

9. FABRICAREA GHEȚII ARTIFICIALE

Gheața a fost utilizată încă din cele mai vechi timpuri pentru păstrarea în stare refrigerată a unor produse alimentare cum sunt peștele, legumele sau fructele. În prezent, se utilizează în acest scop gheața artificială, care se poate produce și mai ales utiliza, în orice sezon și în primul rând vara, când necesarul de gheață este foarte mare.

Gheața hidrică, produsă din apă potabilă, se poate obține sub diverse forme:

- Blocuri paralelipipedice: 12,5; 25; 50 kg;
- Gheață mărunță: cilindrică, tubulară, solzi, zăpadă brichetată.

Gheața eutectică, obținută prin congelarea unor soluții de săruri în apă se poate utiliza pentru realizarea de temperaturi sub 0°C.

Gheața carbonică, denumită și gheață uscată se obține la presiunea atmosferică prin solidificarea CO₂ și asigură o temperatură de -79°C. Particularitatea gheții carbonice este că nu se topește ci sublimază, adică CO₂ trece din stare solidă direct în stare gazoasă. În aceste condiții, spațiile de depozitare rămân uscate, de unde și denumirea acestui tip de gheață. Un alt avantaj al gheții carbonice este că dacă se utilizează la păstrarea fructelor și legumelor, atmosfera bogată în CO₂ ajută la păstrarea acestor produse în bune condiții.

Cele mai uzuale domenii în care se utilizează gheața artificială sunt:

- Refrigerarea produselor alimentare: legume, fructe, pește, păsări;
- Transporturi frigorifice: auto, navale și pe calea ferată;
- În unități de alimentație publică.

Gheața artificială se poate prezenta sub două forme: opacă și transparentă. Gheața transparentă se obține prin suflare de aer în timpul formării gheții.

Gheața sub formă de blocuri prezintă avantajul unei depozitări mai eficiente, dar prin sfărșmare și spargere, formează bucăți cu forme neregulate și muchii tăioase, ceea ce o face inutilizabilă la refrigerarea unor categorii de produse, cum sunt peștele, fructele moi sau alimente cu textură fragilă. Pentru refrigerarea acestor produse se utilizează gheață mărunță obținută în mașini speciale.

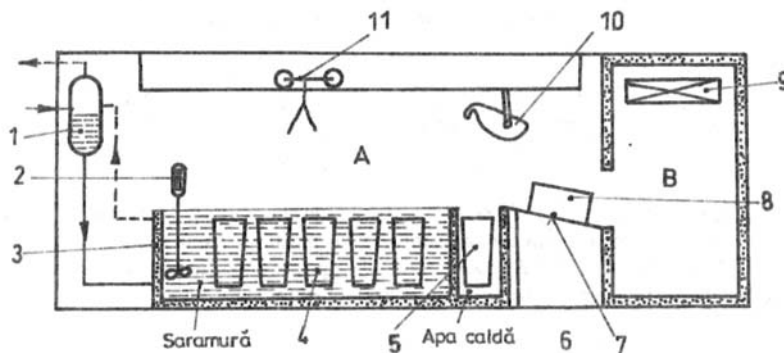
În România se produce tradițional, gheață sub formă de blocuri, prin răcire indirectă, fără adusuri de antiseptice sau antibiotice. Acest procedeu este depășit din punct de vedere tehnic și energetic de metodele de fabricație a gheții prin răcire directă.

Fabricile de gheață se întâlnesc ca unități de producție independente, sau ca secții anexe ale unor unități mari consumatoare de frig: abatoare, fabrici de bere, fabrici de industrializarea laptelui, patinoare artificiale, antrepozite frigorifice.

9.1. Fabricarea gheții sub formă de blocuri, prin răcire indirectă

Agentul intermediar utilizat este clorura de calciu, având temperatura $t_s = -7 \dots -10^\circ\text{C}$. Agentul frigorific din aceste fabrici este de regulă amoniacul, care vaporizează la temperaturi foarte scăzute $t_0 = -13 \dots -15^\circ\text{C}$.

