

★  
POPULAARTEADUSLIK  
SARI

*N. Komarov*

# KUNSTLIK KÜLM



A-1655 8 II

N. S. KOMAROV

# KUNSTLIK KÜLM

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1955

Originaali tiitel:

Проф. Н. С. Комаров

**Искусственный холод**

Издание второе, переработанное  
и дополненное

Государственное издательство  
технико-теоретической литературы  
Москва 1953

*Tõlkinud S. Vössotski*

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu  
30043



## SISSEJUHATUS

Ammust ajast on inimene püüdnud alistada loodust, ära kasutada tema jõude. Õppides saama tuld — soojuse ja valguse allikat —, saavutas inimene suure võidu. Kattes ennast tapetud loomade nahkadega ja soojendades ennast lõkke ääres kaitseks talvepakase eest, ei võinud ürginimene muidugi pidada külma oma sõbraks, kuid järk-järgult hakkasid inimesed tähele panema, et külm võib olla ka kasulik. Näiteks jahil tapetud metsloomade liha ei riknenud külmal aastaajal nii kiiresti kui suvel. Seetõttu püüdis inimene toidu säilitamiseks just nagu pikendada külma aasta-aega, varudes külma lume ja jää näol.

Tehnika arenemisega hakkas inimene toiduainete hoidmiseks ehitama spetsiaalseid jääkeldreid. Hiljem selgus, et keedusoola lisamine jääle alandab segu temperatuuri. Seepärast hakati toiduainete varumisel ja säilitamisel kasutama mitte ainult jääd, vaid ka jää ja keedusoola segu.

XVIII ja XIX sajandil teadlaste poolt teostatud uuringud, samuti masinaehituse arenemine andsid võimaluse saada külma spetsiaalsete masinate abil.

Külma kasutamise ala laienes tunduvalt.

Vastandina looduslikule jääle hakati inimese poolt igal aastaajal saadavat jääd nimetama kunstlikuks jääks.

Kunstlik külm omab suurt tähtsust meie maa rahvamajanduses. Kõigepealt aitab ta säilitada toiduainete kvaliteeti ja suurendada nende säilimise kestust. Sel teel saab tunduvalt pikendada paljude toiduainete, nagu näiteks puuvilja, aedvilja jne. kasutamise hooaega. Transport külmu-

tusseadmete abil lähendab toiduainete tootmise ja varumise rajoone suurtele linnadele ja tööstuskeskustele.

Külm soodustab paljude toiduainetetööstuse harude arengut. Seejuures näiteks margariini ja jäätise tootmisel külm mitte ainult kergendab tootmisprotsesse, vaid parandab ka toodete kvaliteeti.

Ka siis, kui külma kasutamine piirduks ainult toiduainetetööstusega, oleks tema tähtsus inimese jaoks väga suur. Külm aga osutab ka palju teisi, tihti täiesti ootamatuid ja ebatavalisi teeneid. Võiks loetleda üle 250 tööstus- ja tehnikaharu, kus külm truult teenib inimest.

Kaasaegne külmutustehnika on meie maal teinud suuri edusamme. Automaatselt töötavad elektrikülmutusseadmed, «kunstlik kliima» ruumides ja liuväli suvel ei tundu meile enam ebatavalistena. Nõukogude inimene on õppinud valitsema külma, kasutama teda allmaaraudteede ehitamisel, tööstuses ja põllumajanduses.

Külma kasutamine meie maal suureneb veelgi seoses NSV Liidu Ministrite Nõukogu ja NLKP Keskkomitee määrustega «Toidukaupade tootmise laiendamisest ja nende kvaliteedi parandamisest» ning «Nõukogude kaubanduse edasiarendamise abinõudest».

Selles väikeses raamatus me jutustame külma olemusest, tema saamise ja kasutamise viisidest, samuti sellest, kuidas inimene pani külma ennast teenima.

## I. KÜLMA OLEMUS

### 1. MIS ON KÜLM?

Mis on külm? Missugune on tema olemus?

Me kasutame sageli sõna «külm» ning tavaliselt vastandame külma soojusele. Kuidas me siis eristame külma ja soojust? Eelkõige oma aistingute järgi. Näiteks pehmel talvepäeval me ütleme: «Täna ei ole sugugi külm, külma on ainult neli kraadi.» Siis aga astume halvasti kõetud tuppa ja hüüame päris siiralt: «Küll siin on külm — ainult üheksa kraadi soojal!»

Puudutades käega mingit eset, me nimetame seda aistingu järgi kuumaks, soojaks või külmaks, kuid selline keha soojusastme määramise viis ei ole muidugi küllalt usaldatav. Meie vahetud aistingud ei saa olla õigete soojus-

like mõõtmiste aluseks. Selleks, et määrata keha soojusastet ehk, nagu öeldakse, tema temperatuuri, kasutatakse erilisi riistu — termomeetreid.

Tavaline, kõigile tuntud termomeeter kujutab endast peenikest klaastorukest, mille üks ots on kerakujuline ja täidetud elavhõbedaga. Temperatuuri tõusmisel elavhõbe paisub ja tema sammast tõuseb toru mööda üles; temperatuuri langemisel vajub elavhõbedasammast alla. Toru taha on kinnitatud võrdseteks osadeks jaotatud skaala, mille järgi mõõdetaksegi temperatuuri tinglikes mõõtühikutes — kraadides.

Kui asetada termomeeter sulavasse jäässe, siis näitab elavhõbedasammast alati ühesugust temperatuuri. Täpselt samuti on elavhõbedasamba kõrgus ikka ühel ja samal kindlal tasemel, kui hoiame termomeetrit keeva vee aurus.

Rahvusvahelisel temperatuuride skaalal vastab sulava jää soojuslikule seisundile 0 kraadi, keeva vee soojuslikule seisundile normaalse atmosfäärilise rõhu juures aga 100 kraadi.

Sellisele sajakraadilisele skaalale märgitakse jaotused ka allpool nullpunkti ja ülalpool 100 kraadi. Temperatuuri allpool nullpunkti tähistatakse miinuskärgiga (—). Näiteks elavhõbede külmumistemperatuur on  $-39^{\circ}\text{C}$  (märk  $^{\circ}$  tähendab kraadi, märk C aga seda, et temperatuuri mõõdetakse sajakraadilise skaala järgi).

Mis on siis külm?

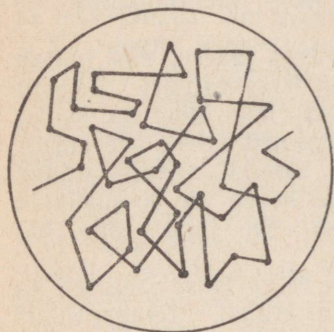
Külm on tinglik mõiste, mis tähistab suhteliselt väikest soojuse hulka kehas. Külma keha iseloomustab madal temperatuur. Külma ja soojuse füüsikaline olemus on üks ja seesama. Et vastata küsimusele külma olemuse kohta, vaatleme seetõttu enne, mis on soojus ja mille poolest erinevad üksteisest erisuguse temperatuuriga kehad.

Juba rohkem kui 2000 aastat tagasi oletas vana-kreeka filosoof Demokritos, et kõik kehad koosnevad üliväikestest materiaalistest osakestest — aatomitest. See materialistlik kujutus aine ehitusest, millel juba muistsel ajal oli palju poolehoidjaid, ei saanud süngel keskajal edasi areneda. Suurt võimu omanud ristiusukirik pidurdas mitme sajandi kestel teaduse arengut. Kuid ka tol ajal võitlesid eesrindlikud teadlased kiriku võhikluse ja võimutsemise vastu.

Suur vene teadlane M. V. Lomonossov (1711—1765) arendas õpetust aine molekulaarse ehituse kohta. 1744. aas-

tal lükkas ta oma töös «Mõtisklusi soojuse ja külma põhjustest» tagasi tol ajal eksisteerinud ebateaduslikud mõisted, nagu «kaalutu soojusmaterie» ja «külmamaterie» ning andis soojuse olemusele tõelise seletuse oma molekulaarteooria baasil. M. V. Lomonossovi teooria soojuse olemuse kohta ennetas tema kaasaja teadust paljude aastate võrra.

Meie ajal on aatomite ja molekulide olemasolu saanud usaldusväärseks faktiks. Tänapäeval on kindlaks tehtud nende suurused, elektronmikroskoobi abil aga on isegi pildistatud suuremate molekulide kontuure.



Joon. 1. Gaasi molekuli liikumise tee umbes 50 000-kordsel suurendusel.

Osakesed, millest kehad koosnevad, on pidevas liikumises. Selle liikumise iseloom on gaasides, vedelikes ja tahketes kehaes erinev. Gaasides on osakeste liikumine täiesti korrapäratu. Gaasi osakese tee on väga komplitseeritud ja omab keeruka mustri kuju (joon. 1).

Vedelikus asetsevad osakesed üksteisele lähemal ja nende vahel mõjuvad tundu-

duva suurusega vastastikused tõmbejõud. Tänu sellele on vedelikul kindel ruumala.

Tahketes kehaes on osakesed paigutatud kindla korra järgi: iga osake võngub ruumis kindla koha ümber. Need osakeste kesksed asendid moodustavad tahke keha nn. kristallvõre.

Katsed näitavad, et gaasilise aine temperatuuri tõusmisel osakeste korrapäratu liikumise keskmine kiirus kasvab, mis avaldub gaasi rõhu suurenemises; gaasi jahtumisel seevastu osakeste kiirus kahaneb ja rõhk väheneb.

Samasugust pilti näeme ka vedelate ja tahkete kehaes puhul: keha soojenemisel tema osakeste liikumise kiirus suureneb, jahtumisel aga väheneb.

Seega iseloomustab soojust silmaga nähtamatute materiaalsete aineosakeste liikumise kiirus.

Aineosakesed oma korrapäratus liikumises omavad energiat, mida nimetatakse tavaliselt soojusenergiaks.

Soojusenergia on seega osakeste ainesisese liikumise energia. Keha temperatuuri määrab tema osakeste keskmine liikumiskiirus.

Et paremini mõista soojuste füüsikalist olemust, teeme endale selgeks, mis on energia.

Kui me ütleme mõne inimese kohta, et ta on «energiline», siis mõistame selle all tema suurt töövõimet. Energia ongi tegelikult keha võime teha tööd. Kui näiteks vedur veab vaguneid, siis teeb ta tööd. See töö võrdub jõu, millega vedur tõmbab vaguneid, ja veduri poolt läbitud tee pikkuse korrutisega. Selleks, et vedur saaks teha sellist tööd, peab tal olema teatud kindel energia.

Vaiade rammimisel kasutatakse tavaliselt ülestõstetud raske rammi energiat. Liikuvale autol on energia, mille suurus oleneb auto kiirusest.

Keha energia on seega selle töö tagavara, mida antud keha saab teha.

Energia on materia liikumise vorm. Eranditult üheski loodusnähtuses ta ei hävi ega teki uuesti. Ta ainult kandub ühelt kehalt teisele või muundub ühest liigist teise.

On olemas mitu energialiiki: mehaaniline energia, elektrienergia, keemiline energia, soojusenergia jt. Energia muundumisel ühest liigist teise tekib üht liiki energia «kadunud» hulga asemele alati samaväärne ehk, nagu öeldakse, ekvivalentne hulk teist liiki energiat. Seda on paljukordselt kontrollitud ning katseliselt ja praktiliselt tõestatud. Kui me näiteks juhime elektrivoolu läbi soojendusseadme, s. t. kulutame elektrienergiat, siis saame selle asemele teatud hulga soojust, s. t. soojusenergiat. Kui nüüd muundame soojusenergia täielikult tagasi elektrienergiaks, siis saame seda täpselt niisama palju, kui palju me seda kulutasime. Seega jääb energia üldhulk kõigi tema muundumiste juures muutumatuks.

See M. V. Lomonosovi poolt avastatud energia jäävuse seadus koos aine jäävuse seadusega on loodusteaduse põhiliseks seaduseks.

Soojusenergia võib muunduda ka mehaaniliseks energiaks. Näiteks päikesekiirte soojus soojendab õhku ja kutsub esile tema liikumise — tuule. Tuul aga võib teha kasulikku mehaanilist tööd. Tuule energiat on juba ammu kasutatud mitmesugustes tuulejõuseadmetes.

Esineb ka vastupidist — mehaanilise energia muundumist soojusenergiaks. Et selles veenduda, hõõruge peo-

pesi tugevasti teineteise vastu ja te tunnete soojust, mis tekkis teie poolt kulutatud töö tulemusena.

Molekulaarteooriast lähtudes saab kergesti seletada ka kõigile tuntud soojusülekande nähtust. Kahe erinevalt soojendatud keha osakesed liiguvad erisuguste keskmiste kiirustega. Nende osakeste vastastikuse toime korral ühtlustuvad nende keskmised kiirused ning seetõttu muutuvad võrdseks ka kehade temperatuurid. Soojusvahetuse korral üks keha suurendab oma soojusenergia hulka teise keha arvel ning selle keha temperatuur tõuseb, kuna teisel kehal vastavalt väheneb energia hulk ja langeb temperatuur. Seega läheb soojus iseenesest üle ainult soojemalt kehalt külmemale.

Selline on soojuse füüsikaline olemus. Külma aega, nagu me juba rääkisime, on tinglik mõiste. Soojus ja külm erinevad teineteisest ainult osakeste liikumise kiiruse poolest.

Järelikult on külm ja soojus oma füüsikaliselt olemuselt samased.

Soojuse ja külma hulgad on mõõdetavad, kuid seda ei ole nii lihtne teha. Kui mõõta soojust ja külma ainult keha temperatuuriga, võib eksida. Võrdleme näiteks 50 liitri sooja piima (algtemperatuur  $+37^{\circ}$ ) ja 1 liitri keeva vee jahutamist. Keeva vett nii väikeses koguses on muidugi kergem jahutada kui piima, mis on küll ainult soe, kuid mida on palju rohkem. Pealegi on isegi vee ja piima ühesuguse kaalu ja algtemperatuuri puhul vaja nende soojendamiseks või jahutamiseks tuua juurde või eemaldada erisugused soojushulgad. See on seletatav nende erisuguste soojusmahtuvustega.

Missugustes ühikutes siis mõõdetakse soojushulka?

Soojuse ja külma hulkade mõõtmise ühikuna on tehnikas kasutusel kilokalor.

Kilokalor (lühendatult kcal) on soojushulk, mida on vaja kulutada selleks, et soojendada ühte kilogrammi vett ühe kraadi võrra.

Soojust võib mõõta ka ekvivalentsetes, s. o. samaväärtsetes mehaanilise energia või elektrienergia ühikutes. Üks kilokalor soojust näiteks võib teha tööd, mis on võrdne 427 kilogramm-meetriga (see tähendab, et kulutades 1 kilokalori soojust, saab tõsta 427 m kõrgusele keha, mis kaalub 1 kg).

Ühest kilovatt-tunnist elektrienergiast võib saada 860 kilokalorit soojust.

## 2. KÜLMA SAAMISE VIISID

Külma saadakse soojuse eemaldamise teel gaasilisest, vedelast või tahkest kehast. Näiteks jahutatakse toiduainete hoidlate õhku, külmutatakse vett kunstliku jää tootmisel või kala kalatööstuses. Kõikidel nendel juhtudel juhitakse soojus jahutatavast kehast jahutajasse ehk, nagu teda nimetatakse, töökehasse. Piimanõudes olevat sooja piima näiteks jahutatakse külma kaevuveega täidetud paakides.

