

J. ARPAI

Biologické látky, najcennejšie zložky potravín, vyznačujú sa obyčajne nestálosťou, t. j. podliehajú rozkladu, čím sa znehodnocujú. Skaza biologického materiálu prebieha cestou chemických reakcií, ktoré sú prevažne enzymaticky katalyzované (1). Preto je základnou úlohou konzervácie zabrániť činnosti enzýmov, ktoré sa buď nachádzajú v biologickom materiáli ako jeho prirodzená zložka, alebo sa dostávajú s kontaminujúcou mikroflórou (2). Inaktívacia enzýmov je v zásade možná:

1. denaturačným zásahom do ich bielkovinového komponentu, napríklad vyššou teplotou, chemickými činidlami alebo ionizujúcim žiarením,

2. odňatím vody, t. j. vysušovaním,

3. hlbokými teplotami.

Prvý spôsob, hoci sa používa najčastejšie, je nevhodný v prípadoch, kde ide o zachovanie citlivých bielkovinových látok, resp. takých, ktoré sú viazané na bielkovinové frakcie. Druhý a tretí spôsob, i keď je už podstatne šetrnejší, sám osebe ešte nezaručuje zachovanie prirodzeného stavu bielkoviny, lebo tak pri zmrazovaní ako aj pri sušení vznikajú procesy, ktoré bielkoviny poškodzujú. Pri zmrazovaní (3) je to najmä:

Zväčšenie objemu, ktoré sprevádza prechod vody z tekutého skupenstva do pevného. Je to 9 %. Na základe rozpínavosti vody pri zmrazení sa trhajú skaly, vodovodné potrubia a, samozrejme, aj bunkové alebo molekulové zoskupenie materiálu. Toto 9 % rozpínanie však nenastane, keď voda zmrzne tak rýchle, že molekuly vody nemajú čas na mriežkovité zoskupenie do kryštálov, ale zostávajú neusporiadané každá na svojom pôvodnom mieste. V takom prípade hovoríme o vitrifikácii alebo tvorbe amorfného ľadu. I keď sa nepodarí dosiahnuť dokonalú vitrifikáciu vody, čo by vyžadovalo extrémne rýchle zmrazovanie, pri ktorom teplota klesne asi o 100 °C za sek., predsa len platí, že pri čím nižšej teplote sa zmrazuje, tým je celková rozpínavosť vody menšia ako 9 %, a tak aj stupeň mechanického poškodenia je primerane menší.

Tvorba a rast ľadových kryštálov, prebiehajúci cez kryštalizačné zárodky, ktoré pozostávajú z istého množstva molekúl vody nachádza-

júcich sa už v mriežkovitom zoskupení, závisí opäť len od teploty. Čím je teplota nižšia, tým viac kryštalizačných zárodkov sa vytvorí za časovú jednotku, a tak aj viac kryštálov. Drobné kryštály, ktoré vznikajú za týchto podmienok, mechanicky nepoškodia steny priľahlých štruktúr, t. j. buniek alebo bielkovín.

Oddelenie, resp. vymrazenie rozpustných látok, spočíva v tom, že pri teplotách ležiacich mimo tzv. eutektického bodu vykryštalizuje len číra voda a popri nej sa zvyšuje koncentrácia soľných roztokov. Takéto zahusťovanie tekutín obsiahnutých v biologickom materiáli môže spôsobiť jeho poškodenie chemickou cestou vo forme akejsi autointoxikácie.

Osmotické efekty, ktoré vznikajú tým, že rastúce kryštály nasávajú cez membránu vlhkosť zo svojho okolia (vzťahuje sa to teda predovšetkým na bunkový materiál). Týmto nastávajú zmeny vo vnútrobunkovom tlaku, ktoré v súčinnosti s predchádzajúcimi procesmi vedú k preskupeniu koloidných častíc formou agregácie a dezagregácie proteínov.

Ešte oveľa deštruktívnejšie vplýva na citlivý biologický materiál sušenie pri vyšších teplotách, ktoré vyvoláva najčastejšie nezvratné zmeny na bielkovinách a tým stratu ich špecifických vlastností. Aj bez podrobnejšieho opisu mechanizmu povrchove aktívnych síl, ktoré spôsobujú koaguláciu, je zrejmé, že materiál vysušený bežným spôsobom nemôže už v plnom rozsahu späť viazať stratenú vodu, t. j. napučiavať a tak opäť nadobudnúť tie isté vlastnosti, aké mal pred dehydratáciou (4).