Schema funcțională a fabricii pentru producerea blocurilor de gheață prin răcire indirectă este prezentată în imagine.



Schema funcțională a fabricii pentru producerea blocurilor de gheață prin răcire indirectă

A-sala generatorului de gheață; B-depozitul de gheață

1-separator de lichid; 2-agitator de sare;

3-bazinul generatorului de gheață;

4-forme cu apă supuse congelării;

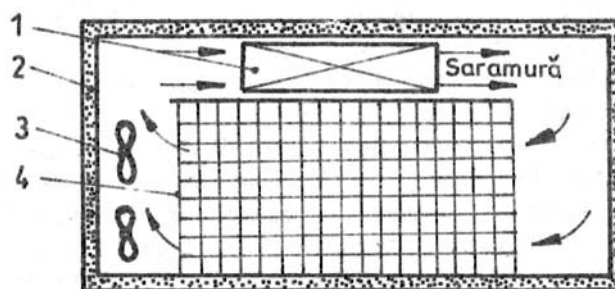
5-forme cu gheață supuse decongelării;

6-bazin pentru decongelare; 7-masă cu suprafață înclinată;

8-bloc de gheață; 9-răcitor de aer; 10-umplător basculant;

11-pod rulant

În continuare este prezentat bazinul pentru prepararea gheții sub formă de blocuri, prin această metodă.



Bazinul cu sare pentru producerea blocurilor de gheață prin răcire indirectă

1-vaporizator imersat; 2-bazin metalic izolat termic;

3-agitatoare; 4-forme pentru blocurile de gheață

Bazinul pentru producerea gheții are forma paralelipipedică și este confecționat din tablă, fiind izolat termic, de regulă cu plută.

Formele metalice pentru formarea gheții au forma unor trunchiuri de piramidă cu baza mare în sus. Formele se așează pe niște juguri metalice prevăzute cu roți de rulare pe căile montate în lungul bazinului.

Jugurile cu formele scufundate în saramură se deplasează pe durata unui ciclu de fabricație, în lungul bazinului. Acționarea se realizează cu un împingător manual sau hidraulic.

Podul rulant ridică jugul cu formele aflate la sfârșitul procesului de congelare și asigură coborârea jugului cu formele în care se găsesc blocurile de gheață, în bazinul pentru decongelare.

Bazinul pentru decongelare asigură topirea suprafeței blocului de gheață care aderă la formele metalice și asigură astfel desprinderea blocului de gheață.

Masa cu suprafață înclinată asigură transportul blocurilor de gheață spre depozitul de gheață.

Depozitul de gheață este răcit cu saramură rece sau chiar cu agent frigorific. Înălțimea de stivuire a gheții în depozit este de cca. 2m. Temperatura de păstrare a gheții este de aproximativ $-3\dots-5^{\circ}\text{C}$.

Această metodă de producere a gheții este caracterizată prin următoarele *dezavantaje*:

- Consumuri mari de energie și materiale;
- Durată foarte mare de producere a blocurilor de gheață.

9.2. Fabricarea gheții sub formă de blocuri, prin răcire directă

Prin utilizarea răcirii directe, se înlătură dezavantajele răcirii indirecte, asigurându-se următoarele *avantaje semnificative*:

- Se elimină utilizarea saramurii, care este corozivă;
- Se reduc mult dimensiunile fabricii, prin eliminarea unor utilaje care nu mai sunt necesare: pod rulant, umplutor basculant, bazin pentru decongelare, etc;
- Se micșorează diferența de temperatură dintre apă și agentul frigorific, ceea ce produce două efecte pozitive:
 - micșorează pierderile exergetice, deci reduce consumul de energie;
 - micșorează pătrunderile de căldură, deci puterea frigorifică a instalației;
- Se reduce numărul de compresoare prin micșorarea debitului volumic aspirat;
- Se reduce timpul de formare a gheții;
- Se pot automatiza procesele de lucru:
 - pe circuitul frigorific;
 - pentru operațiile de manevrare a formelor: umplere, golire, manipularea blocurilor de gheață;