Temperatuuri langemist võib saavutada ka kokkusurutud gaaside paisumise arvel. Gaas muidugi ei tõmbu iseendast kokku. Selleks tuleb rakendada mingisugust välisjõudu, teha tööd. Gaasi kokkusurumiseks kulutatud töö muundub soojuseks, gaas soojeneb. Seejuures gaasi molekulide liikumine kiireneb. Molekulide tõuked anuma seinte vastu muutuvad sagedamateks ning tugevamateks, see aga tähendab, et gaasi rõhk suureneb. Nüüd anname kokkusurutud gaasile võimaluse paisumiseks. Paisudes teeb gaas niisama palju tööd, kui palju seda kulus tema kokkusurumiseks. See töö võib toimuda ainult gaasi enda soojusenergia arvel. Kui seejuures gaas on anumas, mis ei juhi soojust, nii et väljastpoolt soojust juurde ei tule, siis gaasi temperatuur langeb tugevasti. Gaasi paisumisega kaasneb seega tema jahtumine.

Seda nähtust kasutatakse erilistes gaasi-külmutusmasinates, kus töökehaks on gaas.

Külma saamise viisid, mille puhul töökeha agregaatolek ei muutu, ei ole aga küllalt ökonoomsed.

Paremaid tulemusi võib saavutada sel juhul, kui töökeha muudab oma agregaatolekut, s. t. läheb üle tahkest olekust vedelasse või vedelast olekust aurustunud olekusse. Need jahutaja muutused peavad toimuma madalate temperatuuride juures ning nendega peab kaasnema suhteliselt suurte soojushulkade neelamine jahutatavast keskkonnast.

Keha igale agregaatolekule vastab kindel temperatuur ja rõhk. Agregaatoleku muutumisel muutub ka osakeste vastastikune asetus kehas. Seejuures muutuvad paljud keha füüsikalised omadused.

Aine agregaatoleku muutumisega kaasneb osakeste ümbergrupeerimiseks kuluva varjatud soojuse neeldumine või eraldumine. Seepärast toimub agregaatoleku muutumine kindla temperatuuri juures, mis sõltub aine füüsika-

listest omadustest ja tema ühest olekust teise ülemineku tingimustest.

Kui tahkele kehale anda pidevalt juurde soojust, siis kindla temperatuuri juures hakkab ta üle minema vedelasse olekusse, s. t. sulama. Jahutamiseks kasutatava tahke aine sulamise näiteks on jää sulamine.

Mis toimub jää osakestega tema sulamisel?

Jää on tahke aine; tema osakesed, nagu juba mainisime, moodustavad kristallvõre. Jääosakeste vahel valitsevad suured külgetõmbejõud. Jää sulamisel osakeste asetus muutub. Nad lahkuvad oma kohtadelt ning hakkavad korrapäratult liikuma — tekib vedelik. Külgetõmbejõudude ületamiseks, s. t. kristallvõre purustamiseks on vaja kulutada energiat. Selleks kulubki jääle antav soojus.

Mõned tahked ained lähevad sulamisel kohe üle aurustunud olekusse. Sellist aine agregaatoleku muutumist nimetatakse sublimatsiooniks. Külma saamiseks kasutatakse niinimetatud kuiva jää sublimatsiooni. Kuiva jää omadustega tutvume allpool.

Veest saadud jää sulamisel või kuiva jää sublimatsioonil põhinevat jahutamist nimetatakse jääjahutamiseks.

Tänapäeva külmutustehnikas kasutatakse peamiselt masinjahutamist, mõningatel juhtudel aga ka jääjahutamist ning jahutamist jää ja soola segu abil, kusjuures kõigi nende külma saamise viiside aluseks on aine agregaatoleku muutumine.

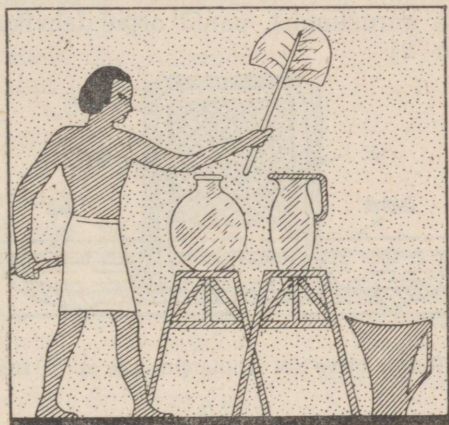
Mis toimub jää ja soola segu?

Seal toimub üheaegselt kaks protsessi: jää sulamine ja soola lahustumine. Lahustumisel läheb sool tahkest olekust üle lahusesse. Selleks üleminekuks kulub soojust, mis läheb soolaosakeste vaheliste tõmbejõudude ületamiseks. Seejärel on saadud soolalahuse temperatuur madalam kui eraldi võetud jää ja soola temperatuur. Neljast kaaluosast jääst ja viiest kaaluosast kaltsiumkloriidist koosnev segu alandab temperatuuri kuni  $-40^{\circ}\text{C}$ . Sagedamini aga kasutatakse tööstuses jahutamiseks jää ja tavalise keedusoola segu. Seejuures segu temperatuur on jääle lisatava soola hulgest. Lisades jääle 30 protsenti (kaalu järgi) soola, saavutatakse kõige madalam temperatuur  $-21,2^{\circ}\text{C}$ .

Töökeha agregaatoleku muutumisel põhinevat jahutamist jää ning jää ja soola segu abil kasutatakse toiduainetööstuses, kaubandusvõrgus ning kiiresti riknevate ainete transportimisel.

Suurt tähtsust omab külmutustehnikas külma saamine masinate abil, mis rajaneb mõningate vedelike aurustumisel madalate temperatuuride juures. Selles, et vedeliku aurustumisel toimub jahtumine, on kerge veenduda. Niisutage käsi veega ja kuivatamata lehvitage kätt õhus. Te tunnete kohe, et käsi muutub külmemaks. Kiiresti aurustuv vesi jahutab märga kätt.

Vedeliku aurustumine toimub mitmel viisil. Kui vedelik muutub auruks ainult oma pinnal, siis on see auramine. Kui aga aur tekib mitte ainult vedeliku pinnal, vaid ka tema sees, siis on tegemist keemisega.



Joon. 2. Vanas Egiptuses jahutati vett tema aurustamise teel läbi anumate poorsete seinte.

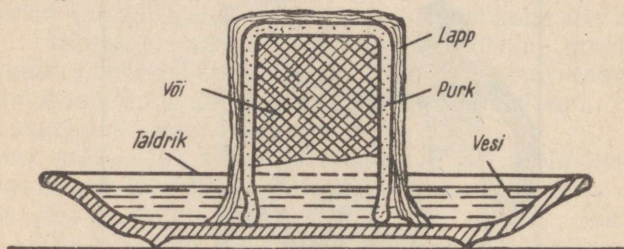
Vaatleme, kuidas vesi muutub soojendamisel auruks. Normaalse atmosfäärilise rõhu juures (760 mm elavhõbedasammast) tõuseb vee temperatuur järk-järgult  $+100^{\circ}\text{C}$ -ni, siis aga jääb konstantseks, kui palju me vett ka ei soojendaks. Sellel temperatuuril vesi keeb.

Vedeliku keemistemperatuur oleneb tema kohal tekkiva auru rõhust. Väga kõrgel mäel näiteks on õhk palju hõredam kui mäe jalal ja järelikult on tema rõhk normaalsest madalam. Seepärast keeb vesi siin madalamal temperatuuril kui  $100^{\circ}\text{C}$ . Vastupidi, aurukatlas, kus rõhk mitmekordselt ületab normaalse rõhu, keeb vesi kõrgemal temperatuuril kui  $100^{\circ}\text{C}$ .

Nagu tahke aine sulamisel, nii ka vedeliku auramisel ja keemisel kulub soojusenergiat. See energia läheb vedelikuosakeste vaheliste tõmbejõudude ületamiseks. Soojushulk, mis on vajalik ühe kilogrammi vedeliku auruks muutmiseks, sõltub aurustumise rõhust ja vedeliku füüsikalistest omadustest. See soojusenergia hulk moodustab antud vedeliku aurustumissoojuse.

Kui aurult võtta ära soojus, siis muutub ta jälle vedelikuks, s. t. kondenseerub.

Jahutamist aurustamise teel on inimesed kasutanud juba ammu. Vanas Egiptuses näiteks jahutati sel teel vett. Vesi imbub läbi anuma pooride ja aurustus kiiresti välisõhus. Et kiirendada aurustumist, panid orjad lehvikute abil õhu liikuma (joon. 2).



Joon. 3. Purgis oleva vôi jahutamine vee aurustamise teel.

Igaüks teist võib valmistada lihtsa «külmutusmasina», mis põhineb vedeliku aurustumisel. Mähkige tihedalt märja lapi sisse vôi purk ning asetage ta veega täidetud taldrikule (joon. 3). Mõõda lappi, mille ääred peavad olema vees, tõuseb vesi üles, samuti nagu petrooleum tõuseb mõõda tahti lambipeasse. Vee auramise tõttu märja lapi pinnalt (eriti kui see lihtne külmutusseade asetada tõmbetuulde) tõmbub vôi kõvaks: vee auramine kutsub esile vôi jahtumise.

Tööstuslikuks otstarbeks saadakse madalaid temperatuure mõningate niinimetatud lenduvate, madala keemistemperatuuriga vedelike aurustamisel. Neid vedelikke kasutatakse töökehana auru-külmutusmasinates.

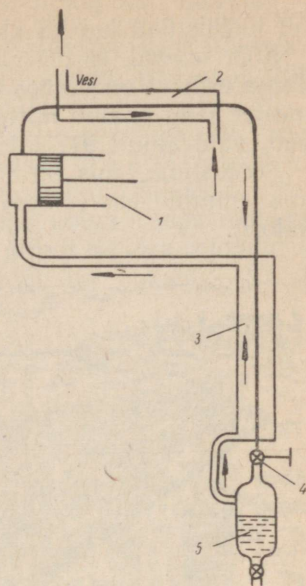
Väga madalate temperatuuride (kuni  $-200^{\circ}\text{C}$  ja alla selle) saamiseks kasutatakse niinimetatud sügavjahutamist, mille aluseks on gaasi jahtumine tema

paisumisel. Sügavjahutamine moodustab jahutamistehnika suure eriharu.

Esimesi väga madalate temperatuuride saamise katseid tehti juba möödunud sajandil, mil teadlased esmakordselt püüdsid vedeldada mõningaid gaase. Käesoleval ajal võib iga gaasi saada vedelas olekus. Näiteks õhk, mida me hingame, muutub vedelikuks, mille temperatuur on umbes  $-193^{\circ}\text{C}$ .

Lihtsaim vedela õhu saamise skeem on toodud joonisel 4.

Tahtmatult tekib küsimus, missugust kõige madalamat temperatuuri on võimalik saavutada? Teadlased on kindlaks teinud, et selliseks piirtemperatuuriks on  $-273,16^{\circ}\text{C}$ . Selle temperatuuri juures vaibub täielikult osakeste soojusliikumine kehas. Seepärast nimetatakse seda temperatuuri erilise Kelvini (lühendatult K) temperatuuride skaala absoluutseks nulliks. Temperatuuride lugemid sellel skaalal võivad olla ainult positiivsed.



Joon. 4. Vedela õhu saamise seadme skeem:

- 1 — kompressor, 2 — kokkurusutud õhu jahutaja, 3 — soojusvahendaja, 4 — ventiil, 5 — vedela õhu koguja.

## II. KÜLM JÄÄST

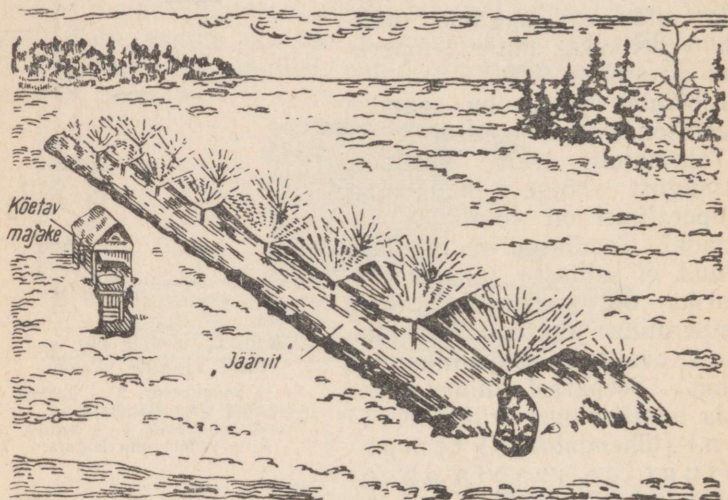
### 1. LOODUSLIK JÄÄ VEEST

Mitu kuud aastas valitseb meie kodumaa suurteil avarustel talv. Tema külm hingus muudab vett jääks. Looduslikes tingimustes tekkiv jää on looduslik ehk naturalne jää. Juba ammu õppis inimene varuma talvel külma tagavarasid jää näol, et kasutada neid soojal aastaajal. Sülades võtab talvel varutud jää jahutatavalt kehalt ära palju soojust. Võib öelda, et jää sisaldab endas suurt «külma tagavara».

Tutvume jää põhiliste omadustega, mis on ühesugused nii looduslikul kui ka kunstlikul jääl.

Kõik teavad, et jää on veest kergem ja ujub vee pinnal. Tema erikaal on umbes 0,917. See tähendab, et üks kuupmeeter jääd kaalub mitte üks tonn nagu niisama suur hulk vett, vaid ainult 917 kilogrammi.

Soojushulk, mis on vajalik ühe kilogrammi jää vedelikuks muutmiseks (sulamissoojus), on väga suur — 80 kilokalorit.



Joon. 5. Seade jää valmistamiseks vee külmutamise teel.

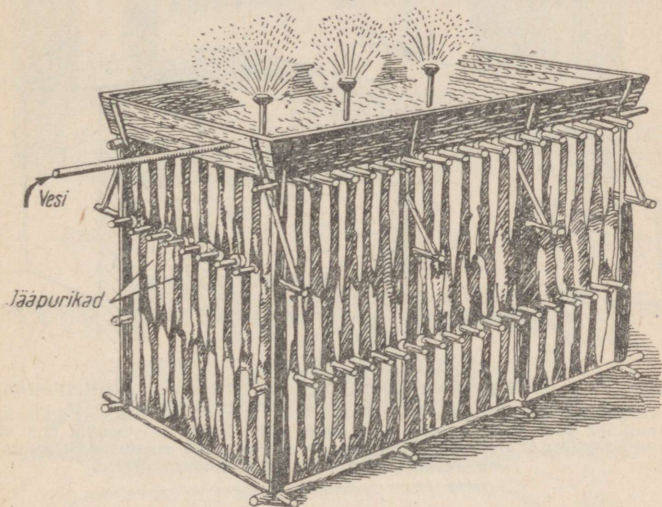
Jääd on talvel võimalik varuda mitmel viisil. Vahele, nagu seda tehti juba mitu sajandit tagasi, raiutakse jõgedest ja teistest puhta vee kogudest välja suured jääpangad. See viis on väga töömahukas ning jää transportimine hoidlatesse nõuab suuri kulutusi. Seepärast kasutatakse kõige sagedamini vee kihulist külmutamist spetsiaalselt ettevalmistatud väljakutel.

Viimastel aastatel on see jää varumise viis mehhaniseeritud. Üleliidulise Külmutustööstuse Teadusliku Uurimise Instituudi teadusliku töötaja N. T. Kudrjašovi ettepanekul kasutatakse selleks pihustamisseedmeid (joon. 5). Väljaku alla paigutatakse torud, mis on varustatud ülespoole suun-

duvate harutorudega. Iga harutoru otsas on pihusti vee laialipritsimiseks. Külmutamiseks kasutatav vesi juhitakse väljakule köetavast majakesest toru kaudu, mis asub külmunud pinnasekihi all.

