretelui izolat termic al spațiului frigorific este posibilă condensarea umidității din aer. Pentru evitarea acestui fenomen se va micșora coeficientul global real, de transfer termic, prin mărirea grosimii stratului de izolație termică, față de valoarea care a fost calculată, indiferent de metoda utilizată.

#### *Verificarea la condensare în interiorul stratului de izolație termică*

Pereții izolați termic, sunt străbătuți de la exterior spre interior de:

- Un flux de căldură, determinat de diferența de temperatură;
- Un flux de umiditate, sub formă de vapori, determinat de diferența dintre presiunile parțiale ale vaporilor de apă din aerul umed de pe cele două părți ale pereților.

Dacă în timp ce străbat stratul de izolație termică, vaporii de umiditate condensează, atunci se înrăutățesc mult proprietățile izolante ale materialului respectiv.

Acest efect este amplificat dacă se produce în plus și înghețarea umidității condensate, ceea ce este foarte probabil, dacă pe fața rece a izolației, temperaturile sunt negative.

Conductivitatea gheții este de cca. 100 de ori mai mare decât a aerului uscat, deci este evident că fluxul de căldură transmisă printr-o izolație în care este prezentă gheața crește nepermis de mult.

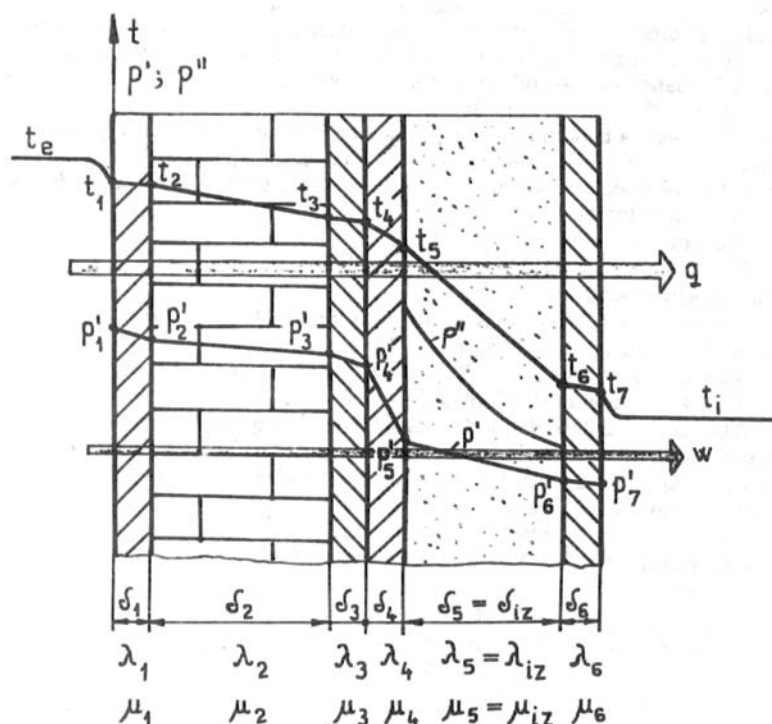
Prin solidificare, apa își mărește volumul, ceea ce determină apariția unor tensiuni interne puternice în materialul poros izolator, și în scurt timp acesta se va deteriora ireversibil.

În aceste condiții devine evident că este important să se verifice izolația la condensare în interiorul acesteia și să se ia măsuri dacă există pericolul condensării.

Verificarea la condensare în interiorul stratului de izolație, presupune parcurgera mai multor etape, după cum urmează:

- Se trasează grafic, variația presiunii de saturație a vaporilor de apă  $p''$  în interiorul izolației, corespunzător variației temperaturii în interiorul izolației. Se consideră că temperatura variază liniar în stratul de material izolator.
- Se trasează grafic variația presiunii parțiale a vaporilor de apă  $p'$  în interiorul izolației, considerând că aceasta variază liniar în stratul de material izolator.
- Se compară variațiile celor două curbe, fiind posibile două situații:
  - Dacă cele două curbe nu se intersectează, iar  $p'' > p'$  în orice secțiune, atunci nu există pericolul condensării în interiorul stratului de izolație;
  - Dacă cele două curbe se intersectează, deci dacă există secțiuni în care  $p'' < p'$ , atunci în acea zonă, denumită *zonă de condensare*, se va produce condensarea umidității cu toate efectele negative descrise.