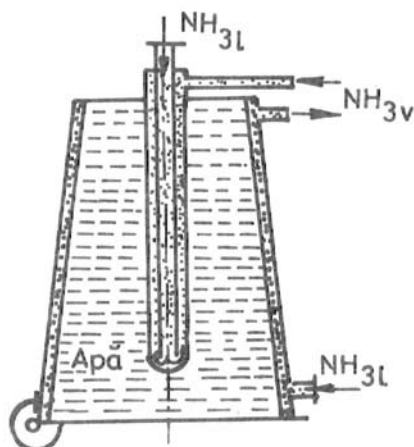
Există două procedee de producere a blocurilor de gheață prin răcire directă, care au o mare răspândire în practică:

- Procedeele Wilbushewich denumit și "gheață rapidă";
- Procedeele Grasso.

Procedeu Wilbushewich "gheață rapidă"

Acest procedeu utilizează forme de tip trunchi de piramidă, cu baza mare în jos și cu pereți dubli. În interiorul formei se introduc țevi duble coaxiale în care vaporizează agentul frigorific (amoniac).

În imagine este prezentată o formă pentru obținerea gheții prin acest procedeu.



Forma pentru obținerea gheții prin procedeu Wilbushewich

Circulația agentului frigorific prin mantaua formei de gheață și prin țevile duble coaxiale, prezentă în imagine asigură formarea a două fronturi de formare a gheții, ceea ce asigură o durată foarte scurtă de înghețare a apei.

Capacul inferior al formei, este menținut închis de un resort sau de o contragreutate. Înainte de introducerea apei în formă, se formează o pojghiță subțire de gheață care etanșează forma în zona capacului inferior.

După formarea blocului de gheață și mărirea volumului apei cu cca. 9...10%, capacul inferior este forțat să se deschidă de presiunea creată de gheață, care rupe pojghița de etanșare, formată inițial.

Evacuarea blocului de gheață este permisă și de sistemul de inversare a sensului de circulație a agentului frigorific prin instalație, datorită căruia se realizează decongelarea superficială a blocului de gheață, la contactul cu suprafețele metalice ale formei. Astfel în mantaua dublă și în țevile duble coaxiale, se introduc vapori calzi refuțați de compresor. Durata acestei decongelări rapide este controlată de un ceas programator.

La căderea din formă, blocurile de gheață sunt prinse pe un cărucior cu masă telescopică. Fazele evacuării blocului de gheață din formă sunt următoarele:

- Poziționarea căruciorului cu masă telescopică sub forma aflată în faza de decongelare;
- Ridicarea mesei la nivelul formei;
- Preluarea blocului de gheață eliberat din formă;
- Coborârea mesei telescopice;
- Transportul blocului pe căruciorul care rulează pe șine, în depositul de gheață.

Procesul de fabricație poate să fie complet automatizat. Astfel, în timp ce una din forme se găsește în faza de decongelare, toate celelalte se găsesc în diverse stadii ale acumulării de gheață.

Transportul blocurilor de gheață poate să fie mecanizat.

Avantajele față de fabricarea gheții prin răcire indirectă, sunt următoarele:

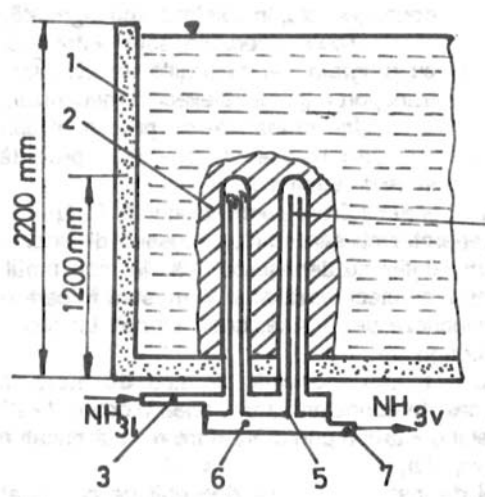
- Timpul de congelare se reduce de la 18 h la numai 1,5 h pentru blocurile de 25 kg;
- Suprafața ocupată se reduce cu 85%, ceea ce permite montarea unor asemenea fabrici de gheață inclusiv pe nave, unde problema spațiului este foarte acută;
- Masa totală a instalației se reduce cu 83%;
- Consumul de energie se reduce cu 20...30%;
- Decongelarea se efectuează într-o măsură mult mai redusă (la formarea gheții prin răcire indirectă, se realizează un exces de decongelare);
- Se pot forma blocuri mari de gheață din apă de mare, fără separarea sărurilor (datorită congelării rapide), iar aceste blocuri de gheață sunt foarte utile pentru refrigerarea peștelui, deoarece această gheață se sparge fără a forma muchii tăioase;
- Instalația intră în regim în 2h, față de 48h, câte sunt necesare fabricii prin răcire indirectă;
- Se reduce sarcina termică a condensatorului, deoarece în permanență câte o formă lucrează în regim de decongelare;