Jääd saadakse pikkadel horisontaalsetel väljakutel. Seejuures moodustuvad kuni 5 m paksused «j ä ä r i i d a d». Et kaitsta jääd sulamise eest soojal aastaajal, kaetakse «jääriidad» juba talvel kuni 1 m paksuse kuiva saepurukihiga.

Selline külmutamisviis on sobiv ainult nendes rajoonides, kus keskmine talvine õhutemperatuur on umbes  $-10^{\circ}\text{C}$



Joon. 6. Külmutusseade jääpurikate kasvatamiseks.

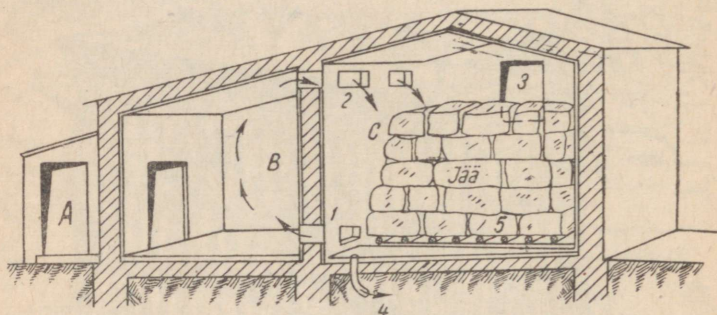
ning külmade päevade arv talvel ulatub vähemalt 60-ni. Nendes rajoonides aga, kus on pehme talv ning õhu temperatuur langeb ainult pisut alla nulli, varutakse looduslikku jääd muul viisil.

Kõik tunnevad jääpurikaid, mis tekivad hoonete karniiside all. Just selliste, ainult palju suuremate jääpurikate kujul varutaksegi jääd pehme kliimaga rajoonides.

Selleks otstarbeks kasutatakse jahutusseadmeid (joon. 6), mis meenutavad kolmekorruselist varbadest riulit. Vesi juhitakse üles harudega varustatud toru kaudu ja pihustatakse pealpool ülemist varvakihti. Selleks on harutorude otstele kruvitud pihustid. Peenikesed veepiisad, mis juba

õhus jahtuvad, satuvad varbadele. Voolates varbadel tekkinud jääpurikaid mööda alla, tilgakased külmuvad ja jääpurikad üha kasvavad. Selline jääpurikate «kasvatamine» vältab mitu ööpäeva. Siis raiutakse nad lattide küljest lahti ja suunatakse jäähoidlasse.

Talvel saadud looduslikku jääd kasutatakse jääjahutamiseks ning jahutamiseks jää ja soola segu abil. Teda kasutatakse näiteks toiduainete säilitamiseks määratud külmutushoonetes (joon. 7), külmutusvagunites toiduainete transportimisel, samuti toidukaupade kauplustes ning ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes.



Joon. 7. Külmutushoone toiduainete lühiajaliseks säilitamiseks:

A — esik, B — kammer toiduainete jaoks, C — jääruum, 1 — avad, mille kaudu jahutatud õhk pääseb kambrisse, 2 — avad, mille kaudu soojenenud õhk väljub kambrist, 3 — luuk jää sisseviimiseks, 4 — toru jää sulamisel tekkinud vee eemaldamiseks, 5 — varbade alus.

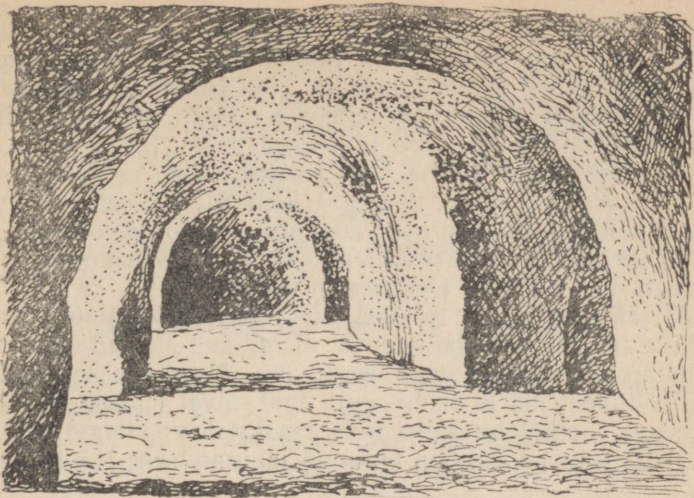
## 2. «KÜLMATAADI PALEED»

Meie ajal ehitatakse mitmesuguste toiduainete säilitamiseks jääst hoidlaid, mis mahutavad kuni 1000 tonni (joon. 8).

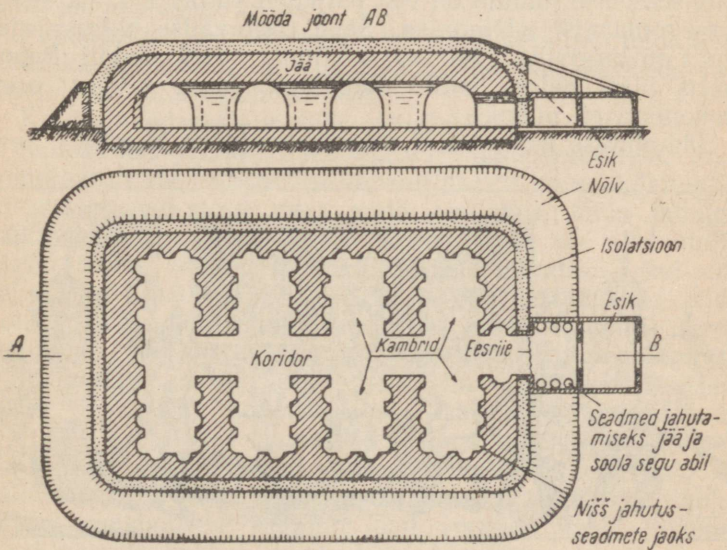
Jääst hoidlad leiutas nõukogude teadlane M. M. Krõlov. Nende õige teenindamise korral on nad väga pikaajalised.

Nende hoidlate põhiliseks materjaliks on vesi, mis talvel külmutatakse kergele kandevõrestikule. Jääst hoidlate ehitamine on muidugi võimalik ainult nendes meie maa piirkondades, kus õhu temperatuur on talvekuudel küllalt madal.

M. M. Krõlovi süsteemi hoidla peamiseks osaks on jäämassiiv keskkoridoriga ning sellest mõlemal pool asetse-



Joon. 8. M. M. Krõlovi süsteemi jääst hoidla sisevaade.



Joon. 9. M. M. Krõlovi süsteemi jääst hoidla plaan ja läbilõige.

vate kambritega toiduainete jaoks. Hoidla aluseks on 0,8 m sügavusse vundamendiauku külmutatud jää. Kahe meetri paksused jääst seinad lähevad üle võlvideks. Kambrite seinte vaheline kaugus on umbes 5 meetrit. Et jääst hoidla paremini säiliks, kaetakse ta väljast paksu turba- või saepurukihiga. Jääst hoidla otsa tehakse väike esik soojusest hästi isoleeritud seinte ja laega (joon. 9). Väliselt sarnaneb jääst hoidla väikese pruuni künkaga. Raske on oletada, et tema sees asuvad suured ruumid sinakate jääseinte ja -võlvidega, mis säravad elektrivalguses.

Et jääst hoidla ei sulaks, hoitakse temperatuur temas alla nulli. Selleks on seintes nišid, kus asuvad seadmed jahutamiseks jää ja soola segu abil. Nendesse asetatakse perioodiliselt jää ja soola segu. Igal talvel viiakse läbi jäämassiivi läbikülmutamine ning taastatakse sulanud jääkiht ja jäätagavarad, mis on kulunud jahutamiseks jää ja soola segu abil.

Looduslikku jääd on juba ammu kasutatud ehitusmaterjalina. Kaug-Põhja rajoonides püstitatakse üksikutest jäätükkidest väikesi kuplitaolisi ehitusi.

On teada huvitav juhtum jää kasutamisest jäämaja ehitamiseks. See juhtum on vist paljudele tuttav I. I. Lažetšnikovi romaanist «Jäämaja». Selle ebatavalise ehituse ajalugu on järgmine. 1740. aasta külmal talvel ehitati Peterburis jääst palee, milles keisrinna Anna lõbuks peeti õukonnanarri pulmi.

Jää ehituse jaoks raiuti suurte plaatidena Neevast. Nen-



Joon. 10. Peterburis 1740. aastal ehitatud jääpalee ja õukonnanarri pulmarong (vanalt gravüürilt).

dest plaatidest laoti maja seinad, kastes iga rida veega. Jääpalee oli 16 meetri pikkune, 6 meetri laiune ja 5 meetri kõrgune ehitus. Kogu mööbel ja lauanõud olid samuti valmistatud jääst. Jääst skulptuuridega kaunistatud palee juures oli isegi jääst ehitatud saun, mida mitmel korral köeti ja kus ennast viheldi ja pesti. Palee juures «kasvasid» puud, mille tüved, oksad ja isegi lehed olid tehtud jääst. Palee kõrval seisid jääst kahurid, millest mitmel korral tulistati. Jääpalee oli vene jäätehnika tõeliseks imeks (joon. 10).

### 3. KUNSTLIK JÄÄ VEEST JA LAHUSTEST

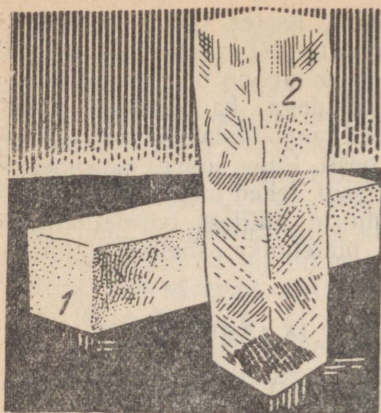
Kunstliku jää tootmine omab suurt tähtsust meie maa lõunarajoonides, kus ei ole talve.

Kunstlikku jääd saadakse tavaliselt suurte plokkidena. Külmutatavas vees sisalduv õhk annab plokkidele häguse piimjasvalge värvuse. Et saada läbipaistvat jääd, tuleb veest eemaldada õhumullikesed. Selleks lastakse veega täidetud vormidest läbi suruõhku, mis viib endaga kaasa vees sisalduvad õhumullid. Joonisel 11 on kujutatud häguse ja läbipaistva jää plokkid, millest kumbki kaalub 25 kg. Selliste plokkide pikkus on 1,1 m.

Plokkidena valmistatakse ka niinimetatud toidujääd, mida kasutatakse toitude ja jookide jahutamiseks. Teda valmistatakse täiesti puhtast veest.

Kuidas saadakse kunstliku jää plokkide?

Selleks kasutatakse niinimetatud jäägeneraatoreid. Jäägeneraatori väljastpoolt isoleeritud paagis on soolalahus — keedusoola või mõne muu soola vesilahus, mida jahutab külmutusmasin. Selle lahuse temperatuur on alla nulli. Nagu teada, langeb vee külmumistemperatuur, kui me lahustame temas soola. Katseliselt on tõestatud, et mida rohkem soola me lisame veele (kuni teatud hulgan), seda madalam on soolalahuse külmumistemperatuur. Seetõttu võib soolalahus ka nullist madalamatel temperatuuridel mitte külmuda. Soolalahusesse, mille temperatuur on  $-10^{\circ}$  C, asetatakse õhukestest terasplaatidest vormid, mis on täidetud veega. Vesi seejuures muidugi ei segune soolalahusega. Vee külmumise kiirendamiseks pannakse soolalahus spetsiaalsete segajate abil vormide vahel liikuma. Vesi vormis hakkab aegamööda külmuma. 12—24 tunni pärast (sõltuvalt jäävormi suuruselt) tekib jääplökk. Siis



Joon. 11. Veest valmistatud kunstliku jää plokid:

1 — hõgune jää, 2 — läbipaistev jää.

Viimastel aastatel on kasutusele võetud jäägeneraatorid niinimetatud torujää tootmiseks. Jää tekib nendes vertikaalsete torude sees ilma soolalahuseta, vedeliku aurustumise arvel madalatel temperatuuridel. Selline jää kujutab endast kuni 3 meetri pikkusi ja 5-sentimeetrise läbimõõduga õõnsaid või kompaktsid jääst silindreid. Pärast lahtisulamist lähevad need jääsilindrid pöörleva noa alla, mis lõikab nad vajaliku suurusega tükkideks.

Veest toodetakse ka väikeste soomuste kujulist kunstlikku jääd.

Vahel külmutatakse vett silindrilisele pinnale ja siis kraabitakse tekkinud jää kraapimisraudade abil maha. Sel juhul saadakse niinimetatud lumijää, mida hiljem briketeeritakse.

Peale veest saadava kunstliku jää kasutatakse külmutustehnikas erilist liiki jääd, mida valmistatakse mõnede soolade vesilahustest ja mis erineb veest saadud jääst sellega, et omab palju madalamat sulamistemperatuuri.

On teada, et kõige madalamat külmumistemperatuuri omab lahus teatud kindla soolasisalduse puhul. Sellisele soolahulgale vastab lahuse niinimetatud krüohüdraattäpp.

Mõnede soolade vesilahustest nende krüohüdraattäppide juures saadud jääd nimetatakse eutektiliseks jääks ehk eutektikuks. Eutektikud kujutavad endast jää ja

võetakse vormid jäägeneraatori paagist välja ja asetatakse 2—3 minutiks sooja vette. Pärast seda eralduvad plokid kergesti vormist.

Sellistel jäägeneraatoritel on aga puudusi: nad võtavad enda alla suure pindala ja nende teenindamine nõuab suurt töökulu. Peale selle lähevad nad ruttu rikki — metallvormid ja generaatorite muud osad riknevad soolalahuse mõjul. Seepärast püüavad leiutajad praegu luua täiuslikumaid jäägeneraatoreid.

soola homogeenet segu. Neil on madal sulamistemperatuur ja suhteliselt suur sulamissoojus. Kaaliumkloriidist saadud eutektiku sulamistemperatuur näiteks on  $-11,1^{\circ}\text{C}$  ja sulamissoojus 71,2 kcal/kg. Eutektikuid külmutatakse kindlates metallvormides, viimaseid täielikult täitmata. Eutektikute vormidel on kolmetahulise prisma, silindri või 5–10-liitrise lameda paagi kuju.

#### 4. JAHUTAMINE KÜLMUTUSLAHUSTE ABIL

Jää ja soola segu abil jahutamise korral, nagu me juba rääkisime, asuvad külmutuskambrite seintes nišid, kuhu perioodiliselt asetatakse külmutussegu.

Praegu kasutatakse ka teist jahutamissüsteemi, ja h u t a m i s t k ü l m u t u s l a h u s t e a b i l, mille puhul külmutuslahus tsirkuleerib torupatareides. Külmageneraatori paagis jahtub külmutuslahus jää ja soola vastastikusel toimel. Jahutatud külmutuslahus pumbatakse torupatareidesse, mis on paigutatud piki jahutatavate kambrite seinu. Seal ta soojeneb veidi. Siis suunatakse külmutuslahus tagasi paaki, kus ta niisutab jää ja soola segu ning jahtub uuesti.

Andekas nõukogude leiutaja I. A. Kleimjonov pani jahutatud külmutuslahuse liikuma mööda torupatareid üles ilma pumbata, s. t. teostas külmutuslahuse autotsirkulatsiooni.

Kuidas seda saavutatakse?