Zistilo sa, že uvedeným nepriaznivým následkom odňatia vody sa možno vyhnúť vysušovaním za mrazu, resp. metódou, pri ktorej sa odstraňuje voda zo zmrazeného materiálu sublimáciou vo vákuu. Na základe toho sa nazýva táto konzervačná metóda mrazovou sublimáciou alebo tiež lyofilizáciou (5).

Z prísne fyzikálneho hľadiska sa kvalitatívne nič nemení, ak sa pri vysušovaní zvolí teplota, ktorá leží pod bodom mrazu vody (6). Zo závislosti skupenského stavu vody od tlaku a teploty prostredia vyplýva, že v takomto prípade namiesto pri sušení obvyklého prechodu vody z tekutej fázy na plynnú nastáva priamy prechod do plynnej fázy, t. j. sublimácia ľadu. Tak sa sušenie mení na lyofilizáciu. Má to výhody zásadného významu. Hlboké teploty počas dehydratácie zabraňujú v prevažnej miere tým procesom, ktoré prebiehajú v kritických fázach odňatia vody, najmä škodlivým následkom zahusťovania soľných roztokov. Predovšetkým sa to prejavuje priaznivo pri vysušovaní chemicky a biologicky labilných substancií. Nedochádza ku koagulácii makromolekulárnych látok, s ktorou je obvykle spojená strata vody a tým koloidná disperzia zostáva zväčša zachovaná. Celkove možno povedať, že nenastane denaturácia bielkovín. Počas lyofilizácie ani po nej nemôže dôjsť k rastu mikroorganizmov a k enzymatickým podmieneným zmenám. Spravidla sa zachovávajú aj prchavé látky. Zlúčeniny podliehajúce oxydácii sú za podmienok vákua, kde niet kyslíka, stabilizované. Produkty vysušené za nízkych teplôt, najmä bielkoviny, majú pôrovitú štruktúru, lebo pri mrazovej sublimácii zmrznutý roztok, resp. látka nemení podstatne svoj objem. Následkom toho vytvorí lyofilizovaný materiál jemnú, hubovitú, suchú štruktúru, ktorá je nanajvýš hygroskopická, t. j. mimoriadne ľahko sa rozpúšťa.

## Zariadenie a prístroje na mrazovú sublimáciu

Už z pomenovania metódy vyplýva, že na technické uskutočnenie mrazovej sublimácie je potrebné:

1. zariadenie na zmrazovanie,

2. zariadenie na sublimáciu, t. j. na vlastné vysušenie zmrazeného materiálu.

1. Pri zmrazovaní materiálu platí požiadavka, aby sušenie, ktoré nadväzuje na zmrazovanie, prebiehalo čo najrýchlejšie. Na to sa materiál zmrazuje s čo najväčším povrchom a v čo najtenšej vrstve. Keď je možné, pevné látky, ako napríklad tkanivá sa rozkrájajú na tenké plátky alebo sa rozkúskujú a rozložia po najväčšej ploche na zmrazovanie. Najčastejšie sa však lyofilizujú tekutiny, ktoré sa zmrazujú najvýhodnejšie za pohybu. Tým, že sa nádoba uvedie, či už vo vodorovnej alebo zvislej polohe do rotačného pohybu, vytvorí v nej obsiahnutá tekutina po stenách plášť, ktorý jej dáva optimálne rozloženie a tým aj predpoklady pre rýchle vysušovanie.

Schladzovať možno :

- a) pomocou chladeného vzduchu,

- b) chladiacou tekutinou,

- c) tým, že sa tepelné straty počas odparovania využijú na zmrazovanie, t. j. odvádzaním latentného tepla.