Singurul dezavantaj al acestui procedeu îl reprezintă geometria mai complexă a formei, care atrage și costuri mai ridicate pentru producerea acestora, dar acest dezavantaj este compensat de necesarul de forme mult mai mic, pentru realizarea unei producții similare prin metoda clasică.

Procedeu Grasso

Acest procedeu utilizează tot răcirea directă, iar la decongelare se utilizează tot vapori calzi refuși de compresor.

Particularitatea față de procedeu Wilbushewich constă în lipsa formelor, care sunt înlocuite de un bazin, așa cum se observă în figură.



Bazinul pentru formarea gheții prin procedeu Grasso
 1-bazin izolat termic; 2,4-conducte coaxiale;
 3-alimentare cu agent frigorific lichid; 5-perete despărțitor;
 6-cutie; 7-evacuarea vaporilor de agent frigorific

Blocul de gheață se formează în jurul conductelor 2 și 4.

Alimentarea cu agent frigorific lichid, se realizează prin racordul 3, iar vaporii formați în urma preluării de căldură de la apă, respectiv gheață, sunt aspirați de compresor prin racordul 7.

Alimentarea bazinului cu apă de la rețea se realizează prin intermediul unui ventil cu plutitor, în vederea menținerii constante a nivelului apei.

Frontul de gheață se deplasează radial dinspre țevi spre marginea bazinului. După unirea cochiliilor de gheață din jurul gheților, congelarea apei continuă până la formarea unui bloc de gheață cu marginile ondulate.

Durata de formare a unui bloc de gheață de 25 kg este de 2,5...3 h, deci mai mare decât prin procedeul Wilbuschewich.

Decongelarea cu vapori calzi este comandată și controlată printr-un ceas programator. După decongelare, blocurile se desprind și se ridică la suprafață. Un dispozitiv simplu, împinge blocurile la marginea bazinului, printre sârme paralele montate la suprafața apei, care formează culoare de ghidare. De la marginea bazinului, blocurile de gheață sunt descărcate pe o bandă transportoară care le duce în depozitul de gheață.

Avantajele față de procedeul Wilbuschewich sunt următoarele:

- Lipsesc unele aparate cum sunt umplutorul, calea de rulare, căruciorul pentru colectarea și transportul blocurilor;
- Procesul de fabricație poate să fie complet automatizat.

Avantajele față de fabricarea gheții prin răcire indirectă în bazine cu saramură sunt următoarele:

- Costul de producție a gheții este cu cca. 30% mai redus;
- Suprafața ocupată este cu cca. 70% mai redusă;
- Înălțimea necesară a sălii pentru amplasarea echipamentelor este mult mai redusă.

9.3. Fabricarea gheții mărunte

Gheața mărunță este necesară în industria alimentară pentru păstrarea prin refrigerare a unor produse cum sunt: peștele, fructele sau legumele.

Există două motive pentru care este preferată fabricarea de gheață mărunță pentru asemenea situații:

- Bucățile de gheață rezultate prin spargerea blocurilor prezintă muchii tăioase care pot deteriora aceste produse;
- Consumurile de energie și materiale pentru fabricarea blocurilor de gheață sunt mult mai mari decât dacă se produce direct gheață mărunță.