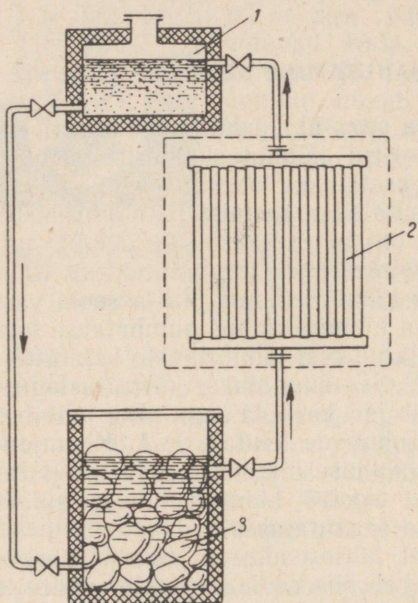
On teada, et kütteseadmetes tõuseb soe vesi iseenesest üles paaki, läheb siis radiaatoritesse, andes seejuures ära soojust, ja lõpuks tuleb tagasi veesoojendamiskatlasse. Selline loomulik tsirkulatsioon toimub sellepärast, et sooja vee erikaal on väiksem radiaatoreid läbinud jahtunud vee erikaalust. I. A. Kleimjonov kasutas selle põhimõtte ära jahutusseadmetes. Kuidas aga panna külma külmutuslahust ülespoole tõusma? Nagu selgus, on selleks vajalik, et külmutuslahus oma ülespoole liikumisel muutuks üha kergemaks — teiste sõnadega, et külmutuslahuse erikaal väheneks.

Külmutuslahuse erikaal sõltub temas sisalduva soola hulgast, s. t. külmutuslahuse kangusest ehk, nagu öeldakse, tema kontsentratsioonist. Mida suurem on lahuse kontsentratsioon, seda suurem on ka tema erikaal.

Kleimjonovi külmutussüsteem (joon. 12) koosneb külmageneraatorist — jääga täidetud paagist, külmutuslahuse

konsentraatorist — soolaga täidetud paagist, ning kambri või kapis asetsevast külmutuspatareist.

Konsentraatorit läbides lahustab külmutuslahus endas osa soolast ning muutub seetõttu kangemaks ja raskemaks. Külmageneraatoris puutub ta kokku jääga, tema temperatuur langeb ning ta muutub samaaegselt lahjemaks, s. t.



Joon. 12. I. A. Kleimjonovi külmutussüsteem, mille puhul toimub külmutuslahuse autotsirkulatsioon.

1 — külmutuslahuse konsentraator, 2 — külmutuspatarei, 3 — külmageneraator.

tema kontsentratsioon väheneb. Vaatamata jahtumisele külmutuslahuse erikaal väheneb, ta tõuseb üles ning läbib kambri või kapis asetseva külmutuspatarei. Seal külmutuslahus soojeneb, muutub veel kergemaks ja suundub konsentraatorisse, kus ta jälle küllastub soolaga, taastab oma kontsentratsiooni ja tänu sellele laskub jälle alla külmageneraatorisse. Selleks, et paremini kindlustada külmutuslahuse autotsirkulatsiooni, tuleb külmutuslahuse konsentraatoris luua teatud hõrendus ehk vaakuum.

## 5. KUIV JÄÄ

Sõnad «kuiv jää» kutsuvad esile nõutuse: jää . . . ja kuiv! Miks ta siis on kuiv, kuidas teda saadakse ja milleks kasutatakse?

Kuiv jää on süsihappegaas, mis on kõigepealt üle viidud vedelasse ja siis tahkesse olekusse.

Süsihappegaas tekib kütuste põletamisel, lubjapõletamisel ja käärimisel. Külmutustehnikas kasutatakse ka mõningates keemiatehastes jäägina saadavat süsihappegaasi. Võib kasutada maa-aluste allikate, näiteks Narzani mineraalallika süsihappegaasi.

Erinevalt veest, mis võib normaalse atmosfäärilise rõhu juures olla tahkes, vedelas ja gaasilises olekus, võib süsihappegaas olla ainult kas tahkes või gaasilises olekus. Vedelat süsihappegaasi säilitatakse tavaliselt terasballoonides rõhu all. Ja nii lihtsana kui see ka ei näiks, teda ei saa näiteks valada klaasi. See on seletatav sellega, et vedel süsihappegaas võib eksisteerida ainult rohkem kui 5,28-atmosfäärise rõhu all. Kui avada balloon vedela süsihappegaasiga, siis võib kõrvuti süsihappegaasiga saada ka süsihappelund. Selleks tuleb ballooni külge kinnitada tihe kotike.

Kuiv jää sarnaneb kriidi või tükksuhkruga. Sellise jää tükike on nagu ümbritsetud udulooriga: tema pinnal tekib pidevalt aur. Aegamööda muutub ta väiksemaks, sest aur lendub tema pinnalt. Sellist tahke aine üleminekut gaasilisse olekusse, mis toimub vedelat faasi läbimata, nimetatakse, nagu me juba rääkisime, sublimatsiooniks. Kuiva jää sublimeerumisel ei jää järele vedelikku, mistõttu teda nimetataksegi kuivaks jääks.

Kuiva jää sublimatsioonitemperatuur on väga madal:  $-78,9^{\circ}\text{C}$ . Seepärast ei saa teda kaua käes hoida: ta nagu põletaks nahka, jättes sellele omapäraseid põletushaavu. See on seletatav sellega, et inimese keha temperatuuri ja jää sublimatsioonitemperatuuri vahel on väga suur erinevus — umbes  $115^{\circ}$ .

Kuiv jää annab peaaegu kaks korda rohkem külma kui niisama suur kaaluline hulk veest saadud jääd.

Tahket süsihappegaasi saadi esmakordselt 1834. aastal, kuid tööstuses hakati teda kasutama alles pärast 1925. aastat, mil töötati välja uued kuiva jää saamise viisid.

Kuiva jää tootmiseks kasutatav süsihappegaas puhasta-

takse, veeldatakse siis ja muudetakse tahkeks. Ühe tonni kuiva jää tootmiseks kulub umbes 1,4 tonni sütt (süsihappegaasi saamiseks suitsugaasidest), umbes 150 kuupmeetrit vett (süsihappegaasi jahutamiseks ja kondenseerimiseks) ja umbes 250 kilovatt-tundi elektrienergiat (süsihappegaasi kokkusurumiseks kompressoritega).

Esimene kuiva jää tehas anti meie maal ekspluatatsioon Moskva lähedal 1933. aastal. Hiljem ehitati samasugused tehased Leningradis, Sverdlovskis, Tbilisis ja paljudes teistes linnades.

Kuiva jääd kasutatakse peamiselt jäätise kaubastamisel ja transportimisel. Teda kasutatakse samuti teadusliku uurimise laboratooriumides mõnede kontrollmööteriistade, materjalide ja masinaelementide katsetamisel madalate temperatuuride tingimustes ( $-40$  kuni  $-60^{\circ}$  C). Masinaehitustööstuses kasutatakse kuiva jääd eriteraste karastamiseks, duralumiiniumist neetide säilitamiseks ja muudeks otstarveteks. Kuiva jääd saab kasutada tulekahjude kustutamiseks kaevandustes ning teraviljakahjurite hävitamiseks elevaatorites.

### III. KÜLMUTUSMASINAD

#### 1. TALVE «VÖISTLEJAD»

Mõningates meie maa kohtades, näiteks Verhojanskis (Jakuudi ANSV) ulatub õhu temperatuur vahel  $-68^{\circ}$  C-ni, kuid ka seal ei kesta talv rohkem kui 7—8 kuud. Lõunarajoonides aga ei ole üldse tõelist, suurte pakastega talve. Seejuures vajab rida rahvamajandusharusid terve aasta läbi madalaid temperatuure. Mõningatel juhtudel on vajalik selline külm, mida looduslikes tingimustes ei esine isegi kõige külmemal talvel. Siin tulevadki inimesele appi tema poolt loodud külmutusmasinad — talve «võistlejad», mis annavad külma sellises hulgas ja selliste omadustega, nagu on parajasti vajalik.

Külmutusmasinad leiutati XIX sajandi keskel. Sel ajal laienes ja arenes tunduvalt toiduainetetööstus ja toiduainete kaubandus. Jahutamisest jää ning jää ja soola segu abil enam ei piisanud. Peale selle oli madalaid temperatuure vaja ka teistes tööstusharudes ja teaduslikel uurimistel.

Meie maal rajati külmutusmasinate tööstus esimeste viis-

aastakute perioodil. Praegu toodavad tehased uusimate konstruktsioonidega külmutusmasinaid, rahuldades paljude rahvamajandusharude vajadusi külmutusseadmete järele.

Suured külmutusmasinad teenindavad praegu paljusid tööstusharusid. Suurel hulgal toodetakse uusi automaatsete külmutusagregaatide tüüpe toiduainetekaupluste ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtete jaoks.

Külmutusmasinates toimub soojuse ülekanne külmemalt keskkonnalt soojemale.

Kuidas see siis toimub? Me teame ju, et loomulikult viisil kandub soojus üle ainult kõrgema temperatuuriga keskkonnalt madalama temperatuuriga keskkonnale.

Ilmneb, et kui viia külmutusmasinas läbi kinnine tööprotsess, milles toimub mehaanilise energia muundumine soojuseks, saab viimast üle anda külmemalt keskkonnalt soojemale. Külma tekitamine masinate abil on järelikult seotud energiakuluga.

Jahutamisel eemaldatava soojuse võtab vastu külmutusmasina töökeha, niinimetatud külmutusagent. Tema temperatuur peab olema madalam jahutatava keha temperatuurist. Seda saavutatakse vedeliku aurustumise (keemise) või kokkusurutud gaasi paisumise arvel. Madala temperatuuri juures eemaldatav soojus antakse seejärel kõrgemal temperatuuril edasi jahutavale keskkonnale — veele või õhule. Et teostada sellist üleandmist, tuleb, nagu juba mainisime, kulutada mehaanilist energiat. See energia muundub soojuseks ja antakse siis üle jahutavale keskkonnale.

Esimestes külmutusmasinates oli töökehaks õhk. Külma saadi nendes kokkusurutud gaasi paisumise arvel. Sellised gaasi-külmutusmasinad kulutasid aga palju energiat õhu kokkusurumiseks. Seepärast asendati nad varsti teiste masinatega, milles külma saadi mõnede lenduvate vedelike aurustumise arvel. Need on auru-külmutusmasinad, mida kasutatakse ka praegu.

Kuidas siis töötavad auru-külmutusmasinad? Missugune on nende ehitus?

## 2. AURU-KOMPRESSIOONKÜLMUTUSMASINAD

Nagu me juba rääkisime, saadakse auru-külmutusmasina-tes külma madalate aurustumistemperatuuridega külmutus-agentide aurustumise arvel. Külmutusagentidena kasutata-vad ained peavad olema inimorganismile kahjutud, ei tohi mõjuda sööbivalt metallidesse ning peavad olema tule- ja plahvatuskindlad. Peale selle peavad nad omama suurt aurustumissoojust ning agregaatoleku muutumisel tekkiva auru väikest eriruumala ja rõhku.

Suure ja keskmise tootlikkusega masinates kasutatakse külmutusagendina laialdaselt ammoniaaki ( $\text{NH}_3$ ). Tähtsat osa etendavad külmustehnikas külmutusagendid, mida nimetatakse freoonideks. Nad kujutavad endast fluori ja kloori orgaanilisi ühendeid. Freoonidest on leid-nud laialdast kasutust difluordikloormetaan ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ). See külmutusagent (lühendatult freoon-12) on lõhnata ja plah-vatuskindel.

Kui valada ettevaatlikult kolbi natuke vedelat freooni-12, hakkab ta ägedalt keema ja temas tekivad aurumullikesed. Termomeeter aga näitab seejuures umbes  $-30^\circ \text{C}$ . Kolvi külmal välisseinal võib näha õhus leiduva veeauru kondenseerumist ja jääks muutumist.

Et saada aru auru-kompressioonkülmutusmasina tööst, vaatleme tema skeemi (joon. 13). Nagu jooniselt näha, koosneb see masin aurustajast, kompressorist, kondensaa-torist ja reguleerimisventiilist. Kõik need masina peaosad on omavahel järjestikku ühendatud torustiku abil ning moodustavad kinnise süsteemi.

Missugused ülesanded siis on täita külmutusmasina pea-osadel ja mis nendes toimub?

Vedel külmutusagent aurustub aurustajas madala temperatuuri juures soojuse arvel, mida ta saab jahutata-vast keskkonnast, näiteks toiduainete hoiuruumi õhust.

Kompressor imeb külmutusagendi auru aurustajast välja ja samaaegselt surub teda kokku. Auru kokkusurumi-sel tõuseb tema temperatuur.

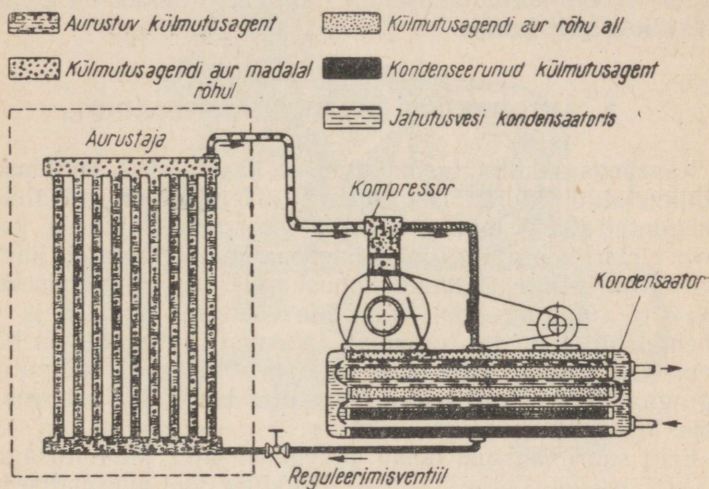
Kondensatoris jahutatakse (vee või õhu abil) kokkusurumisel soojenenud külmutusagendi auru. Aur veel-dub siin, jäädes rõhu alla.

Reguleerimisventiili abil lastakse aurustajasse voolata teatud hulk vedelat külmutusagenti, mis seal jahu-tatavast keskkonnast saadava soojuse mõjul aurustub. Ven-

tiili ava läbimisel alaneb külmutusagendi rõhk aurustajas valitseva rõhuni.

Külmutusmasina töö ei nõua külmutusagendi lisakulu. Külma saamiseks on vajalik ainult külmutusagendi tsirkulatsioon, mida teostab kompressor — selle masina kõige olulisem osa.

Kaasaegsetes auru-kompressioonmasinates kasutatakse kiirekäigulisi kompressoreid (kuni 1000 pöret minutis). Kompressoril on 2—4 silindrit, milles liiguvad edasi-tagasi



Joon. 13. Auru-kompressioonkylmutusmasina skeem.

kolvid. Nendesse silindritesse on paigutatud sisseimemis-klapid, mis automaatselt avavad aurule väljapääsu aurustajast, ja väljalaskeklapid, mis võimaldavad kokkusurutud aurule pääsu silindritest kondensaatorisse.

Käesoleval ajal kasutatakse veega jahutatavaid, tavaliselt niinimetatud katel-toru tüüpi kondensaatoreid. Neil on katelde kuju, mille auklike põhjade külge on kinnitatud katla sisemust läbivad torud. Vesi voolab torude sees, torude ja katla vahelises ruumis aga toimub külmutusagendi auru kondenseerumine.

Soojushulka, mida külmutusmasin võtab jahutatavast keskkonnast ühe tunni jooksul, nimetatakse tema võimsuseks ehk külmatootlikkuseks. Masina külmatootlikkus onoleb tema töötingimustest: aurustumis- ja konden-

seerumistemperatuuridest. Aurustumistemperatuuri lange-  
misel masina külmatootlikkus tunduvalt väheneb.