Prestup tepla z materiálu do tekutiny je vždy väčší ako do plynu. Preto schladenou tekutinou možno oveľa rýchlejšie zmrazovať ako studeným plynom, resp. vzduchom. Látky, ktoré treba rýchlo zmrazovať, budú sa teda schladzovať pomocou zmrazovacej tekutiny. Ak nezáleží na rýchlosti zmrazovania, je výhodnejšie použiť vzdušné chladenie, lebo sa ním jednoduchšiearába. Spotrebou tepla pri odparovaní vody vzniká chlad, čím sa materiál zmrazí. Ak chceme napríklad v adiabatickom systéme premeniť 100 g vody 20 °C teplej na ľad o teplote -10 °C, musíme odvieť 10 500 kalórií. Keďže teplota odparovania vody je asi 540 kal/g, už odparením 17 g vody sa získa 83 g ľadu o teplote -10 °C. Z toho vidieť, že tretí postup, t. j. odňatie latentného tepla odparovaním je technicky veľmi výhodné pri lyofilizácii, keďže umožní rýchle zmrazovanie aj bez zvláštnej zmrazovacej aparatury. V praxi má však táto metóda niektoré nevýhody, napríklad, že nemožno pri nej dobre regulovať teplotu a rýchlosť zmrazovania. Veľké ťažkosti pri lyofilizácii robí často to, že tekutina sa následkom odsávania vzduchu spení. Materiál zmrazovaný v spenenom stave nemožno dokonale vysušiť, lebo jeho povrch akoby zrohovateľ, čo znemožní vystúpiť hlbšie položeným molekulám vody (7). Z uvedených príčin je predsa len lepšie miesto schladzovania odsávaním odvádzat teplo vzduchom alebo tekutinou, pričom nevzniká podtlak a tým ani spenenie.

2. Vlastné vysušovanie zmrazeného materiálu, t. j. mrazová sublimácia sa robí v aparature, ktorá sa skladá z troch častí. Sú to:

1. sušiareň,

2. zariadenie na odstránenie vodnej pary (kondenzátor),

3. čerpadlá na odsávanie vzduchu, t. j. na vytvorenie vákua.

Popri týchto hlavných zložkách lyofilizačnej aparatury treba sa zmieniť ešte o spojovacom kanáli, ktorý vedie zo sušiarne do kondenzátora, ako aj o príslušenstvách, z ktorých najdôležitejšie sú stroje na výrobu chladu a prístroje na meranie vákua.

1. Sušiareň, vlastne pracovný priestor, ktorý možno upraviť v zásade dvoma spôsobmi. Buď ako vákuovú trubicu alebo tzv. hrebeň, na ktorý sa pripájajú fľaštičky či ampulky, ktoré visia voľne vo vzduchu, buď ako vákuovú komoru, do ktorej sa vkladajú otvorené nádoby obsahujúce materiál určený na lyofilizáciu.

Podľa toho sa aj hovorí o hrebeňovej alebo komorovej sušiarňi. Prvá sa používa v laboratórnej práci, pri lyofilizácii malého množstva materiálu, kým druhá sa aplikuje tam, kde sa vysušujú veľké vsádzky biologického materiálu, ako je to pri konzervácii v priemyselnom rozsahu.

Na princípe hrebeňových sušičiek možno zostrojiť tie najjednoduchšie laboratórne zariadenia pre mrazovú sublimáciu. Tu sa schladzovanie a oteplenie urobí tak, že sa nádobky, resp. ampulky s materiálom priamo ponoria do chladiaceho alebo ohrievacieho kúpeľa.

Prečo treba materiál ohrievať, vyplýva už z výkladu fyzikálneho mechanizmu mrazovej sublimácie. Ako sme už uviedli, nad zmrazeným materiálom, čo sa vysušuje, ako aj nad čistým ľadom je istý tlak vodných pár, ktorý závisí od teploty. Keď sa v priebehu vysušovania vodné pary nepretržite odvádzajú, materiál v snahe udržať nad sebou tlak vodných pár vypúšťa ďalšie molekuly vody, t. j. odsublmuje sa ďalšia vlhkosť. To je endotermický proces, preto klesne teplota látky. Čím je teplota nižšia, tým pomalšie prebieha odsublmo- vanie vody, alebo inými slovami vysušovanie materiálu. Z hľadiska lyofilizač- nej praxe je to však nežiadúce. Naopak, vysušovanie treba urýchliť. To vy- žaduje počas vysušovania ustavičný prívod tepla k zmrazenému materiálu, aby sa uhradili tepelné straty spôsobené endotermiou odparovania. Zásadne možno teplo dodávať:

- a) prúdením (konvekciou),
- b) vedením, a to buď priamo cez tuhý vodič (kontakt s látkou), alebo
- c) nepriamo cez plyný priestor,
- d) žiarením.