În mod uzual, pentru fabricarea gheții mărunte se utilizează răcirea directă.

Se pot produce următoarele tipuri de gheață mărunță:

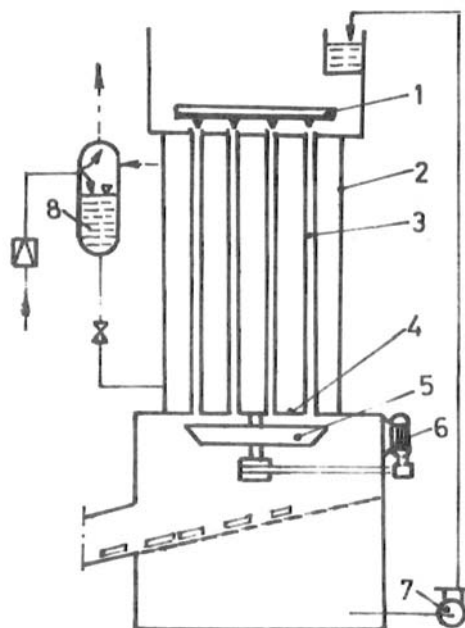
- Gheață cilindrică;
- Gheață tuburi;
- Gheață solzi;
- Zăpadă brichetată.

Generatorul de gheață cilindrică

Acest tip de generator de gheață a devenit foarte răspândit în SUA și Europa, după cel de-al doilea război mondial.

Gheața se formează într-un strat de grosime redusă (5...25 mm) ceea ce face ca aceste aparate să fie foarte productive.

În imagine este prezentată schema de principiu a acestor aparate.



Schema de principiu a generatorului de gheață tubulară

- 1-dispozitiv de asigurare a curgerii pelicular;
 2-manta cilindrică izolată termic; 3-țevi verticale;
 4-placa tubulară; 5-cuțit pentru tăierea gheții; 6-motor electric;
 7-pompă; 8-separator de lichid

Agentul frigorific vaporizează la exteriorul țevelor, iar gheața se formează la interiorul acestora, prin solidificarea apei care curge pelicular.

După formarea stratului de gheață, urmează perioada de decongelare.

Cilindrii, sau tuburile de gheață sunt tăiați cu ajutorul cuțitului 5.

Apa care a curs prin țevi, s-a răcit, dar nu a înghețat, este recirculată cu ajutorul pompei 7.

Pentru producerea cilindrilor de gheață plini, durata formării gheții este mai mare, deoarece straturile de gheață mai groase introduc rezistențe termice suplimentare.

De regulă se utilizează două sau trei asemenea generatoare de gheață, care lucrează decalat, pentru atenuarea solicitărilor termice la care este supusă instalația imediat după decongelare.

Cele trei faze de funcționare a instalației sunt următoarele:

- Alimentarea generatorului de gheață cu amoniac lichid și formarea gheții;
- Evacuarea amoniacului lichid din generator, cu ajutorul compresorului;
- Decongelarea cu vapori calzi, desprinderea gheții, descărcarea și tăierea gheții.

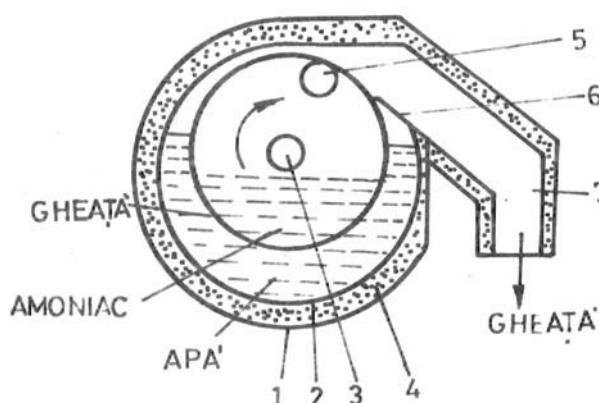
Avantajele față de formarea blocurilor de gheață prin răcire indirectă sunt următoarele:

- Consumul de energie și de metal este mult mai redus;
- Suprafața ocupată este mult mai redusă;
- Viteza de formare a gheții este de 10 ori mai mare;
- Costul gheții obținute este cu 30...40% mai redus;

Dezavantajul principal al acestui procedeu este reprezentat de consumul mare de frig (cca. 670...840 kJ/kg de gheață) datorită încălzirilor periodice în vederea decongelării și a suprafeței mari de desprindere a gheții, care trebuie decongelate.