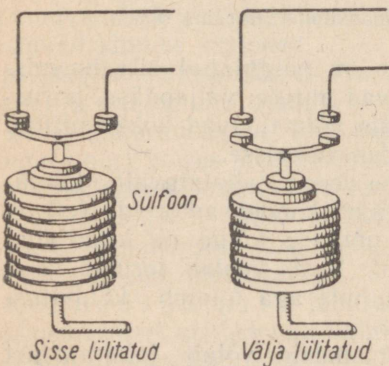
Ühte suurematest ammoniaagi-külmutusmasina tüüpidest  
valmistab Moskva tehas «Kompessor». Selle masina  
külmatootlikkus võrdub 1 700 000 kilokaloriga tunnis  
aurustumistemperatuuri juures  $-10^{\circ}$  C. Kui sellist masinat  
kasutada jää valmistamiseks, siis võib ta ööpäevas anda  
üle 300 tonni jääd.

Kõige väiksema, koduse elektrikülmutuskapi jaoks mää-  
ratud freooni-külmutusmasina külmatootlikkus on umbes  
100 kilokalorit tunnis.

### 3. AUTOMAATSED KÜLMUTUSAGREGAADID

Kaasaegses külmutusmajanduses kasutatakse laialdaselt  
niinimetatud külmutusagregaate. Nendes on tavaliselt  
ühendatud üheks tervikuks kompressor (selle juurde kuu-  
luva elektrimootoriga) ja kondensaator, mõningatel juhtu-  
del ka aurustaja (külmutuslahuse või vee jahutamiseks).  
Seetõttu võtab agregaat enda alla väiksema pindala ja ka  
ühendustorud on tal tunduvalt lühemad. Agregaaati on ker-  
gem teenindada. Peale selle pannakse väikesed külmutus-  
agregaadid täielikult kokku tehases ja laaditakse sealsamas  
kohe külmutusagendiga.

Eriti suurt tähtsust omab praegusel ajal külmutusagre-  
gaatide töö automatiseeri-

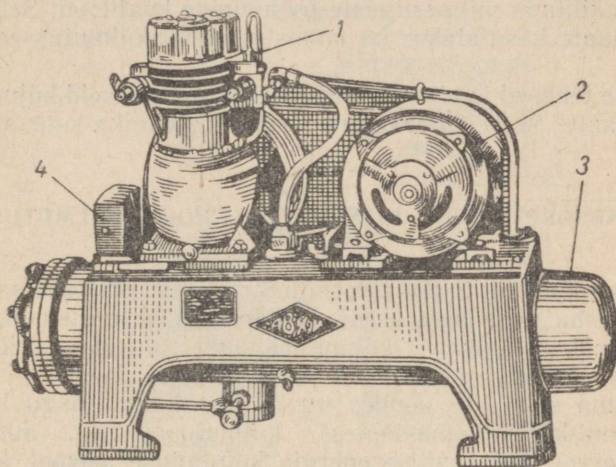


Joon. 14. Kompressori elektrimoo-  
tori sülfooni abil sisse ja välja  
lülitamise skeem.

mine. On juba loodud  
terve hulk automaatseid  
külmutusagregaate. Sellise  
agregaadi käikulaskmine,  
peatamine ja reguleeri-  
mine toimub automaatselt.  
Vedela freooni andmiseks  
aurustajasse on automaat-  
setel freooni-külmutusagre-  
gaatidel tavalise regulee-  
rimisventiili asemel termo-  
reguleerimisventiil, mis  
«jälgib» aurustajast ime-  
tava auru temperatuuri.  
Kuidas töötab see ventiil?  
Ventiili sees on niinime-

taitud sülfoonid. Need on õhukesest valgevast kinniste otsstega lõõtsakujulised torukesed. Rõhu muutumisel nendes venivad nad kergesti või tõmbuvad kokku. Auru temperatuuri tõusmisel aurustajas tõuseb ka tema rõhk. See rõhk kutsub esile sülfooni venimise. Sülfoonid on ühendatud ventiili mehhanismiga, mis reguleerib vedela freooni andmist.

Kambris või kapis säilitab soovitud temperatuuri teine riist — pressostaat. Temperatuuri tõusmisel kambris või



Joon. 15. Automaatne freooni-külmutusagregaat:

1 — kompressor, 2 — elektrimootor, 3 — kondensaator, 4 — pressostaat.

kapis tõuseb ka rõhk pressostaadi sülfoonis. Seejuures venib sülfoon ja ühendab kompressori elektrimootori lüliti kontaktid ning kompressor hakkab tööle. Selle tagajärjel alaneb jahutatava ruumi temperatuur nõutavale tasemele ja väheneb ka rõhk pressostaadi sülfoonis. Sülfoon tõmbub kokku, katkestab mootori voolu ja kompressor jääb seisma. Joonisel 14 on toodud kompressori elektrimootori sülfooni abil sisse ja välja lülitamise lihtsustatud skeem.

Automaatsetel külmutusagregaatidel on tavaliselt veel teatud «rõhuvalvur» — sülfooniga varustatud riist, mis paneb kompressori seisma, kui rõhk temas tõuseb ohtliku piirini.

Kaasaegsed automaatsed külmutusagregaadid ei vaja

seega alalist teenindavat personali. On küllaldane, kui kontrollida üks kord nädalas automaatide tööd.

Automaadid reguleerivad külmutusagregaadi tööd palju paremini kui kõige vilunum töötaja. Kui kambris või kapis tõuseb pisutki temperatuur, näiteks  $+6^{\circ}\text{C}$ -ni vajaliku  $+5^{\circ}\text{C}$  asemel, hakkab kohe tööle kompressor, mis alandab temperatuuri vajaliku tasemeni.

Automaatseid freooni-külmutusagregaate (joon. 15) kasutatakse laialdaselt kaubandusvõrgus. Nende abil saab hästi säilitada mitmesuguste toiduainete kvaliteeti. Selliseid automaate kasutatakse ka kodustes elektrikülmutusseadmetes.

Meie tehased toodavad massiliselt automaatseid külmutusagregaate. See on nõukogude külmutustehnika suur saavutus.

#### 4. ABSORPTSIOONI- JA AURUEZEKTSIOONI-KÜLMUTUSMASINAD

Absorptsiooni-külmutusmasinad on oma nimetuse saanud ühest oma peamisest osast, kus toimub absorptsioon, s. t. aurustajas tekkivate külmutusagendi aurude neelamine vedela või tahke absorbendi poolt.

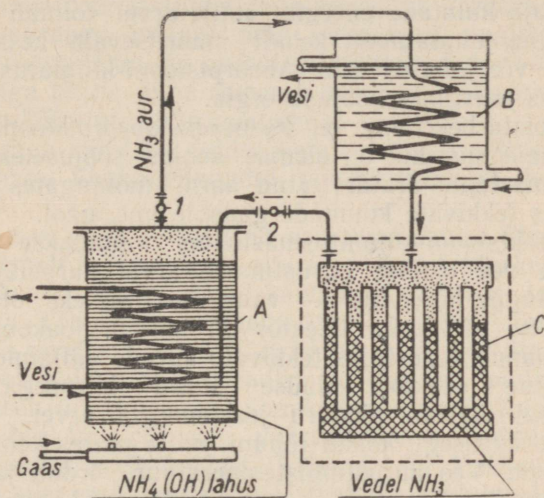
Külma saadakse nendes masinates samuti nagu kompressiooni-külmutusmasinates külmutusagendi aurustamise arvel. Mehaanilise energia kulutamise asemel kompressori tööks on aga absorptsiooni-külmutusmasinas vaja kulutada soojusenergiat, mille allikaks võib olla veeaur, kõrge temperatuuriga suitsugaasid jne.

Külmutusagendina kasutatakse absorptsiooni-külmutusmasinas tavaliselt ammoniaaki. Tema auru absorbeerib vesi, andes ammoniaagi vesilahuse. Teiste agentide ja absorbentide kasutamine ei ole siiani andnud positiivseid tulemusi.

Pärast ammoniaagiauru kondenseerumist kondensaatoris läbib vedel ammoniaak reguleerimisventiili ja seejärel aurustub aurustajas. Nendes absorptsiooni-külmutusmasina osades toimuvad samasugused protsessid nagu kompressiooni-külmutusmasinas.

Aurustajast suundub madala temperatuuriga ammoniaaur absorberisse, kus ta neeldub madala rõhu juures. Seejuures eralduv «neeldumissoojus» eemaldatakse lahusest veega jahutamise teel. Absorptsiooni tagajärjel lahuse

kontsentratsioon suureneb. Lahusepump pumpab saadud madala rõhuga kontsentreeritud lahuse absorberist välja ning surub ta niinimetatud generaator-keetjasse. Mehaanilise energia kulu pumpamiseks on nii väike, et praktiliselt võib seda mitte arvestada. Generaator-keetjas toimub tulise veeauru või mõne muu soojusallika soojuse arvel suhteliselt kõrge temperatuuri ja rõhu juures kangest lahusest ammoniaagi eraldamine auruna, mis suunatakse kondensaatorisse. Aurustamise tagajärjel muutub lahus lahjaks,



Joon. 16. Perioodiliselt töötava absorptsiooni-külmutusmasina skeem:

A — generaator-absorber, B — kondensaator, C — aurustaja.

läbib reguleerimisventiili ja suundub langenud rõhu juures absorberisse. Siin taastab ta uuesti oma kontsentratsiooni.

Absorptsiooni-külmutusmasinad ühendavad endas mitut soojusvahendusaparaati. Neil ei ole mingisuguseid liikuvaid osi, välja arvatud väike pump ammoniaagi vesilahuse jaoks.

Väikeste külmahulkade saamiseks kasutatakse perioodiliselt töötavaid absorptsiooni-külmutusmasinaid. Nad omavad generaatorit ja absorberit ühe ja sama aparaadina — generaator-absorberina (joon. 16).

Generaator-absorberi soojendamisel eraldub kangest

ammoniaagi vesilahusest ammoniaagiaur, mis suunatakse kondensaatorisse. Vedel ammoniaak koguneb aurustajasse. Sel ajal on ventiil 1 avatud, ventiil 2 suletud. Vedel ammoniaak aurustub aurustajas ja absorbeerub veega jahutatavas generaator-absorberis olevas lahjas ammoniaagilahuses. Seejuures on ventiil 1 suletud, ventiil 2 avatud.

Absorptsiooni-külmutusmasina puhul paneb alguses imestama see, et kulutades temas soojust, saadakse külma. Me teame aga juba, et külma saamiseks külmutusmasinates on vaja kulutada energiat, mille arvel toimub soojuse üleandmine jahutatavalt kehalt ümbritsevale keskkonnale — õhule või jahutusveele. Absorptsiooni-külmutusmasinas on selleks energiaks soojusenergia.

Eriti otstarbekohane on kasutada absorptsiooni-külmutusmasinaid siis, kui on olemas soojus soojuselektritsentraalide masinate äratarvitatud auru, mõningates keemiatööstustes tekkivate kuumade gaaside jms. näol.

Auruežektsiooni-külmutusmasinates saadakse külma tavaliselt vee osalise aurustumise arvel aurustajas, kus luuakse tugev hõrendus — vaakuum. Selleks otstarbeks kasutatakse ežektorit. Ežektor on imi-aurujoakompressor. Temas toimub aurustajas tekkivate aurude väljajätmise ja segunemine ežektori düüse suure kiirusega (kuni 1200 m/sek) läbiva tööauru joa energia arvel. Seejärel surutakse aurusegu kokku rõhuni, mille juures toimub kondensatsioon. Vee aurustumistemperatuur võrdub jahutatud vee temperatuuriga. See on auruežektsiooni-külmutusmasinate kasulik iseärasus.

Auruežektsiooni-külmutusmasinad jahutavad vett umbes +5° C-ni ja neid kasutatakse mõningates keemiatehastes. Neid kasutatakse ka «kunstliku kliima» loomiseks.

## IV. KÜLM SUVEKUUMUSES

### 1. KÜLM JA TOIDUAINED

Inimese toidus omavad suurt tähtsust sellised toiduained, nagu liha, kala, piim, või ja puuvili. Kui hoida neid toiduaineid soojas, siis lähevad nad ruttu rikki.

Mitmesuguste toiduainete vastupidavus säilitamisel on erinev ja oleneb nende keemilisest koostisest — vee, rasvade, valkude ja süsivesikute sisaldusest nendes. Toidu-

ainete riknemise peamiseks põhjuseks on mitmesuguste mikroorganismide — bakterite, hallitusseente — elutegevus, kes vajavad oma olemasoluks soojust ja niiskust.

Toiduainete säilitamiseks neid kuivatatakse, soolatakse, hapendatakse, suitsutatakse, marineeritakse, konserveeritakse jne.

Kõige paremini aga säilitab toiduaineid külm. Temperatuuri alanemine halvendab mikroorganismide eluks vajalikke tingimusi. Nende arenemine aeglustub või lõpeb üldse. Toiduainete kvaliteet jääb seejuures kõrgeks — nad ei kaota peaaegu midagi oma välimusest, maitsest ega toiteväärtusest. Puu- ja aedviljas säilitab külm vitamiine, mis on väga tähtis. Juba riknema hakanud toiduainete kvaliteeti aga külm muidugi taastada ei saa.

Külm aitab säilitada toiduainete kvaliteeti sellistes ettevõtetes, nagu lihakombinaadid, võitööstused ja kondiitri-  
vabrikud.

«Me ei saa oodata looduselt armuande; meie ülesandeks on neid temalt võtta.» Need suure looduse ümberkujundaja I. V. Mišurini targad sõnad käivad ka inimese toitlustamise kohta. Tõepoolest, peaaegu kõigil põhilistel toiduainetel on oma tarvitamishooaeg. Eriti suurel hulgal liha saame hilissügisel, kala pärast kevadist ja sügisest püüki, puuvilja sügisel jne. Peale selle tuuakse mõningaid toiduaineid kaugelt. Nii tuuakse eriti väärtuslikke kalasorte Kaug-Idast, puuvilja Kesk-Aasiast, Krimmist ja Kaukaasiast.

Kuidas siis saab inimene väärtuslikke toiduaineid aasta läbi ja missugust abi osutab talle selles külm?

## 2. KÜLMUTUSSEADMED TOIDUAINETE JAOKS

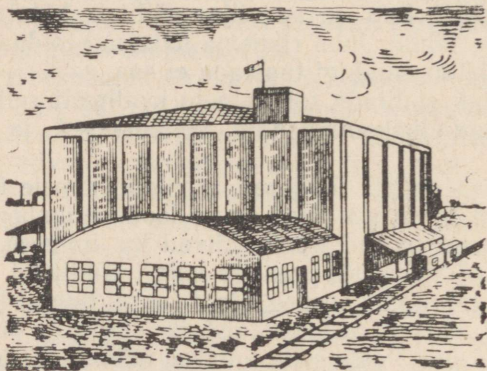
Mitmesuguste toiduainete jahutamiseks, külmutamiseks ja säilitamiseks kasutatakse spetsiaalseid ehitusi — külmutushooneid.

Toiduainete tootmise ja varumise rajoonides, näiteks Kasahstanis (liha), Kaspia mere rannikul (kala) ja Krimmis (puuvili) asuvad tootmis-varumis-külmutushooned. Toiduaineid siin kaua ei hoita, vaid saadetakse suurtesse jaotus-külmutushoonetesse, mis asuvad tarbimiskeskustes. Siin hoitakse toiduaineid tavaliselt mitmete kuude viisi külmutatud olekus ning vajaduse järgi suunatakse kaubandusvõrku. Toiduainetekauplustes ning ühiskondliku

toitlustamise ettevõtetes säilitatakse toiduaineid väikestes külmutusseadmetes — kambrites, kappides ja spetsiaalsetel lettidel.

Ülalloetletud külmutusseadmed on ühe «pideva külmutusahela» lülid, mis seovad toiduainete tootmise ja varumise rajoone nende tarbimise rajoonidega. Selle ahela viimaseks lüliks on kodused külmutusseadmed — automaatsed elektrikülmutuskapid või jääkapid.