V lyofilizačnej praxi konvekcia neprichádza do úvahy, lebo jej rýchlosť klesá s tlakom, ktorý je pri mrazovej sublimácii veľmi nízky. Moderné lyofilizačné prístroje majú vákuové komory vybavené doskami, ktorými preteká soľanka udržiavaná termostatom na požadovanej teplote. Takto možno chladiť alebo otepľovať podľa potreby. Vykurovanie sa robí aj elektricky alebo IČ-žiaričmi. Umožňuje to veľmi presné dávkovanie tepelnej energie. O jej množstve si môžeme urobiť predstavu na príklade. Na odparenie 5 g zo 100 g ľadu pri teplote 0 °C treba 3400 kal. Špecifické teplo ľadu je asi 0,5 kal./g. To znamená, že pri adiabatickej práci by mala teplota poklesnúť o 72 °C. Pri tejto teplote — ako vidieť z grafu na obr. 1 — je tlak vodných pár taký minimálny, že pri ňom prakticky už vôbec nenastáva vysušovanie. Preto treba teplo dodávať. Ak na to použijeme soľanku teplú 30 °C, musí za hodinu priviesť asi  $10^5$  kal, počítajúc s prechodom tepla 100 kal/m<sup>2</sup> za hodinu a stupeň. Výpočty tepelnej bilancie majú v lyofilizačnej praxi veľký význam. Sú potrebné na to, aby sa predišlo predávkovaniu tepla a tým prehriatiu materiálu, čo znehodnocuje najmä termolabilné zložky biologického materiálu.

2. Zariadenie na odstránenie vodnej pary je teoreticky veľmi zaujímavou a prakticky obzvlášť dôležitou zložkou lyofilizačnej apar- túry. Jeho funkcia vyplýva zo schémy na obraze 1. Vľavo je vákuová komora, v ktorej je materiál na sušenie, vpravo je znázornené zariadenie na odstrá-

nenie vodných pár, napríklad kondenzátor. Keby táto aparátúra pracovala pri atmosferickom tlaku, museli by sa dostať molekuly vody na základe difúzie ku kondenzátoru. Keby materiál mal teplotu  $-10^{\circ}\text{C}$  a teplota kondenzátora bola  $-60^{\circ}\text{C}$ , bol by rozdiel parciálnych tlakov vodných pár práve 1 Torr. ( $= 1 \text{ mm Hg}$ ). V prípade, že by komora od kondenzátora bola vzdialená na 50 cm a priemer spojovacieho kanálu bol 15 cm, odstránilo by sa za tohto tlakového spádu z materiálu za deň len asi 100 mg vody. (Difúzny koeficient vodných pár vo vzduchu pri 760 Torr a  $16^{\circ}\text{C} = 0,282 \text{ cm}^2/\text{sek.}$ ). Takto sa v praxi nedá pracovať. Treba zo systému vyčerpať vzduch, aby pomalú difúziu nahradilo rýchle prúdenie plynov, ktoré je schopné prenášať väčšie množstvá vodných pár. Len tak sa vysušenie za mrazu stáva vakuovým procesom, t. j. vákuovou sublimáciou.

Ako však nepretržite odstraňovať vodné pary, ktoré vystupujú z materiálu počas sušenia? Opäť je to možné viacerými spôsobmi. Tak, že sa

- a) para nepriamo odsaje,
- b) vlhkosť viaže na hygroskopické látky,
- c) vodná para vymrazuje na hlboko schladených plochách.