Generatorul de gheață sub formă de solzi

Schema de principiu a acestui aparat este prezentată în imagine:



Schema de principiu a generatorului de gheață solzi

- 1-tambur interior; 2-tambur exterior; 3-arbore;
4-izolație termică; 5-rolă de deformare; 6-cuțit răzuitor;
7-gură de evacuare

Tamburul interior orizontal este prevăzut cu orificii pentru introducerea agentului frigorific. Astfel amoniacul vaporizează în interiorul tamburului, iar apa îngheață pe suprafața exterioară a acestuia într-un strat foarte subțire.

Turația tamburului interior este foarte redusă, și anume de cca. 3...4 rotații pe oră.

Un mecanism special cu role 5, produce deformarea parțială a tamburului rotativ, asigurând astfel desprinderea stratului de gheață, care este tăiat apoi cu ajutorul cuțitului 6.

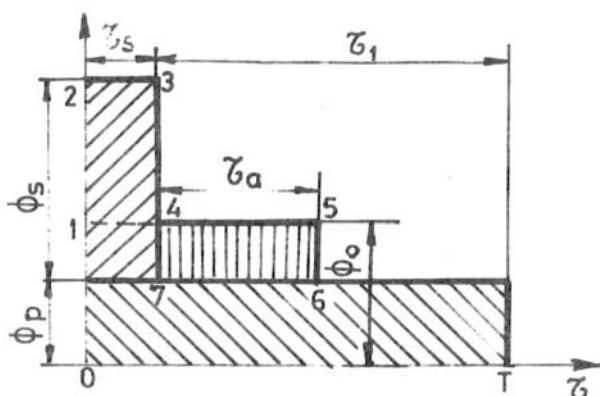
Pentru formarea solzilor, tamburul este prevăzut la exterior cu niște inele din cauciuc, montate la distanță egală cu lățimea solzilor. Pe aceste inele, apa nu îngheață.

9.4. Acumularea frigului prin depunere de gheață pe țevile vaporizatorului

Există situații în care instalațiile frigorifice sunt solicitate să facă față unor variații semnificative ale necesarului de frig, într-un interval de 24 de ore. Un asemenea exemplu sunt situațiile în care puterea frigorifică necesară prezintă vârfuri de sarcină, pe durate relativ scurte. Aceste vârfuri de sarcină apar datorită particularităților tehnologiilor de fabricație respective.

În industria alimentară asemenea situații apar în fabrici de prelucrarea a laptelui, sau în fabrici de bere.

În figură este prezentată o asemenea diagramă de variație a necesarului de frig, care prezintă un vârf de sarcină.



Diagramă de variație în timp a necesarului de frig

Notațiile de pe diagramă au următoarea semnificație:

- τ_s - timpul de suprasarcină;
- τ_a - timpul de acumulare a gheții;
- T - durata unui ciclu de variație a necesarului de frig (după intervalul τ , diagrama se repetă);
- Φ_p - puterea frigorifică a consumatorilor de frig cu funcționare permanentă;
- Φ_s - puterea frigorifică a consumatorilor de frig cu funcționare intermitentă (corespunzător duratei perioadei de suprasarcină τ_s);
- Φ_0 - puterea frigorifică nominală a instalației cu acumulare de gheață.

Soluția proiectării unei instalații având puterea frigorifică $\Phi_p + \Phi_s$, nu este recomandată din punct de vedere economic, deoarece în cea mai parte a timpului ($\tau_1 = \tau_p - \tau_s$), o asemenea instalație va funcționa mult sub capacitatea sa nominală (la puterea frigorifică Φ_p).