Järelikult viibivad toiduained kogu nende säilitamise ja transportimise ajal külma mõju all.



Joon. 17. Suure jaotus-külmutushoone ja tema masinaruumi välisvaade.

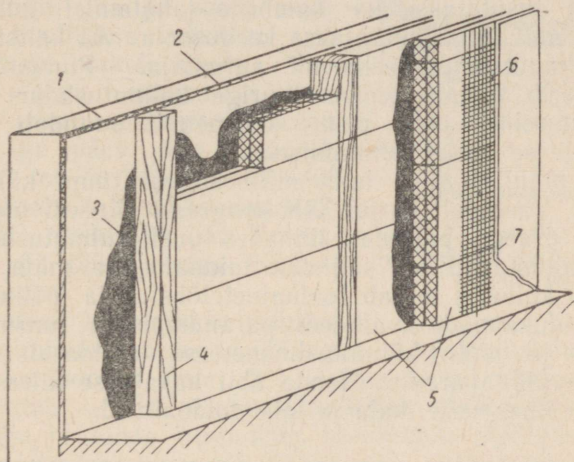
«Pidev külmutusahel» katkeb alles siis, kui ostja väljub toiduainetekauplusest ostuga, kuid ka siin võib kasutada meile juba tuttavat kuiva jääd.

Viime läbi ekskursiooni suurde jaotus-külmutushoonesse, mille kambritesse mahub rohkem kui 10 000 tonni mitmesuguseid toiduaineid (joon. 17). Juba kaugelt näeme tohutu suurt hoonet. Tema korruste arvu on väljast raske määrata, sest külmutushoone kambritel ei ole aknaid: need suurendaksid külma kadusid. Päikesekiirte peegeldamiseks on külmutushoone värvitud heleda värviga, mis samuti vähendab külma kadusid.

Külma säilitamiseks on külmutushoone kambrite seinad hästi isoleeritud kergete, poorsete, väikese soojujuhtivusega materjalide abil. Kõige täiuslikumaks isolatsioonimaterjaliks on korkplaadid. Kasutatakse ka Kaug-Idas kasvava

«amuuri korgipuu» koort. Laialdast kasutamist on leidnud turbaplaadid. Viimastel aastatel on hakatud edukalt kasutama uusi isolatsioonimaterjale: šlakkvatist valmistatud plaate, poorset klaasi (vahtklaasi) jt.

Isolatsioonimaterjali plaadid kinnitatakse külmutushoone seintele mitmes kihis kogupaksusega 120—200 mm. Plaadid liimitakse kohale nafta töötlemise jääkidest šaadava bituumeni abil: bituumen takistab veeauru tungimist külmutushoonesse ja kaitseb isolatsiooni niiskuse eest. Külmutus-



Joon. 18. Külmutushoone välisseina isolatsioon turbaplaatide abil:

1 — tellistest sein, 2 — krohv, 3 — bituumenikiht, 4 — puitliist,  
5 — turbaplaadid, 6 — traatvõrk, 7 — krohv.

hoone välisseinte isolatsioon turbaplaatide abil on näidatud joonisel 18.

Külmutushoone mõlema külgselina äärde on ehitatud platvormid. Üks nendest, mille juurde tuleb raudtee, on määratud toiduainete vastuvõtmiseks, teine nende väljaandmiseks kambritest. Selleks, et soe välisõhk ei satuks külmutushoone sisse, on tema sissekäikude juures esikud ehk vestibüülid tõstukitega toiduainete jaoks.

Külmutatud toiduained on külmutuskambrites laotud korrapärastesse riitadesse. Et külm õhk pääseks toiduainete juurde ka alt, on need riidad laotud varbadest alustele.

Kambrites kontrollitakse iga päev õhu temperatuuri ja

niiskust. Külmutatud toiduaineid säilitatakse kambrites temperatuuril  $-18^{\circ}\text{C}$ , jahutatud aineid aga temperatuuril  $0^{\circ}\text{C}$ . Teel sulanud toiduained külmutatakse uuesti  $-23^{\circ}\text{C}$  juures.

Madal temperatuur säilib kambrites tavaliselt ammoni-  
aagi aurustumise arvel seinte ääres ja lae all asuvates torupatareides. Vedelat ammoniaaki antakse patareidesse reguleerimisjaama kaudu külmutushoone masinaruumist. Ammoniaagiaur pumbatakse patareidest välja masinaruumis asuvate kompressorite abil.

Vahel kasutatakse ka kambrite jahutamist külmutuslahuste abil. Siis jahutatakse keedusoola- või kaltsiumklooriidi-külmutuslahust eelnevalt aurustajas. Pumpade abil tsirkuleerib madala temperatuuriga külmutuslahus kambrite patareides ning pisut soojenenult suundub tagasi aurustajasse uueks jahutamiseks.

Meie maal on suur hulk mitmesugust tüüpi külmutushooneid. Vastavalt partei XIX kongressi direktiividele ehitatakse praegu paljudes linnades uusi külmutushooneid, mis kindlustavad hea säilimise toiduainetele, mida elanikkonnale külluses annab toiduainetetööstus ja põllumajandus. Toidukaupade kvaliteedi parandamiseks juurutatakse tootmis- ja jaotus-külmutushoonetesse laialdaselt kiiresti külmutavaid aparate. Nende abil hakatakse kiiresti külmutama liha, linde, kala ja teisi toiduaineid.

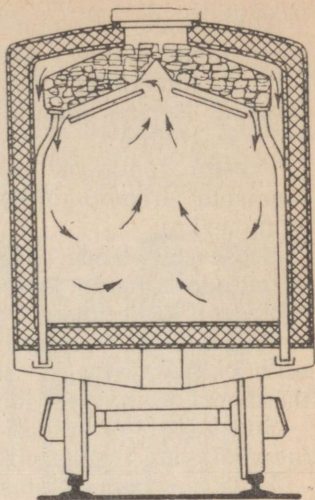
### 3. TOIDUAINETE TRANSPORT KÜLMUTUSSEADMETEGA

Toiduainete transport külma kasutamisel moodustab külmutustehnika eriharu, mida nimetatakse külmutustranspordiks. Sõltuvalt transporditeede liigist jaguneb ta raudtee-, auto-, vee- (mere- ja jõe-) ning õhutranspordiks.

Raudtee-külmutustransport omab meie maal väga suurt tähtsust, sest toiduaineid veetakse tihti väga kaugele ning vedu kestab kaua. Külmutatud kala näiteks jõuab Kaug-Idast Moskvasse 15—20 päevaga.

Toiduaineid transporditakse raudteel niinimetatud isothermilistes vagunites (tuletatud kreekakeelsest sõnadest «isos» — võrdne, sama — ja «therme» — soojus, kuumus). Sõltumata välisõhu temperatuuri kõikumisest valitseb nendes vagunites konstantne, küllalt madal, iga toiduaineliigi jaoks erinev temperatuur.

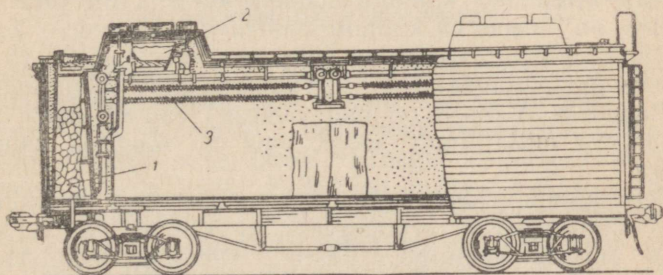
Isotermiliste vagunite põhitüübiks on jäävagunid. Jäävaguni kere on isoleeritud ja varustatud jahutusseadmetega. Käesoleval ajal kasutatakse jää ja soola segu jaoks määratud nišside asemel jäävaguni otstes paariti lae alla paigutatud paake (joon. 19). Jäävaguni jahutusseadmed mahutavad 5—6 tonni jää ja soola segu, mida laaditakse nendesse laes asetsevate luukide kaudu. Vastavalt segu sulamisele lisatakse jahutusseadmetesse peaaegu iga päev jääd ja soola. Selleks on teel iga 300—400 kilomeetri tagant jäävarustuspunktid loodusliku jää hoidlatega või jäätehastega (lõunarajoonides).



Joon. 19. Laeluste jahutusseadmetega varustatud jäävaguni skeem.

Raudteel kasutatakse edukalt ka Kleimjonovi süsteemi jäävaguneid külmutuslahuse autotsirkulatsiooniga (joon. 20). Temperatuur nendes vagunites ulatub  $-12^{\circ}\text{C}$ -ni. See kindlustab värskest külmutatud puuvilja ja teiste hinnaliste toiduainete säilimise nende transportimisel.

Viimasel ajal katsetatakse raudteel masinjahutusega isotermilisi vaguneid ja isegi terveid «külmi» ronge.



Joon. 20. Kleimjonovi süsteemi jäävagun külmutuslahuse autotsirkulatsiooniga:

1 — külmageneraator, 2 — külmutuslahuse kontsentraator, 3 — jahutuspatari.

Toiduainete toimetamiseks jaotus-külmutushoonetest või toiduainetebaasidest kaubandusettevõtete väikestesse külmutusseadmetesse kasutatakse spetsiaalseid külmutusautosid. Nendes jahutatakse toiduaineid jää ja soola segu või eutektikute ja kuiva jää abil.

Praegu töötavad konstruktorid külmutusautodes automaatsete freooni-külmutusagregaatide kasutamise probleemi kallal.

Seoses autoteede võrgu laiendamisega ning uute külmutusautode tüüpide loomisega suureneb lähematel aastatel tunduvalt toiduainete transport külmutusautode abil.

Toiduaineid transporditakse ka külmutuslaevadega. Peale selle külmutatakse ja säilitatakse spetsiaalselt sisustatud merelaevadel kaldast kaugel püütud kala.

Suurt tähtsust omab jõe-külmutustransport, sest meie laevatatavate jõgede pikkus on väga suur.

Mida kujutavad endast külmutuslaevad? Need on ujuvad külmutushooned kiiluruumi mahuga kuni 7000 kuupmeetrit. Nad on hästi isoleeritud välistemperatuuri mõjust. Isoleerimiseks kasutatakse tavaliselt kuni 250 millimeetri paksusi korkplaatide.

Hinnaliste toiduainete kiireks kohaletoimetamiseks kasutatakse lennukeid. Lennukitega transporditakse ka lilli, mesilasi ja kalamaime nende aretamiseks uutes rajoonides.

#### 4. ELEKTRIKÜLMUTUSSEADMED IGAPÄEVASES ELUS

Peale hiiglaslike külmutushoonete, millega me juba tutvusime, on olemas ka külmutusseadmed-kääbused — kodused elektrikülmutusseadmed, mis on määratud 5—15 kg mitmesuguste toiduainete ja valmisroogade lühiajaliseks säilitamiseks. Väliselt on nad väikesed valged kapid, mis võivad olla mitte ainult köögi, vaid ka söögitoa kaunistuseks.

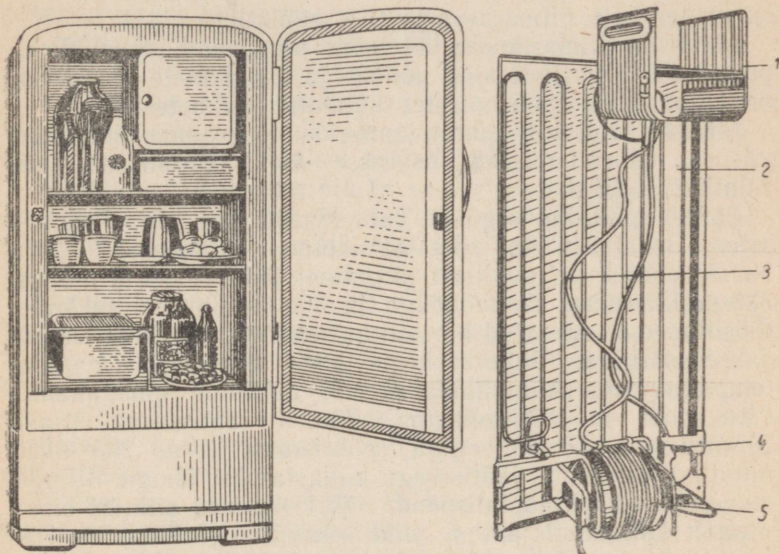
Elektrikülmutuskapi väline ja sisemine kest on valmistatud õhukestest terasplaatidest ja kaetud vastupidava valge portselanemailiga. Kestade vahel on isolatsioonikiht, mis koosneb tavaliselt taimse päritoluga kiududest, lehtalumiiniumist või kergest, kunstlikult saadavast poorsest materjalist, nn. «tahkest vahust».

Külmutuskapi sees on riiulid toiduainete jaoks. Kapi-

ülemises osas on aurustaja, milles aurustub külmutusagent — freoon-12.

Aurustaja keskmisse ossa on paigutatud väljavõetavad vannikesed, milles külmutatakse vett. Jääd saadakse mõne tunni möödumisel väikeste läbipaistvate kuubikeste näol.

Elektrikülmutuskapis asuvad samuti elektrimootoriga varustatud kompressor, õhkjahutusega kondensaator ja



Joon. 21. Elektrikülmutuskapp «ZIS-Moskva» ja automaatne freoonikülmutusagregaat:

1 — aurustaja, 2 — kondensaator, 3 — torustik, 4 — automaatikaseade, 5 — kompressor koos elektrimootoriga.

automaatikaseadmed. Temperatuur reguleeritakse elektrikülmutuskapis tavaliselt  $+2^{\circ}$  kuni  $+5^{\circ}$  C piiresse.

Enne sõda ei toodetud meie maal massiliselt külmutuskappe majapidamise jaoks. Praegu lastakse neid välja mitmete tehaste poolt. Eriti head on tehase «Gazoapparat» elektrikülmutuskapid (maht 45 liitrit) ning elektrikülmutuskapid «Saratov» (maht 85 liitrit) ja «ZIS-Moskva» (maht 165 liitrit). 1952. aastaga võrreldes suureneb 1955. aastal külmutuskappide tootmine 10 korda.

Elektrikülmutuskapid on ökonoomsed — nad nõuavad väikest elektrienergia kulu. Külmutuskapi «ZIS-Moskva»

(joon. 21) elektrienergia kulu näiteks moodustab sõltuvalt temas hoitavast temperatuurist ööpäevas umbes 1,5—2 kilovatt-tundi.

## 5. JÄÄTIS

Jäätis on väga väärtuslik toiduaine. Ta sisaldab palju rasva, valku, suhkrut ja vitamiine. Kooreplombiiris näiteks on umbes 15% piimarasva ja 15% suhkrut.

Jäätis on piima, koore või teiste piimasaaduste, suhkru, puuvilja või marjade ning maitse- ja lõhnaainete segu, mis on külmutatud spetsiaalsetes külmutusseadmetes.

Jäätise kvaliteedi parandamiseks ning tema sulamise kiiruse vähendamiseks lisatakse talle stabilisaatoreid: želatiini, tärklisi jt.

Pärast seda, kui segu on valmistatud ja esialgselt jahutatud, valatakse ta spetsiaalsetesse jäätisemasinatesse. Nende ehitus on tavaliselt järgmine: jäätisemasina umbes 330-millimeetrise läbimõõduga ja 800 millimeetri pikkune töösilinder on asetatud horisontaalselt ning on ümbritsetud jahutussärgiga. Jahutussärgis kas tsirkuleerib madala temperatuuriga külmutuslahus või aurustub ammoniaak. Ühel pool on jäätisemasina silindril lahtivõetav kaas. Silindri sees pöörleb segaja (pöörlemise kiirus 200 tiiru minutis), mille abil jäätise segu küllastatakse õhuga. Silindris asuvad ka kraapimisnoad, mis kraabivad silindri sise-pinnalt külmunud jäätist. Jäätisemasina peal on 50—70-liitrine paak vedela jäätise jaoks, mida perioodiliselt suunatakse silindrisse. Jäätis võetakse jäätisemasinast välja spetsiaalse ava kaudu. Vedel jäätise segu külmub sellises jäätisemasinas 10—15 minuti jooksul.