În imagine, este prezentată o secțiune printr-un perete izolat termic, pentru care sunt trasate curbele de variație a temperaturii, respectiv a presiunilor de saturație  $p''$  și parțiale  $p'$ , pentru vaporii de umiditate:



Variația temperaturii, respectiv a presiunii de saturație  $p''$  și a presiunii parțiale  $p'$  a vaporilor de umiditate în interiorul unui perete prevăzut cu izolație termică

În cazul în care există pericolul producerii condensării în interiorul izolației, se impune reducerea fluxului de vaporii de umiditate care străbate peretele. Practic, se montează *pe fața caldă a izolației* un strat suplimentar dintr-un material izolant față de difuzia vaporilor de apă. Acest material este denumit *barieră de vaporii* sau *izolație hidrofugă*.

Capacitatea materialelor de a permite pătrunderea vaporilor de umiditate prin acestea, este caracterizată de *coeficientul de permeabilitate la vaporii*  $\mu \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}} \right]$ .

Acest coeficient reprezintă cantitatea de umiditate, exprimată în kg, care trece în timp de o secundă, printr-o suprafață de  $1\text{m}^2$  a unui perete având grosimea de 1m, dacă diferența de presiune parțială a vaporilor de umiditate pe cele două fețe ale peretelui este de 1Pa.

Efectul utilizării barierei de vapori este că reduce mult presiunea parțială  $p'$ , a vaporilor de apă în interiorul materialului izolator termic, ceea ce face ca în orice secțiune să fie îndeplinită condiția  $p'' > p'$ .

Dacă s-ar aplica bariera de vapori pe fața rece a izolației, respectiv a peretelui izolat termic, atunci ar fi împiedicată ieșirea vaporilor din izolație respectiv perete, spre spațiul interior, deci ar crește foarte mult presiunea parțială a umidității  $p'$  și s-ar produce condensarea acesteia în interiorul izolației.

Din acest motiv, în cazul în care se construiesc izolații termice din mai multe straturi, plăcile se vor lipi între ele prin puncte și nu prin straturi continue de material adeziv (de exemplu bitum), deoarece de cele mai multe ori acești adezivi nu permit umidității să îi străbată.

Pentru a se evita formarea unei bariere de vapori pe fața rece a peretelui, se interzice de exemplu faianțarea la interior a pereților izolați termic.

Nu se montează bariere de vapori pe pereții care separă două spații frigorifice între ele, deoarece în timpul exploatării, fața caldă și fața rece pot să alterneze, iar bariera de vapori ar putea ajunge pe fața rece.

Dacă se montează bariere de vapori pe ambele fețe ale peretelui, atunci la montaj se va evita umezirea izolației.

Utilizând notațiile din figura anterioară, densitatea de flux termic transmisă prin perete se poate calcula cu relația:

$$q = \frac{t_e - t_i}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_i}},$$

sau dacă se calculează densitatea de flux termic transmisă prin straturile de la exterior până la izolația termică, se poate utiliza relația:

$$q = \frac{t_e - t_{fciz}}{\frac{1}{\alpha_e} + R'}$$

unde: -  $R'$  este rezistența termică a straturilor de pe fața exterioară a izolației;

$$R' = \sum_{i=1}^{n'} \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

-  $n'$  este numărul de straturi de pe fața caldă a izolației;

-  $t_{fciz}$  este temperatura feței calde a izolației;

