

## CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ S NUCENOU CIRKULACÍ CHLADIVA V ZÁVODECH POTRAVINÁŘSKÉHO PRŮMYSLU

JAROSLAV VOGL

ČKD Praha, závod Sokolovo

Československý průmysl těžkého strojírenství zaznamenává od konce druhé světové války stále větší rozmach.

Jedním z oborů u něhož růst výroby je větší než je průměrný růst výroby celého těžkého strojírenství je obor průmyslových chladicích zařízení, jehož gestorem je n. p. ČKD Praha. Význam tohoto oboru stoupá hlavně v chemickém a potravinářském průmyslu, použití chladu však roste i v mnoha jiných odvětvích národního hospodářství.

S rozvojem průmyslových chladicích zařízení jsou projekční organizace a výrobní podniky stavěny před úkol řešit hospodárný systém chlad. zařízení, které bude zajišťovat nejlepší technicko-ekonomické ukazovatele, snížení váhy zařízení, investičních nákladů a vytvářet předpoklady pro automatizaci provozu.

K zajištění shora uvedených hledisek byla našim podnikem vyvinuta celá řada nových strojů a aparátů a celá zařízení neb jednotlivé okruhy jsou řešeny novými způsoby.

U chladicích zařízení pro potravinářský průmysl řešených našim podnikem v posledních letech (mrazírny Prešov, Martin, pivovary Topolčany, Rimavská Sobota) bylo použito ke zlepšení uvedených hledisek mimo jiné nucené cirkulace chladiva.

Přednáška v souhrnu přináší poznatky a zkušenosti, získané při projekci a provozu těchto zařízení.

### I. Princíp, výhody

#### Princíp

Nuceným oběhem (recirkulací) chladiva nazýváme takový oběh, kdy se do výparníku přivádí větší množství kapalného čpavku, než jaké se v něm vypaří. Z výparníku se páry s přebytkem kapaliny odvádějí do nádoby nazývané oběhový sběrač nebo expanzní nádoba. V nadobě se odloučí kapalné chladivo od par odsávaných kompresorem a kapalné chladivo je znova dopravováno do výparníku čerpadlem.

#### Výhody

1. Nucenou cirkulaci chladiva je možno s výhodou použít tam, kde u starších zařízení byla používána solanka.

2. Proti použití přímého vypařování bez nucené cirkulace je velkou výhodou soustředění regulačních míst do strojovny. Tím se zjednoduší obsluha, zvláště u velkých objektů s rozsáhlými a členitými rozvody a zvýší se bezpečnost provozu.

3. Při zaplavení chladičů horem po uzavření vstupu kapaliny je chladič vyprázdněn a připraven k odtátí. V případě, že se jedná o vychlazování prostorů na nadnulové teploty, chladič po uzavření vstupu kapalného čpavku odtaje.

4. Při způsobu zaplavení popsaném v bodě 3 — je olej z chladičů vyplavován do oběhového sberače, odkud ho lze snadno vypouštět.

5. Při zaplavení horem je malá náplň chladiva, což je výhodné z bezpečnostních důvodů.

6. Dokonalé rozdělení chladiva do většího počtu chladičů.

7. Možnost nasátí kapaliny kompresorem při správném uspořádání okruhu je vyloučena.

8. Krátké sací potrubí kompresoru a tím malé přehřátí par chladiva.

9. Zlepšení přestupu tepla na straně chladiva zvýšením rychlosti chladiva, dokonale zaplaveným povrchem, odváděním par a odstraňováním oleje.

## II. Typy čerpadel vhodných pro okruhy s nucenou cirkulací chladiva

U námi projektovaných a dodávaných zařízení bylo dosud použito dvou typů čpavkových čerpadel: *zubových* — výrobek rakouské firmy LUKO a *odstředivých* od fy Witt z NSR (obr. č. 1 a č. 2).