Praegu kasutatakse suure tootlikkusega pidevalt töötavaid jäätisemasinaid. Neil on 1—2 silindrit jahutussärkidega, milles aurustub ammoniaak. Kahesilindrilise jäätisemasina tootlikkus on 500 kg jäätist tunnis. Jäätis väljub jäätisemasinast painduva vooliku kaudu ja täidab vormid. Seejärel asetatakse jäätiseanumad või kastid brikett-, vahvel-, eskimo-, jt. jäätisega kambrisse temperatuuriga —25° C ja õhu tugeva tsirkulatsiooniga.

Jäätise tootmine on uus toiduainetetööstuse haru, mis on loodud viisaastakute jooksul. Jäätis on meil muutunud massiliseks produktiks, mida toodetakse terve aasta ringi nii meie maa lõuna- kui ka põhjarajoonides.

## V. KÜLM INIMESE TEENISTUSES

### 1. KÜLM TÖÖSTUSES

Külma kasutatakse mitte ainult toiduainetetööstuses ja toiduainete kaubanduses. Ta on hädatarvilik ka teistes tööstusharudes.

Vaatleme näiteks, kuidas kasutatakse külma keemiatööstuses ja terase töötlemisel.

Keemiatööstuses kasutatakse külma vedelate gaaside saamiseks. Külma abil lahutatakse koostisosadeks lahuseid, suurendatakse nende kontsentratsiooni jne. Külma on vajalik lõhkeainete, aniliinvärvide ja sünteetilise kautšuki tootmisel, parafiini eraldamisel naftast jne.

Mõningate keemiliste ainete saamiseks on vajalikud nii madalad temperatuurid, et neid ei ole võimalik saavutada tavaliste külmutusmasinate abil. Sellistel juhtudel kasutatakse meile juba tuttavat sügavjahutamist.

Sügavjahutamise abil võib mitte ainult saada vedelaid gaase, vaid ka lahutada nende segusid koostisosadeks. Selleks kasutatakse üksikute gaaside erinevaid keemistemperatuure. Näiteks hapnikku, mille keemistemperatuur on  $-183^{\circ}\text{C}$ , saadakse vedelast õhust selles sisalduva madalama keemistemperatuuriga ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) lämmastiku aurustamise teel.\*

Tähtsat osa etendab külm ka terase töötlemisel. Nagu teada, kujutab teras endast raua ja süsiniku (kuni 2%) sulamit. Tema struktuuri koostisosade hulka kuulub ka teatud hulk austeniiti ja martensiiti.

Austeniidi olemasolu karastatud terases halvendab viimase omadusi, mõjutades tema tugevust ja vastupanuvõimet kulumisele. Peale selle toimub austeniidi lagunemisel terastoodete mõõtmete teatav muutumine ja isegi toodete kõverdumine. Selle vältimiseks töödeldakse terast külмага, mis kutsub esile austeniidi muutumise martensiidiks.

Külmaga töötlemine on eriti vajalik nende terastoodete puhul, mis peavad säilitama mõõtmete suure täpsuse ja suure tugevuse, nagu näiteks kaliibrid ja šabloonid.

---

\* Gaaside segude lahutamise kohta madalatel temperatuuridel vt. lähemalt A. S. Fjodorovi populaar-teaduslikust brošüürist «Tuli-õhk» (Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1952).

Tähtsat osa etendab metallide töötlemise tööstuses terase spetsiaalne töötlemine külmaga, mis kutsub esile tema «kunstliku vananemise». Sellise töötlemise tagajärjel —70° C ja madalamate temperatuuride juures tõuseb instrumentide tugevus ja suureneb lõiketerade vastupidavus. «Kunstlik vananemine» on vajalik mõõteriistade, kujulõiketerade, freeside jt. valmistamiseks mineva terase puhul.

Peale kuiva jää ja denatureeritud piirituse segu kasutatakse terase töötlemiseks külma abil külmutusmasinaid ning vedelat lämmastikku. Terastooted viiakse jahutavasse keskkonda kohe pärast nende karastamist.

## 2. KÜLM LÄBIMISTÖÖDEL KAEVANDUSTES

Kaevanduste, tunnelite ja allmaaraudteede rajajaile tekitab suuri raskusi niinimetatud «vesiliiva» — veerikka pinnase — läbimine. Vesi koos vedelaks muutunud pinnasega ujutab kaevanduse üle ega anna võimalust tööde teostamiseks.

Võitluses «vesiliivaga» on suureks abiks külmutustehnika. «Vesiliiv» külmutatakse, muudetakse jääks, mida siis töödeldakse tavalisel viisil.

Esmakordselt hakati veerikaste pinnaste külmutamist kasutama Siberi kulla- ja plaatinatööstuses juba möödunud sajandi algul. Suurte pakaste ajal külmutati kaevandus läbi, siis tehti kaevanduse põhja lõkketuli, pinnas sulas ja tõsteti maapinnale. Sel viisil läbiti kaevanduskäike talve jooksul kuni 20 m sügavusele. Selline «vesiliiva» külmutamine ja tema läbimine talvel viis mõttele pinnase kunstlikust külmutamisest.

Veerikaste pinnaste külmutamist külmutusmasinate abil hakati meie maal kasutama aastatel 1928—1930 Solikamskis kaaliumikaevanduse rajamistööl. Külmutamist kasutati samuti Kuzbassi söekaevandustes. Pinnast on külmutatud ka mõnede hüdroelektrijaamade, dokkide, jm. ehitistel.

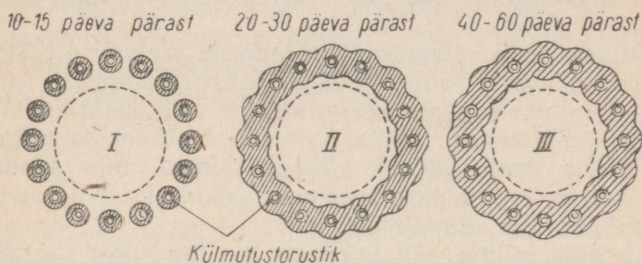
Eriti laialdaselt aga kasutati kunstlikku külma Moskva metroo ehitamisel. Paljude vertikaalsete šahtide ja eskaatorite (iseliikuvate treppide) kaldtunnelite läbimist teostati külma abil.

Kuidas siis tekib jäätöke, mis kaitseb šahti vee eest?

Selle tekitamiseks puuritakse umbes 1,5 m kaugusele

šahti kontuurist puuraugud. Puuraukude vaheline kaugus on umbes 1—2 m. Siis lastakse puuraukudesse niinimetatud külmutustorustik, mis koosneb kahekordsetest torudest — üks toru asub teise sees. Võimsate pumpade abil pumbatakse mööda sisemisi torusid kaltsiumkloriidi-külmutuslahust, mille temperatuur hoitakse külmutusmasinate abil  $-25^{\circ}\text{C}$  tasemel.

Külmutuslahuse tagasiliikumisel külmutustorustiku väliste ja sisemiste torude vahelises ruumis toimub veerikka pinnase külmumine torustiku ümber. Alguses toimub külmumine kiiresti, hiljem aeglasemalt. Umbes 15—20 päeva möödumisel ühineb torudepaari ümber moodustunud



Joon. 22. Veerikka pinnase külmumine šahtide läbimisel.

külmunud pinnase kiht naaber-torudepaari ümber oleva külmunud pinnase kihiga. Selle tulemusel tekib šahti ümber 1—2 kuu jooksul 2—3 meetri paksune külmunud pinnasest tõke.

Joonisel 22 on näidatud sellise külmunud pinnasest tõkke tekkimine.

Moskva metrood ehitati väga rasketes tingimustes. Kohati esines kuni 16 meetri paksusi veerikka pinnase kihte. Meie pealinna all on palju väikesi maa-aluseid jõgesid, mis olid väga tõrksad ja mille taltsutamine tekitas metroo ehitajatele palju raskusi. Kõik need raskused aga ületati edukalt. Võitsid nõukogude insenerid ja töölised, kes olid täiuslikult omandanud keerukate allmaatööde tehnika. Suuri teeneid omab selles võidus külm: ta kõrvaldas pinnasevete surve ja muutis «vesiliiva» šahtide ja kaldtunnelite ümbruses tugevateks jäätõketeks.

Külma kasutamise ulatuse poolest allmaatööl, kaevanduste läbimisel, tunnelite rajamisel ja mujal kuulub esikoht meie kodumaale.

### 3. KÜLM JA TEADUSLIKUD UURIMISED

Paljud teadusliku uurimise instituudid ja laboratooriumid vajavad külma materjalide omaduste uurimiseks madalate temperatuuride tingimustes. Uuritakse näiteks seda, misugused omadused on metallidel ja kummil Arktika või stratosfääri tingimustes: kas nad säilitavad seal küllaldase tugevuse või muutuvad hapraks.

Suurt tähtsust omab võitlus mulla struktuuri hävinemisega vee, tuule jne. mõjul vahelduvate temperatuuride ja muutuva õhuniiskuse tingimustes. Neid nähtusi on muidugi kergem uurida spetsiaalsetes laboratooriumides kui looduslikes tingimustes. Ka siin tuleb teadusele appi kunstlik külm.

Võitluses uute külmakindlate taimede aretamise eest, mis võiksid kasvada kaugel põhjas, abistab inimest samuti kunstlik külm. Külmakindlate taimede valikuks alandatakse selektsioonijaamades pärast taimede teatavat karastamist kunstlikult temperatuuri. Need taimed, mis suudavad seda taluda, eraldatakse seemnete saamiseks. Nii saadakse aegamööda uus külmakindel sort.

Kunstliku külma abil uuritakse ka anabioosi — mõningate elusorganismide viibimist elu ja surma piiril nende temperatuuri alanemisel alla  $0^{\circ}\text{C}$ . Seda nähtust saab kasutada eluskala transportimiseks külmutatud olekus, mesilaste külmutamiseks talveks jne.

Külmalaboratooriumides uuritakse, kuidas töötab automootor madalate temperatuuride juures, kuidas saab teda käivitada, kuidas toimub tema õlitamine, missuguseid häireid võib esineda mootori töös jm. Kunstlik külm aitab uurida lennukimootorite tööd madala temperatuuri ja hõrendatud õhu tingimustes.

Suurt tähtsust omab ainete oleku uurimine absoluutsele nullile lähedastel temperatuuridel. On selgunud, et mõnel ainetel esineb nende temperatuuride juures imestusväärseid omadusi, nagu ülijuhtivus, ülivoolavus jt.

Metallide omaduste uurimine madalate temperatuuride juures algas pärast seda, kui teadlased said vedelat heeliumi ja saavutasid tema väga madala temperatuuri — umbes  $-269^{\circ}\text{C}$  ehk umbes  $4^{\circ}\text{K}$  (K — Kelvini absoluutne temperatuuride skaala). Juba esimesed uurimised näitasid metallide täiesti uusi omadusi: nad ei avaldanud elektrivoolule takistust, metallist elektrijuhi ümber puudus magnetiväli jne.

Ülijuhtide erakordseid omadusi saab kasutada väga suure tundlikkusega elektrimõõteriistades. Metallide ülijuhtivuse nähtuse laialdast kasutamist takistab aga esialgu see, et madalate temperatuuride saamise viisid ei ole veel küllalt lihtsad ega odavad.

Vedelike ülivoolavuse nähtus seisab selles, et väga madalate temperatuuride juures neil puudub viskoossus. Nad läbivad vabalt ka kõige väiksemaid avasid. See ebatavaline nähtus avastati vedela heeliumi puhul, mille temperatuur oli alla  $2,19^{\circ}$  K.

Madalate temperatuuride füüsika on noor teadus, kuid nõukogude teadlased on ka sel alal lühikese aja jooksul võitnud juhtiva koha. Ainete uurimine absoluutsele nullile lähedaste temperatuuride juures annab võimaluse sügavalt tunda õppida nende ehitust ning aatomite ja molekulide nähtamatut maailma.

#### 4. «KUNSTLIK KLIIMA»

Teadusega relvastatud inimene oskab oma soovi kohaselt «teha ilma» ja loob ruumides temale vajaliku «kunstliku kliima». Selles abistavad teda soojendusseadmed ja külmutusmasinad, mille abil ta loob endale paremaid temperatuuri- ja niiskuse tingimusi ehk, nagu öeldakse, õhu konditsioone mitmesugustes ruumides.

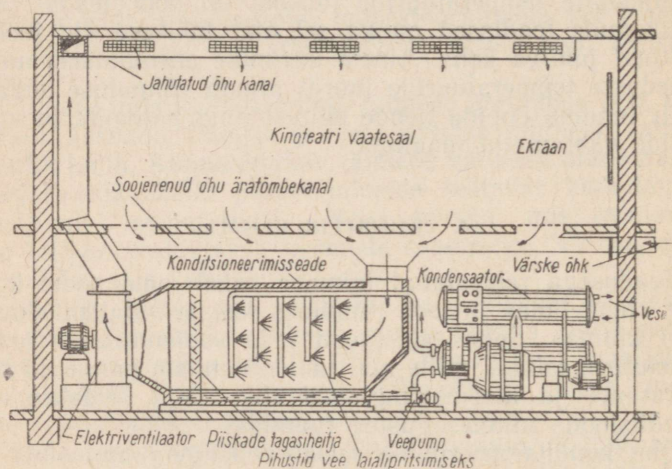
Õhu konditsioneerimine seisab eelkõige ruumi õhus inimesele sobivaima temperatuuri- ja niiskuse režiimi säilitamises.

Inimeste enesetundele avaldab suurt mõju õhu temperatuuri ja niiskuse vahetamine konditsioneeritavas ruumis: mida kõrgem on õhu temperatuur, seda madalam peab olema tema relatiivne niiskus. Kui näiteks õhu temperatuur on väljas  $+40^{\circ}$  C ja ruumis  $+30^{\circ}$  C, siis on soovitatav õhu niiskus 45 protsenti. Õhu temperatuuri korral väljas  $+30^{\circ}$  C ja ruumis  $+23^{\circ}$  C peaks õhu niiskus olema umbes 55 protsenti.

Õhu konditsioneerimist teostatakse teatrites, kinodes, raamatukogudes, klubides ning eluhoonetes. Reas tööstusharudes konditsioneeritakse õhku tehnoloogiliste protsesside soodustamiseks ja toodangu kvaliteedi parandamiseks. Toome näiteid.

Moskvas on loodud «kunstlik kliima» kinoteatris «Met-

ropol». Hoone keldrisse on paigutatud külmutusmasinad, mis jahutavad vett kuni  $+8^{\circ}\text{C}$ . Külm vesi pumbatakse õhujahutaja-konditsioneerimisseadme kambrisse ja pritsitakse seal pihustite abil laiali. Võimas ventilaator puhub nendest pritsmetest läbi õhku, mis jahtub seejuures umbes  $+17^{\circ}\text{C}$ -ni ja surutakse siis kanaleid mööda vaatesaali. Vaevalt märgatavate võrede kaudu survekanalis langevad saalis istujatele jahutatud õhu värskendavad joad. Ruumis umbes  $25^{\circ}\text{C}$ -ni soojenenud õhk imetakse välja põranda juurest, et mitte üles tõsta tolmu. Sellele õhule lisatakse



Joon. 23. Jahutusseade õhu konditsioneerimiseks kinoteatri vaatesaalis.

värsket, ta jahutatakse uuesti ja suunatakse jälle vaatesaali (joon. 23).