Počas lyofilizácie treba odstrániť značné množstvá vodných pár. Napríklad, ak sa má 10 l tekutiny s 90 % obsahom vody vysušiť za 36 hodín, treba odstrániť za hodinu priemerne  $250 \text{ cm}^3$  vody. Pri tlaku  $10^{-1}$  Torr je to asi  $3400 \text{ m}^3$  pary za hodinu. Na to, aby sa priamo odsávali takéto veľké množstvá pary, museli by sa použiť obrovské čerpadlá. Tento spôsob možno však použiť pri dehydratácii veľmi citlivých materiálov, ktoré treba vysušovať pri veľmi nízkych teplotách. Týmto sa množstvo odsublímovanej vody zníži na takú mieru, že ju zvládnu aj hospodárne pracujúce čerpadlá. Praktizuje sa to najmä pri lyofilizácii histologického materiálu.

Adsorpcia odsublímovanej vody na hygroskopické látky, akými sú napríklad kyslíčnik fosforečný, nemá asi žiadne zvláštne výhody. Naopak, manipulácia s chemikáliami, ich doplnenie a výmena robia značné ťažkosti. Odstraňujú sa tak preto, iba menšie množstvá vlhkosti; tento spôsob je vhodný azda len na dosušovanie. Pritom treba poznamenať, že pri procese sušenia sa rozlišuje hlavné sušenie (odstránenie súvislého ľadu) od dosušovania (odstraňuje sa voda adsorbovaná k povrchu materiálu).

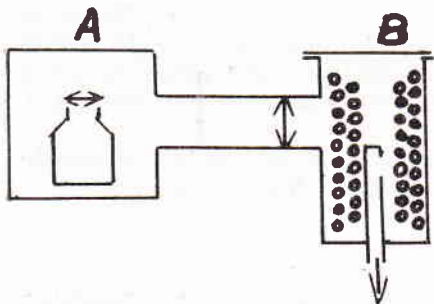
Hlavné sušenie sa robí obvyčajne pri tlaku pár  $10^{-2}$  Torr. Týmto sa mrazová sublimácia dostáva do oblasti vysokovakuových procesov.

Vymrazovanie vodnej pary na hlbokoschladených plochách je ďalší a pre lyofilizačné zariadenia väčšej kapacity jediný ekonomický únosný spôsob na odstránenie vysublímovanej vlhkosti. Tlak vodných pár nad takým kondenzátorom je limitovaný jeho teplotou; v prípade, že teplota je konštantná, nemení sa ani tlak. Naproti tomu tlak pár nad vysušovaným materiálom nepretržite klesá. Takto dôjde k okamihu, keď sa tlak nad kondenzátorom vyrovná tlaku pár nad vysušovaným materiálom. Potom už možno odstrániť ďalšie množstvo vlhkosti z vysušovaného materiálu. Jestvuje teda istá zvyšková vlhkosť, ktorú nemožno za daných podmienok z materiálu odstrániť a ktorá závisí od povahy vysušovanej látky, od teploty vysušovania a od teploty kondenzátora. Ak je takto definovaná zvyšková vlhkosť príliš vysoká pre príslušný materiál, t. j. ak je žiadúce, aby látka kvôli stabilite obsahovala ešte menší podiel vody, treba sušiareň od kondenzátora oddeliť a pristúpiť k druhej fáze vysušovania, ktorá sa označuje ako dosušovanie. Možno ho usku-

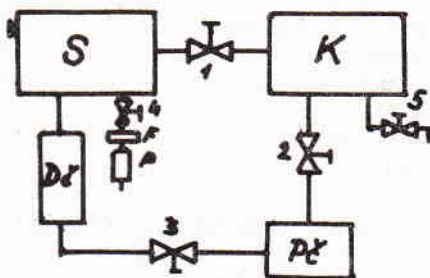


točníť — ako sme už uviedli — za pomoci hygroskopických látok a aj aparatury, ktorá je schematicky znázornená na obraze 2.

Pri tomto zariadení možno odsávať dvoma cestami, resp. zapojeniami. Pri hlavnom sušení sa deje odsávanie rotačným čerpadlom cez otvorené ventily číslo 2 a 1, t. j. cez kondenzátor. Ventil č. 3 je uzavretý, samozrejme, aj ventil č. 5. Pracuje sa teda akoby s dvoma čerpadlami, t. j. s kondenzátorom, ktorý



Obr. 1. Podstatné časti aparatury na vysušovanie za mrazu v komorovej sušiarňi (A), spojenej kanálom so zariadením na odstránenie vodných pár, t. j. kondenzátorom (B), z ktorého sa zospodu vysáva vzduch pomocou vákuového čerpadla.