Zubová čerpadla LUKO, která byla použita u některých zařízení pro kluziště dodávaných našim podnikem, měla celou řadu výrobních a provozních nedostatků. Proto pro další zařízení byla dovezena čerpadla od fy Witt.

U instalovaných zařízení bylo použito dvou typů čerpadel — *jednostupňových* typu AFP-51 a *dvoustupňových* AFP-52.

Jedná se o radiální odstředivá čerpadla.

Protože uvedená čerpadla byla navržena pro řadu zařízení, byly u prvních objektů daných do provozu (mraz. Prešov a Sportovní hala) provedeny zkoušky těchto čerpadel.

Během zkoušek bylo měřeno a zjišťováno:

1. Přezkoušení mechanických vlastností čerpadel typu AFP-51 a AFP-52.

U všech zkoušených čerpadel (3 ks AFP-51 a 2 ks AFP-52) byl provoz bez závad. Těsnost ucpávek byla velmi dobrá, k úniku čpavku nedošlo. Tato skutečnost je dnes již doložena asi dvouletým chodem těchto čerpadel bez závad.

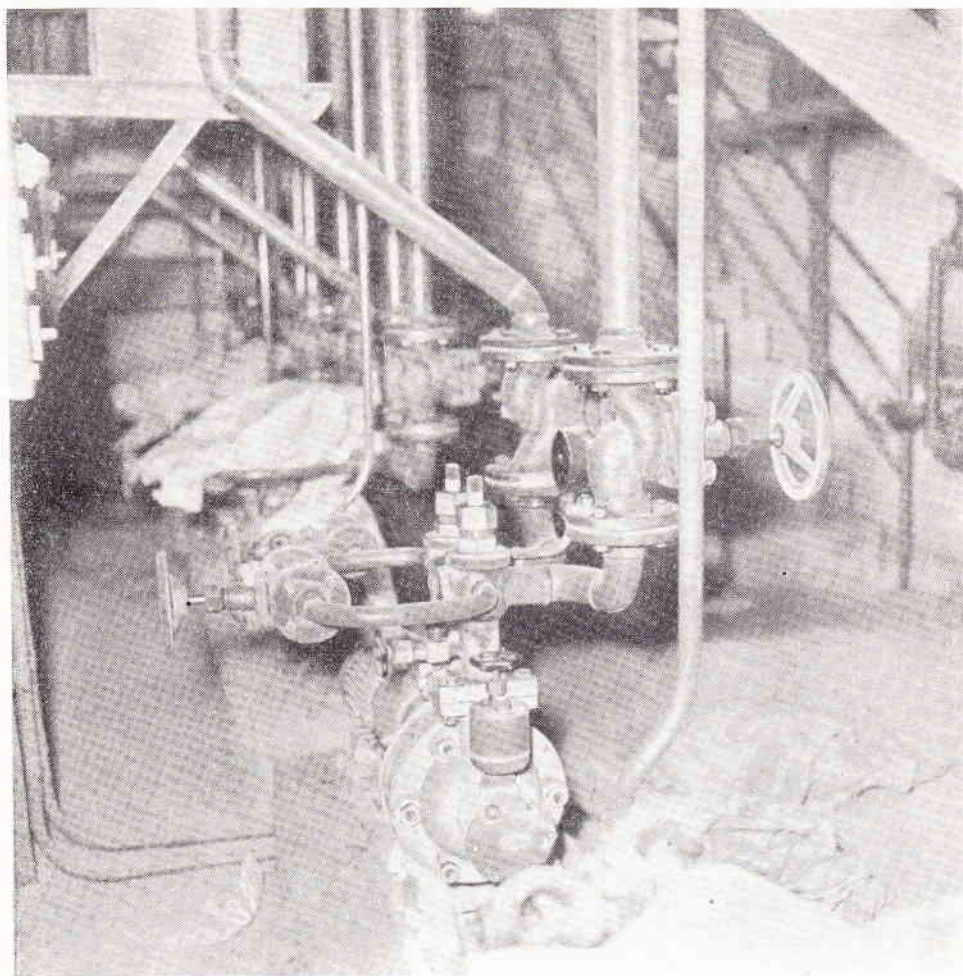
2. Ověření výkonu čerpadla AFP-51 udaného výrobcem.