Lähemas tulevikus hakkavad kinode ja teatrite külastajad hingama lille- või männilõhnaga küllastatud õhku.

Väga suurt tähtsust omab «kunstlik kliima» raamatukogudes ja raamatuhoidlates. Konstantne temperatuur ja küllaldaselt kuiv õhk on vajalikud mitte ainult nende asutuste külastajate ja töötajate hea enesetunde loomiseks, vaid ka väärtuslike käsikirjade ja raamatute säilitamiseks. Lenini-nimelises raamatukogus Moskvas ehitatakse suurt külmutusseadet õhu konditsioneerimiseks lugemissaalides ja mõnedes raamatuhoidlates.

Tähtis on õhu konditsioneerimine ka raudteevagunites.

Automaatsed külmutusagregaadid paigutatakse vagunite alla. Ventilaator surub jahutatud ja tolmust puhastatud õhku kanaleid mööda vagunite kupeedesse. Mõnedes rongides juba kasutatakse õhu konditsioneerimist, mis vabastab reisijaid palavast, umbsest õhust, tolmust ja tahmast.

«Kunstlikku kliimat» kasutatakse mõnedes haiglates. Kliimaatilistes palatites luuakse haigete edukaks ravimiseks sobivaimad õhutemperatuuri ja -niiskuse tingimused, mis vastavad arsti ettekirjutustele.

«Kunstlik kliima» on vajalik ka lendurite treeninguks maal. Selleks otstarbeks kasutatakse tugevat metallist kambrit, niinimetatud barokambrit, mis kujutab endast tihedalt suletava kaanega ja väljastpoolt hästi isoleeritud silindrit. Temas muudetakse mitte ainult õhu temperatuuri, vaid luuakse ka madalam rõhk, mis vastab antud lennukõrgusele.

Suurt tähtsust omab õhu konditsioneerimine koduses majapidamises. Meie maa kuumades rajoonides on toaõhu jahutamine inimese hea enesetunde loomiseks niisama tähtis nagu külmades rajoonides kütmine.

Suur on õhu tööstusliku konditsioneerimise osatähtsus. Konditsioneerimine on kohustuslik masinaehitustehaste suure täpsusega detailide kaliibrimise osakondades. Tehase tehnilise kontrolli osakond peab selliseid detaile kontrollima kindla temperatuuri juures, sest vastasel korral võib juhtuda, et jahedal hommikul täiesti kõlblik detail võib soojuspaisumise tõttu osutuda praagiks palaval keskpäeval.

Keemiatööstuses on «kunstlik kliima» eriti vajalik lõhkeainete tootmisel. Tekstiilitööstuses, kus peente kedruste tootmiseks on vajalik niiske õhk, ei saa samuti läbi ilma õhu konditsioneerimiseta.

Ka polügraafiatööstuses on vajalikud jahedad tootmisruumid, sest kõrge õhutemperatuuri puhul muutuvad trükkimisvaltsid veidi pehmemaks ja trüki selgus kannatab. Peale selle muutub sõltuvalt niiskusesisaldusest paberi suurus ja venimisvõime. Seepärast kutsuvad ka õhuniiskuse kõikumised esile trüki kvaliteedi halvenemise.

Eriti tähtis on «kunstliku kliima» kasutamine toiduainetööstuses: leivatehastes taigna kerkimise reguleerimiseks ning mõnede kompvekisortide valmistamisel nende kokkukleepumise vältimiseks. Õhu konditsioneerimine on vajalik lihakombinaatide vorstitsehides, õlletehaste käärimis- ja linnaseruumides jne.

«Kunstlik kliima» on samuti vajalik siidiussikasvatuses — eelkõige siidiliblikate munade alalhoidmiseks talvel. Kevadel kasutatakse õhu konditsioneerimist siidiusside munadest väljumise reguleerimiseks. Mõnikord on vaja pidurada munadest väljumist kuni lehtede ilmumiseni mooruspuudel, millest ussid toituvad.

«Kunstlikku kliimat» kasutatakse ka lillede kasvatamisel. Näiteks sireliõite, maikellukeste ja muude lillede saamiseks mistahes aastaajal hoitakse nende võrseid temperatuuril  $-2^{\circ}$  C, millega luuakse kunstlikult talv. Umbes 3—4 nädalat enne soovitatavat õitsemist asetatakse taimed sooja. Saabub nagu kevad ja lilled hakkavad õitsema.

Me näeme, et inimene reguleerib õhu temperatuuri ja niiskust kinnistes ruumides rahvamajanduse mitmesugustes harudes, kuid ta ei suuda veel oma soovi kohaselt muuta tervete rajoonide kliimat. Tulevikus kasutab inimene tõenäoliselt ära Arktika külma ja troopika-alade palavuse ning loob õhu konditsioneerimise abil meeldiva ja tervisliku kliima kogu maakeral.

## 5. KÜTMINE KÜLMA ABIL

Kas on võimalik külma abil eluhooneid kütta? Kas saab külma muuta soojuseks?

Esimesel pilgul te vastate nendele küsimustele eitavalt, kuid tegelikult juba kasutatakse kütmist külmutusmasinate abil. Veel enam — külmutusmasinaid kasutades võib saada kuuma vett vannide, köökide jms. jaoks. Talvel näiteks on nende abil väga kerge soojendada vett ujumisbasseinides.

Külmutusmasinat võib vaadelda kui soojuspumpa, mis pumpab soojust jahutatavast keskkonnast aurustajas kondensaatorisse. Kondensaatorisse läheb seejuures soojus, mis on kulutatud tööna auru kokkusurumiseks.

Joonisel 24 on toodud soojuspumbana töötava külmutusmasina töö skeem.

Jahutatavalt keskkonnalt ära võetav soojushulk on praktiliselt umbes kolm korda suurem kompressori tööks vajalikust soojusest. Seega saab jahutusvesi kondensaatoris mitu korda rohkem soojust, kui teda kulutati kompressori tööks.

Kust siis tuleb see soojus? See tuleb jahutatavast kesk-

konnast, milleks võib olla vesi lähemast veekogust või isegi külm välisõhk.

Seega külmutusmasina töötamisel talvel kütmise otstarbel antakse jahutatavalt keskkonnalt võetav soojus koos kompressori töötamisel tekkiva soojusega üle kondensaatoris olevale veele. Kondensaatoris soojenenud vesi suunatakse seejärel pumba abil kütteradiaatoritesse.

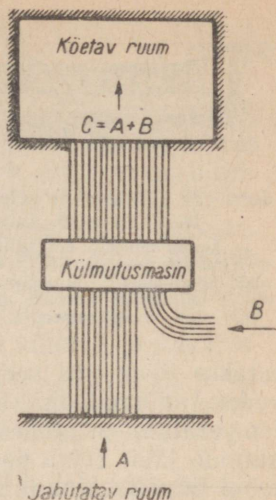
Kondensaatoris olevale veele suhteliselt kõrge temperatuuri andmiseks on vajalik külmutusagendi auru kõrge kondensatsioonitemperatuur (mitte alla  $70^{\circ}\text{C}$ ). Auru rõhk on seejuures palju suurem kui külmutusmasina tavalise töö korral. Seepärast tuleb peale vastava konstruktsiooniga kompressori kasutada kondensaatori jaoks tugevamat torustikku. On soovitatav kasutada ka uusi freonkylmutusagente, mille auru rõhk on kõrgete kondensatsioonitemperatuuride juures suhteliselt madal.

Kylmutusmasinate rakendamine veesoojendajatena ning kondensaatoris soojenenud vee kasutamine kütmiseks avab ahvatlevaid perspektiive kommunaalmajandusele.

Tulevikus jahutavad uute hoonete keldrites asuvad kylmutusseadmed toiduainetekaupluste ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtete toiduainetekambreid ning suvel ka asutuste ja korterite õhku. Talvel aga hakkavad need kylmutusseadmed soojendama vett kütmise otstarbeks. Kaob vajadus veesoojenduskatelde järele, jääb ära kütuse vedu, mis koormab transporti ning reostab söetolmuga linnade tänavaid ja õhku.

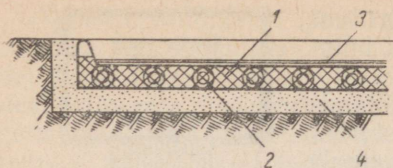
## 6. LIUVÄLJAD SUVEL

Kevade saabumisel tuleb kuni talveni loobuda uisuspordist. Kylmutustehnika arenemisega aga muutub täiesti võimalikuks uisutamine ja hokimäng suvel ning seda isegi



Joon. 24. Kylmutusmasina abil kütmise skeem:

$A$  — jahutatavalt keskkonnalt võetav soojus,  $B$  — kompressori tööga ekvivalentne soojus,  $C$  — kōetavale ruumile antav soojus.



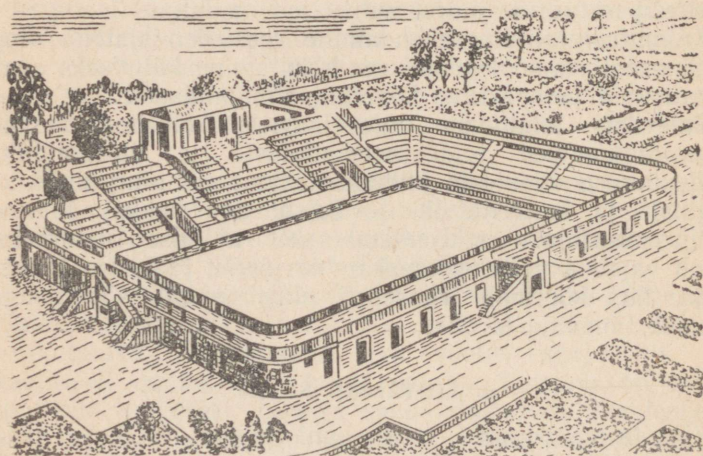
Joon. 25. S. L. Gimpelevitši süsteemi kunstlik liiväli:

1 — kaaliumkloriidi eutektilise lahusega täidetud õõnsad plaadid, 2 — ribipatareid ammoniaagi aurustamiseks, 3 — 20–40 millimeetri paksune jääkiht, 4 — isolatsioon.

seal, kus tõelist pakas- tega talve ei ole.

Kunstlikke liivälju saab ehitada nii suurtes kinnistes ruumides kui ka vabas õhus. Tavaliselt ehitatakse suviseid liivälju järgmisel viisil. Isoleeritud veekindlale alusele asetatakse puitprussid ja nende torud. Torudevahelisse ruumi ja torude peale puistatakse liiva, mis seejärel tihendatakse. Torudes aurustub vedel ammoniaak või tsirkuleerib külmutuslahus, mille temperatuur on umbes  $-10^{\circ}\text{C}$ . Selle tagajärjel «liivasäng» külmub läbi. Tema peale valatakse siis vett, mis moodustabki liivälja pinnal umbes 25 millimeetri paksuse jääkihi. Sellisel liiväljal on aga suur puudus — tema pind on kergelt laineline.

1951. aastal avati Moskvas Dzeržinski rajooni lastepargis väike liiväli iluuisutajate treeninguks. Selle liivälja konstruktsioon kuulub Üleliidulise Külmutustööstuse Teadusliku Uurimise Instituudi teaduslikule töötajale S. L. Gimpelevitšile. Liivälja suurus oli  $12 \times 10$  meetrit,



Joon. 26. Suvise jäästaadioni üldvaade (projekt).

s. o. 120 ruutmeetrit. Kogenud meistersportlaste arvates oli jää kvaliteet ja liuvälja pind väga hea.

Kuidas on ehitatud selline liuväli?

Uus liuvälja konstruktsioon (joon. 25) koosneb 15 meetri pikkustest seest õõnsatest plaatidest, mille laius on umbes 1 meeter ja kõrgus umbes 80 millimeetrit. Plaadid on täidetud kaaliumkloriidi eutektilise lahusega. Plaatide sisse, lahusesse on asetatud ribipatareid ammoniaagi aurustamiseks. Ammoniaagi aurustumise tagajärjel lahus külmub ja muutub eutektiliseks jääks kindla sulamistemperatuuriga  $-11,1^{\circ}$  C. Metallplaatide lamedale pinnale 20—40 millimeetri paksuse kihina valatud vesi külmub ja moodustab liuvälja pinna.

Suur külma tagavara plaatides võimaldab liuvälja kasutada isegi tunduvate vaheaegade puhul külmutusseadme kompressorite töös.

Joonisel 26 on toodud suure, 6000 pealtvaatajale määratud jäästaadioni projekt (liuvälja suurus  $60 \times 30$  meetrit).

Kunstlikke liuvälju saab ehitada ka teistes meie maa lõunaosa linnades. Suvel võivad nende liuväljade külmutusseadmed toota jääd või jahutada toiduainete ladusid.

## LÖPPSÖNA

Teadmiste ja kogemustega relvastatud inimene võitis külma suhteliselt hiljuti, umbes sada aastat tagasi, kuid muutused, mida külm on toonud toiduainetetööstusse ja teistesse oma kasutusalaadesse, on väga suured. Nagu teaduslike uurimiste, nii ka mitmekesise praktilise tegevuse alal leidis inimene endale külmas ustava ja kindla abilise.

Nii looduslikku kui ka kunstlikku külma kasutava kaas-aegse külmutustehnika saavutused annavad tunnistust inimese loova geniuse suurest võidust loodusjõudude alistamisel.



## SISUKORD

Sissejuhatus . . . . .	3
I. Külma olemus . . . . .	4
1. Mis on külm? . . . . .	4
2. Külma saamise viisid . . . . .	9
II. Külm jääst . . . . .	13
1. Looduslik jää veest . . . . .	13
2. «Külmataadi paleed» . . . . .	16
3. Kunstlik jää veest ja lahustest . . . . .	19
4. Jahutamine külmutuslahuste abil . . . . .	21
5. Kuiv jää . . . . .	23
III. Külmutusmasinad . . . . .	24
1. Talve «võistlejad» . . . . .	24
2. Auru-kompressioonkülmutusmasinad . . . . .	26
3. Automaatsed külmutusagregaadid . . . . .	28
4. Absorptsiooni- ja auruežektsiooni-külmutusmasinad . . . . .	30
IV. Külm suvekuumuses . . . . .	32
1. Külm ja toiduained . . . . .	32
2. Külmutusseadmed toiduainete jaoks . . . . .	33
3. Toiduainete transport külmutusseadmetega . . . . .	36
4. Elektrikülmutusseadmed igapäevases elus . . . . .	38
5. Jäätis . . . . .	40
V. Külm inimese teenistuses . . . . .	41
1. Külm tööstuses . . . . .	41
2. Külm läbimistöödel kaevandustes . . . . .	42
3. Külm ja teaduslikud uurimised . . . . .	44
4. «Kunstlik kliima» . . . . .	45
5. Kütmine külma abil . . . . .	48
6. Liuväljad suvel . . . . .	49
Lõppsõna . . . . .	51

Проф. Н. С. Комаров  
ИСКУССТВЕННЫЙ ХОЛОД

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство  
Таллин, Пярну маантеэ 10

\*

Toimetaja R. Toming  
Tehniline toimetaja L. Uuspõld  
Korrektoirid L. Goldberg ja E. Kask

Ladumisele antud 3. X 1955. Trükkimisele antud 2. XI 1955. Paber 54×84, 1/16. Trüki-  
poognaid 3,25. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 2,66. Arvutuspoognaid  
2,83. Trükiarv 5000. MB-18230. Tellimise nr. 2028.

Trükikoda Pioneer, Tartu, Kastani 38.

Hind 85 kop.

85 kop.

A

16558

30043

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00497851 8