Obr. 2. Schéma lyofilizačného zariadenia s dvoma sacími cestami pre hlavné sušenie a dosušovanie. S = sušiareň, K = kondenzátor, Dč = difúzne čerpadlo, Pč = predčerpadlo, Ventily č. 1 až 5. P = sušiacia patróna, F = filter bakteriologický.

zachytáva vodné pary, a potom s rotačnou pumpou, ktorá odvádza inertné plyny a zvyšné pary nachádzajúce sa nad kondenzátorom.

Pri dosušovaní sa difúzne čerpadlo spolu s rotačnou pumpou, ktorá pracuje ako predčerpadlo cez otvorený ventil číslo 3. Ventily č. 1 a č. 2 sú uzavreté. Počas dosušovania je teda kondenzátor vzdychotesne oddelený, preto ho možno v tom čase pripraviť na ďalšie sušenie, t. j. pripustiť doňho cez ventil č. 5 vzduch, odstaviť a nechať vytiecť vodu. Po ukončení celkového vysušovania sa do sušiarne napustí suchý, sterilný vzduch cez ventil č. 4, pred ktorým je bakteriologický filter (F) a adsorpčná patróna (P).

3. O čerpadlách na odsávanie vzduchu sa podrobne píše v špeciálnej technickej literatúre. Na tomto mieste možno iba poznamenať, že rotačné olejové pumpy na vzduch odsávajú vždy aj niečo vodných pár, a to aj v prípade, keď medzi vysušovaným materiálom a pumpou je zapojený kondenzátor, pretože nad ním je vždy nejaký zvyšok vodných pár. Ich tlak je napríklad pri teplote kondenzátora  $-60^{\circ}\text{C}$  asi  $10^{-2}$  Torr. Pri kompresii v rotujúcej pumpě sa však prekročí rosný bod vodných pár. To znamená, že voda sa vyvráža na čerpadlovom oleji, čo potom znemožňuje vytvoriť dostatočne vysoké vákuum. Odpomôcť sa dá dvoma spôsobmi. Buď sa olej, obsahujúci vodu, nepretržite vymieňa čerstvým, resp. regenerovaným olejom, alebo sa pomocou tzv. plynového balastu zamedzí vyvrážaniu vody na oleji. Podstata tohto systému je v tom, že sa dodatočne, istou synchronizáciou, vpúšťa vzduch do čerpadla, čím sa tlakové pomery znižujú a výfukový ventil otvorí skôr, než nastane kondenzácia vody.

Nakoniec treba sa ešte v spojitosti s lyofilizačnými prístrojmi zmieniť o prí-

sľušenstve čiže o pomocných aparátúrach. Sem patrí predovšetkým zariadenie na výrobu chladu. Chlad je obyčajne potrebný na dvoch miestach lyofilizačnej aparatury. Predovšetkým na chladenie kondenzátora, samozrejme, len vtedy, keď sa pracuje na princípe kondenzácie vodných pár, a potom na zmrazovanie materiálu, ak sa to nerobí odvádzaním latentného tepla odparovaním, ako sme to už opísali. Kondenzátor lyofilizačného zariadenia môže byť schladzovaný buď suchým ľadom, alebo zmrazovacím agregátom. O voľbe rozhoduje otázka hospodárnosti. Malý laboratórny prístroj s kondenzačnou kapacitou do 500 g ľadu za vsádzku možno chladíť suchým ľadom. Pri väčších aparátúrach by už bola spotreba pevného CO<sub>2</sub> pre mrazovú sublimáciu príliš vysoká, teda nevhodná. V takýchto prípadoch sa použije na chladenie kompresorový agregát. Sušiareň sa schladzuje do -30 °C cirkulujúcou soľankou za pomoci jednostupňového agregátu. Na dosiahnutie nižších teplôt, potrebných najmä v kondenzátore (-60 °C až -70 °C), sú potrebné dvojstupňové agregáty s jedným vysoko — a jedným nízkotlakovým kompresorom.