Garantované hodnoty výrobcem byly 3 m<sup>3</sup>/hod při H - 34 m kap. sl.

Výkon čerpadla byl zjišťován při následujících podmínkách.

Tlak v sání čerpadla . . . . .	1,8 ata
Tlak ve výtlaku čerpadla . . . . .	4,3 ata
Teplota v sání čerpadla . . . . .	-25 °C
Tlak v exp. nádobě . . . . .	1,55 ata

Výkon čerpadla byl zjištěn na základě měření obíhajícího množství pomocí clony zabudované ve výtlaku čerpadel. K zjištění obíhajícího množství byly měřeny — tlak a teplota čpavku v místě clony, rozdíl tlaků před a za clonou. (obr. č. 3).



Obr. 1. Mrazírna Prešov-strojovna. Boční pohled na čpavkové čerpadlo typu AFP-51-Witt v čase zapojení.

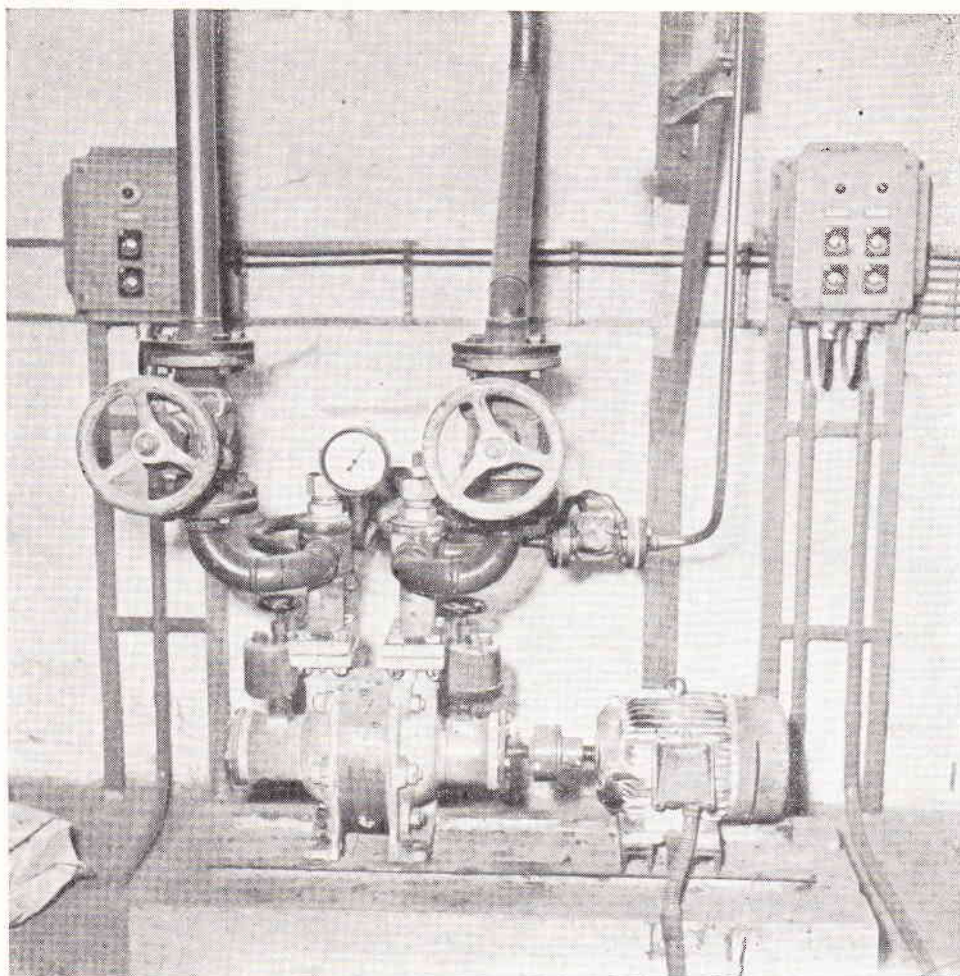
Z naměřených hodnot byl zjištěn výkon čerpadla  $5,5 \text{ m}^3/\text{hod}$  při  $H - 38 \text{ m}$  kap. sl.