O soluție mult mai eficientă este să se proiecteze o instalație capabilă să acumuleze frig în perioadele cu solicitare minimă de frig, prin depunere de gheață pe țevile vaporizatorului. O asemenea instalație va avea puterea frigorifică nominală Φ_0 , mai mare decât puterea frigorifică a consumatorilor de frig cu funcționare permanentă Φ_p , dar mai mică decât puterea frigorifică corespunzătoare perioadei de suprasarcină $\Phi_p + \Phi_s$.

În aceste condiții, în perioada când necesarul de frig este redus, excesul de putere frigorifică al instalației, poate fi utilizat pentru formarea unui strat de gheață pe serpentinele vaporizatorului. Durata acestei perioade a fost notată cu τ_a .

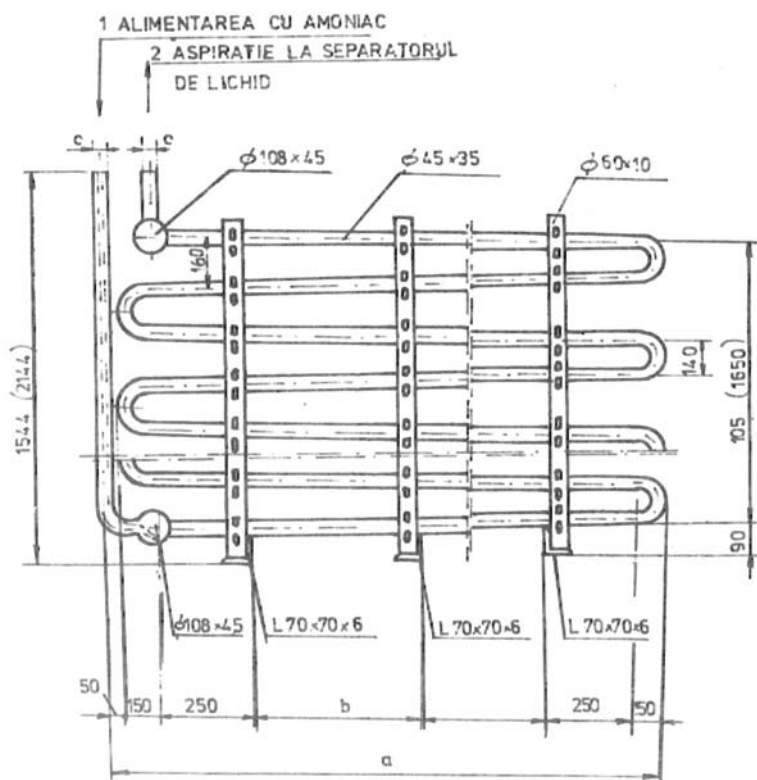
Valoarea puterii frigorifice Φ_0 a acestei instalații se determină din condiția ca în perioada τ_a cantitatea de frig acumulată, aria 4,5,6,7, să fie egală cu necesarul de frig corespunzător suprasarcinii, aria 1,2,3,4. Matematic această corelație între cele două cantități de frig, se poate scrie sub forma:

$$(\Phi_0 - \Phi_p) \cdot \tau_a = (\Phi_p + \Phi_s - \Phi_0) \cdot \tau_s \Rightarrow$$

$$\Phi_0 = \Phi_p + \frac{\Phi_s \cdot \tau_s}{\tau_a + \tau_s}$$

Din punct de vedere constructiv, asemenea vaporizatoare se realizează de obicei sub forma unor bazine cu apă în care se amplasează serpentine alimentate cu agent frigorific lichid.

Schema constructivă a unui asemenea vaporizator, produs de Frigotehnica București, este prezentată în figură.



Vaporizator cu acumulare de frig, produs de Frigotehnica București

În continuare sunt prezentate alte variante ale unor asemenea acumuloare de frig.



Vaporizator cu acumulare de gheață



Vaporizator imersat pentru acumulare de gheață



Vaporizator cu acumulare de gheață



Vaporizator cu acumulare de gheață, dublu



Colectorul de vapori al acumulatorului de gheață

Construcția acestor vaporizatoare permite acumularea de gheață în cochilii, având diametrele mai reduse decât distanța dintre țevi, pentru ca aceste cochilii să nu se unească între ele, ceea ce ar duce la formarea unor blocuri de gheață, care s-ar topi mult mai greu în perioada de suprasarcină.