Meranie vákua na viacerých miestach lyofilizačného zariadenia je potrebné na to, aby proces mrazovej sublimácie bol stále pod kontrolou, aby sa mohli odstrániť nepravidelnosti, resp. odchýlky od predpisanej teploty a podtlaku a aby sa hneď zbadalo ukončenie vysušovania. Na tento účel sa používajú najmä termoelektrické vákuometre a alfatrón, ktorý obsahuje v meracej trubici rádioaktívny preparát. Množstvo iónov, ktoré sa vytvára v dôsledku vyžarovania — častíc za časovú jednotku je úmerné súhrnnému tlaku vodných pár a inertných plynov. Tieto vákuometre bývajú ciachované v rozsahu od 1 do 10<sup>-4</sup> Torr.

Do príslušenstva lyofilizátora možno zahrnúť ešte aj vhodné technické zariadenie na stanovenie zvyškovej vlhkosti. Táto vlhkosť sa pohybuje pri dosušovanom materiáli zväčša pod hranicou 0,5 ‰. Takéto malé množstvá vlhkosti sa najlepšie stanovujú titračnou metódou podľa K. Fischera (8).

## S ú h r n

Vychádza sa z teoretických základov konzervácie biologického materiálu, pričom osobitný zreteľ sa venuje fyzikálnochemickým procesom, ku ktorým dochádza pri zmrazovaní a vysušovaní. Z nich vyplývajú podstatné výhody vysušovania za mrazu čiže lyofilizácie ako najšetrnejšej metódy na zachovanie prirodzených vlastností labilných látok.

Opisujú sa aparatury na mrazovú sublimáciu, najmä ich časti slúžiace na zmrazovanie (vzduchom, soľankou a priamym odparom) a na vlastné vysušenie zmrazeného materiálu) sušiarne, kondenzátory, vákuové čerpadlá), ako aj pomocné príslušenstvo, ku ktorému sa počíta výrobnik chladu, vákuometer a zariadenie na stanovenie zvyškovej vlhkosti.

Rozvádzajú sa optimálne pracovné podmienky pre mrazovú sublimáciu vo vzťahu k vlastnostiam vysušovaného materiálu, sprevádzané názornými príkladmi a poukazuje sa na spôsoby realizácie najvhodnejšej pracovnej techniky v praxi.

## Literatúra

1. Arpai J., Behúň M., a Duchoň T., Čsl. hygiena 5, 429, 1960.
2. Arpai J.: Die Kälte 18, 35, 1965.
3. Neumann K. H., Grundriss d. Gefriertrocknung. Göttingen 1955.
4. Flosdorf E., Freeze — Drying. New York 1949.
5. Mikeš O., Laboratorní technika biochemie, red. B. Keil, Z. Šormová, Praha 1959.
6. Matz G., Vakuum Technik 3, 9, 1955.
7. Tschudin K., Helv. phys. Acta 19, 91, 1946.
8. Mitchell J., Smith D. M., Aquametry. New York 1948.

## Физико-химические и технические основы лиофилизации

### Выводы

Автор исходил из теоретических основ консервирования биологического материала, уделяя при этом особое внимание физико-химическим процессам, происходящим при замораживании и высушивании. Из них видно значительное преимущество высушивания при низких температурах, т. е. лиофилизации. При этом методе оптимально сохраняются врожденные свойства лабильных биологических веществ.

В работе описаны различные технологические способы и аппаратура, служащие для лиофилизации, а также и методика для разных видов материала.

## Physico-chemical and Technical Fundaments of the Freeze-drying

### Summary

Theoretical fundaments of the preservation of biological material with special regard to physico-chemical processes during the freezing and drying. Resulting essential advantages of the freeze-drying or lyophilisation as most economical preserving method of natural qualities in labile substances.

The devices for freeze-drying especially their parts for the freezing (by the air, brine and direct evaporation) and drying of the frozen material (drying plant, condensers, vacuum pumps) and also accessories including refrigeration plant, vacuumeter and the device for the determination of residual humidity are described. The analysis of optimal working conditions for the freeze-drying in the relation to the qualities of the dried material accompanied by the representative examples and showing the methods for the realization of the most convenient working technique for the practice.