Z výsledku měření je patrné, že čerpadla mají větší výkon než udává výrobce. Proto byla provedena kontrola, zda se v sacím potrubí čerpadla netvoří pára.

Měřením bylo zjištěno, že tlak v čerpadle je  $1,80 \text{ kg/cm}^2$ . Tento tlak se skládá z tlaku vypařovacího, výšky kapaliny v sání čerpadla a ztráty třením v sání čerpadla, tj.  $p_s = 1,550 + 0,411 - 0,61 = 1,80 \text{ kg/cm}^2$ .

Při rozdílu tlaků  $1,80 - 1,55 = 0,25 \text{ kg/cm}^2$  je tepelný obsah  $1 \text{ kg}$  čpavku  $3,55 \text{ kcal}$ . Při provozu jednoho čerpadla je cirkulující množství (dle údajů výrobce)  $2.020 \text{ kg/hod}$ . Potřebné množství tepla, které je třeba přivést, aby došlo k vypařování čpavku je  $7.170 \text{ kcal/hod}$ . V případě, že předpokládáme, že obíhající





Obr. 2. Mrazírna Prešov-strojovna. Čelní pohled na čpavkové čerpadlo typu AFP-51-Witt v čase zapojení.

množství je  $5,5 \text{ m}^3/\text{hod}$  jak bylo naměřeno tj.  $3700 \text{ kg}/\text{hod}$ , potom množství tepla je  $13.100 \text{ kcal}/\text{hod}$ .

Vypočítané ztráty přestupem tepla izolovaného sacího potrubí čerpadla, neisolovaného čerpadla a prací čerpadla jsou pouze  $2.500 \text{ kcal}/\text{hod}$ , takže tvoření páry nemohlo nastat.

Zkouškou bylo zjištěno, že čerpadlo přestává čerpat při přetlaku asi  $2,7 \text{ atp}$  tj. při  $H - 40 \text{ m kap. sl.}$

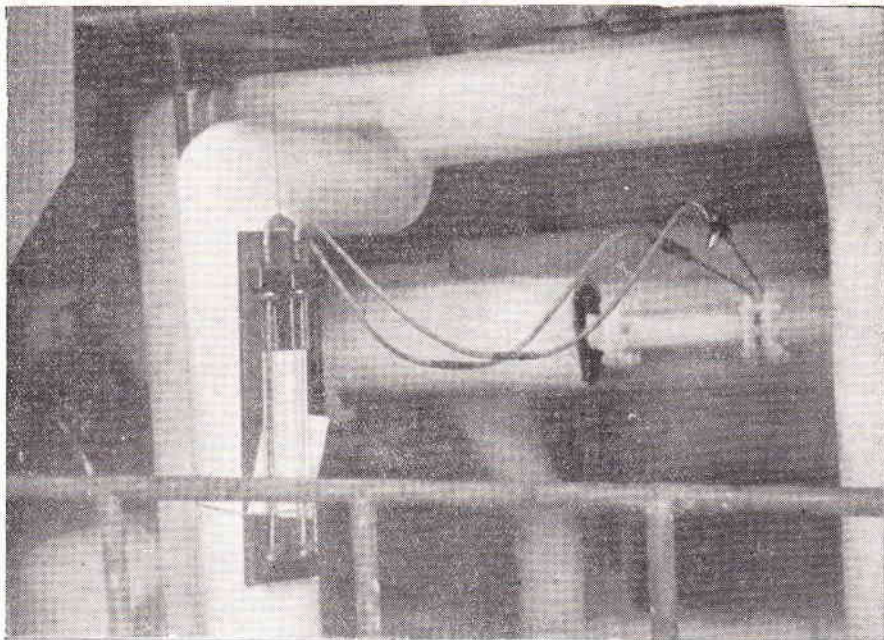
3. Zjištění minimální nátokové výšky čerpadla.