În aceste condiții, pentru determinarea temperaturii feței calde a izolației  $t_{fciz}$  se poate utiliza relația:

$$t_{fciz} = t_e - q \cdot \left( \frac{1}{\alpha_e} + R' \right).$$

Densitatea de flux termic transmisă prin stratul de izolație, se poate calcula prin:

$$q = \frac{t_{fciz} - t_{friz}}{\frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}},$$

unde  $t_{friz}$  este temperatura feței reci a izolației, care se poate determina cu relația:

$$t_{friz} = t_{fciz} - q \cdot \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}.$$

Asemănător se poate efectua calculul pentru determinarea distribuției de presiuni parțiale a vaporilor de umiditate în peretele izolat termic și în special în stratul de material izolator.

În exteriorul peretelui, presiunea de saturație a vaporilor de apă  $p''_e$  depinde de temperatura exterioară  $t_e$ , iar presiunea parțială a vaporilor de apă  $p'_e$  depinde de  $p''_e$  și de umiditatea relativă a aerului din exterior  $\varphi_e$ :

$$p'_e = \varphi_e \cdot p''_e.$$

Analog, pentru aerul din interior (de pe fața rece a peretelui izolat termic) se poate calcula presiunea parțială a vaporilor de apă  $p'_i$  cu relația:

$$p'_i = \varphi_i \cdot p''_i,$$

unde notațiile au aceleași semnificații, dar pentru aerul din interior.

Notând cu  $\mu$ , coeficientul de permeabilitate la vapori, se poate calcula densitatea fluxului de vapori transmis prin perete cu relația:

$$w = \frac{p'_e - p'_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} + \frac{\delta_{iz}}{\mu_{iz}}},$$

unde  $n$  este numărul de straturi (în afara celui de izolație) din care este alcătuit peretele.

Dacă se iau în considerare numai straturile de perete dintre exterior și fața caldă a izolației, se poate scrie:

$$w = \frac{p'_e - p'_{fciz}}{R'_{dif}},$$

unde: -  $p'_{fciz}$  este presiunea parțială a umidității pe fața caldă a izolației;

-  $R'_{dif}$  este rezistența termică la difuzia vaporilor de umiditate, a straturilor dintre exterior și fața caldă a izolației:

$$R'_{dif} = \sum_{i=1}^{n'} \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

iar  $n'$  este numărul de straturi dintre exterior și fața caldă a izolației.

Presiunea parțială a umidității pe fața caldă a izolației se poate determina cu relația:

$$p'_{fciz} = p'_e - w \cdot R'_{dif}.$$

Densitatea fluxului de umiditate transmis prin stratul de izolație, se poate calcula prin:

$$w = \frac{p'_{fciz} - p'_{friz}}{\frac{\delta_{iz}}{\mu_{iz}}},$$

unde  $p'_{friz}$  este presiunea parțială a umidității pe fața rece a izolației, care se poate determina cu relația:

$$p'_{friz} = p'_{fciz} - w \cdot \frac{\delta_{iz}}{\mu_{iz}}.$$

Cu valorile calculate, se poate reprezenta grafic, la fel ca în figura prezentată, variația temperaturii în stratul de izolație, considerând un număr oarecare de secțiuni și o variație liniară a temperaturii în stratul de izolator termic.

Pentru temperaturile determinate anterior, se determină utilizând tabele cu parametrii termodinamici ai aerului umed saturat, sau programul CoolPack, valorile presiunilor de saturație  $p''_i$  pentru fiecare secțiune considerată. Se constată că variația presiunii de saturație nu este liniară!

Cu valorile calculate anterior pentru presiunile parțiale, se poate reprezenta grafic la fel ca în figura prezentată, variația presiunii de saturație  $p''_i$  în stratul de izolație, considerând un număr oarecare de secțiuni și o variație liniară a presiunii de saturație în stratul izolator termic.

În final se poate stabili dacă există pericolul condensării umidității în stratul de izolație și deci dacă este necesară utilizarea unei bariere de vapori. Dacă va fi necesară, aceasta se va monta pe fața caldă a izolației termice.