Cantitatea maximă de frig acumulată pe un metru de țevă, q_g , se calculează cu relația:

$$q_g = \rho \cdot l_t \cdot \pi \cdot (r_e^2 - r_i^2) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}} \right]$$

unde:

- ρ este densitatea gheții: $\rho=920 \text{ kg/m}^3$;
- l_t este căldura latentă de topire a gheții: $l_t=334 \text{ kJ/kg}$;
- r_e este raza exterioară a stratului de gheață;
- r_i este raza interioară a stratului de gheață, sau raza exterioară a țevii vaporizatorului.

La proiectarea acestor vaporizatoare, se va calcula lungimea necesară a țevelor, având în vedere că aparatul va funcționa în mai multe regimuri de lucru și va trebui să facă față în toate aceste regimuri:

- Acumularea frigului prin depunerea gheții;
- Preluarea puterii frigorifice de la consumatorii permanenți;
- Preluarea puterii frigorifice nominale în perioada de suprasarcină;
- Topirea gheții în perioada de suprasarcină.

Lungimea serpentinei vaporizatorului trebuie să facă față tuturor acestor regimuri. În consecință se va calcula pentru fiecare din cele patru regimuri, câte o lungime necesară a țevii vaporizatorului, iar în final se va construi aparatul, cu lungimea de țevă maximă rezultată.

a) Acumularea frigului prin depunerea gheții

În perioada de acumulare a gheții, lungimea l_1 a țevii trebuie să permită acumularea frigului necesar pentru perioada de suprasarcină:

$$q_g \cdot l_1 = (\Phi_s + \Phi_p + \Phi_0) \cdot \tau_s \Rightarrow l_1 = (\Phi_s + \Phi_p + \Phi_0) \frac{\tau_s}{q_g}$$

b) Preluarea puterii frigorifice de la consumatorii permanenți

În perioada acumulării de gheață este necesar ca vaporizatorul să poată prelua necesarul de frig provenit de la consumatorii permanenți, fără ca temperatura t_e a apei la ieșirea din bazin să depășească valoarea admisă cerințele tehnologice. Această cerință trebuie asigurată și când nu există gheață pe țevile vaporizatorului ($r_e=r_i$):

$$\Phi_p = 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot t_e \cdot \alpha_e \cdot l_2 \Rightarrow l_2 = \frac{\Phi_p}{2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot t_e \cdot \alpha_e}$$

c) Preluarea puterii frigorifice nominale în perioada de suprasarcină

În perioada de suprasarcină trebuie să fie posibilă preluarea puterii frigorifice nominale a instalației Φ_0 , chiar și la începutul acestei perioade, când grosimea stratului de gheață, respectiv rezistența termică a acestuia, este maximă:

$$\Phi_0 = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot (t_g - t_0) \cdot l_3 \Rightarrow l_3 = \frac{\Phi_0}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot (t_g - t_0)}$$

unde coeficientul global de transfer termic k , se determină cu relația:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i \cdot r_i} + \frac{1}{\lambda_m} \cdot \ln \frac{r_i}{r_i} + \ln \frac{r_e}{r_i}}$$

d) Topirea gheții în perioada de suprasarcină

În perioada de suprasarcină, trebuie să fie posibilă topirea întregii cantități de gheață acumulate, iar instalația să preia puterea frigorifică maximă $\Phi_p + \Phi_s$, până în momentul topirii integrale a gheții, inclusiv:

$$\Phi_p + \Phi_s = 2 \cdot \pi \cdot r_i t_e \cdot \alpha_e \cdot l_4 \Rightarrow l_4 = \frac{\Phi_p + \Phi_s}{2 \cdot \pi \cdot r_i t_e \cdot \alpha_e}$$

Dintre cele patru lungimi calculate ale serpentinei vaporizatorului, se alege valoarea cea mai mare.