U typu AFP-52 bylo zjištěno, že při teplotě vypařovací  $-10^\circ \text{C}$  je minimální nátoková výška as  $0,7 \text{ m}$ .

Při uspořádání čpavkových čerpadel v okruzích s recirkulací čpavku je třeba vzít v úvahu tyto skutečnosti.

a) Čerpadla mají být umístěna přímo pod expanční nádobou, přírodní potrubí má být krátké a správně dimensované, aby tlakové a tepelné ztráty byly malé. Čerpadla mají mít dostatečnou nátokovou výšku, aby nenastávalo vypařování v sacím potrubí.

b) Fa. Witt udává, že čerpadla mohou dopravovat směs čpavkových par a kapaliny, ovšem při snížení dopravovaného množství.



Obr. 3. Mrazírna Prešov-strojovna. Clona ve výtlaku čpavkového čerpadla.

c) Na výtlačném potrubí čerpadel se doporučuje instalovat pojišťovací přepouštěcí ventil, kterým po uzavření vstupů do chladičů a stoupnutí tlaku se vrací kapalina do expanční nádoby.

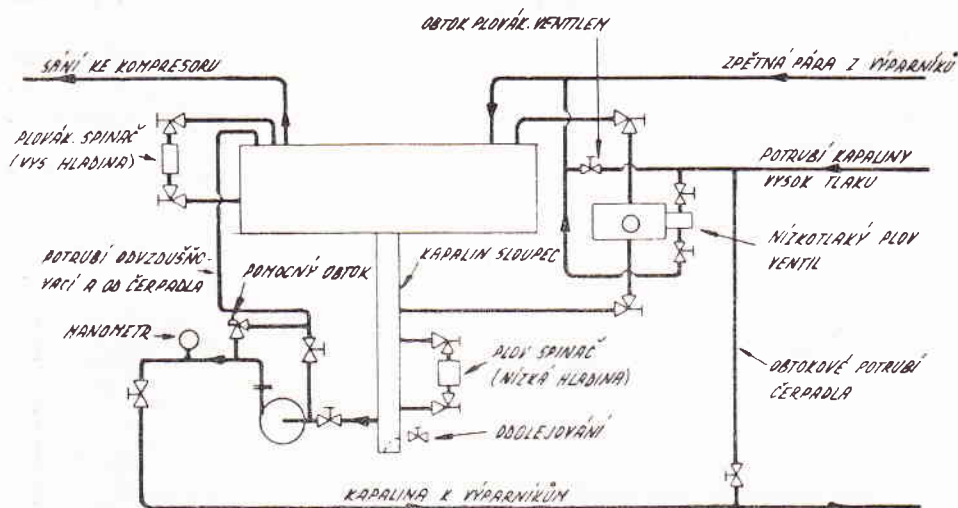
d) Po uzavření vstupů do chladičů má být čerpadlo vypnuto. U odstředivých čerpadel běh naprázdno nevedí.

e) Čerpadla mají být dimensována na množství as 4—6 krát větší než se vypaří ve výparnících.

f) Pro případ poruchy čerpadla se doporučuje instalovat v potrubí ohoz.

g) Sání čerpadla má být propojeno s parním prostorem expanční nádoby, aby se odsály případně vzniklé páry.

h) Při zaplavení chladičů spodem se doporučuje do výtlaku čerpadel instalovat



Obr. 4. Typické uspořádání čpavkového čerpadla a expanzní nádoby.

zpětnou klapku, aby v případě vypnutí čerpadla nenastalo zpětné proudění kapaliny z chladiců přes čerpadlo do expanzní nádoby.

Zapojení čerpadla s expanzní nádobou viz obr. 4.

### III. Expanzní nádoba (oběhový sběrač)

má dvě funkce:

1. odlučuje se v ní přebytečná kapalina z par před sáním kompresoru,
2. shromažďuje se v ní podle potřeby kapalné chladivo z chladiců.

Pro návrh expanzní nádoby platí:

a) Nádoba může být řešena jako horizontální neb vertikální.

b) Velikost exp. nádoby je závislá na umístění vůči chladicům a na způsobu zapojení (zaplavení chladiců shora nebo spodem).

Při zapojení chladiců spodem je obsah expanzní nádoby 70—100 % obsahu chladiců, při zapojení horem 25—40 %.

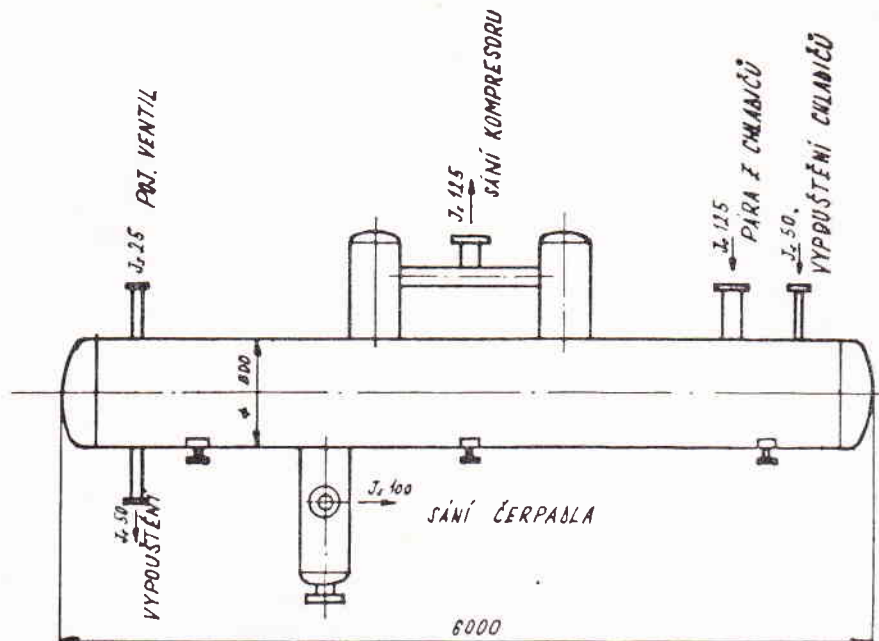
c) Parní prostor nádoby má být dimensován tak, aby zde nastalo dokonalé odloučení kapaliny. Rychlost par v parní části nemá být větší než 0,8 m/sec.

d) Vůči chladicům může být exp. nádoba umístěna kdekoliv, k vůli odtávání, vypouštění oleje z chladiců je lépe umístit exp. nádobu pod úroveň chladiců.

Pro objekty uvedené vpředu byla s ohledem na disposiční řešení volena expanzní nádoba o obsahu 3 m<sup>3</sup>. Protože u všech objektů s výjimkou pivovaru Rim. Sobota je provedeno zaplavení chladiců spodem je expanzní nádoba doplněna vypouštěcím sběračem.

Navržena expanzní nádoba je kotlová ležatá (obr. č. 5). K dokonalému odloučení kapalného chladiva z par je parní prostor dimensován tak, aby rychlost





Obr. 5. Expansní nádrž 3 m<sup>3</sup>.

par byla 0,6—0,7 m/sec. Nádoba má dva parní dómy, kde rychlost par je uvažována 0,8—0,9 m/sec.

Kapalinový prostor je opatřen jímkou. Tím je zajištěna možnost umístění čerpadel přímo pod expansní nádobu a docílit co možná nejmenší tlakové ztráty v sání čerpadel. Kapalinová jámka současně zabraňuje nasátí případných nečistot z okruhu čerpadlem.

#### IV. Zapojení chladičů

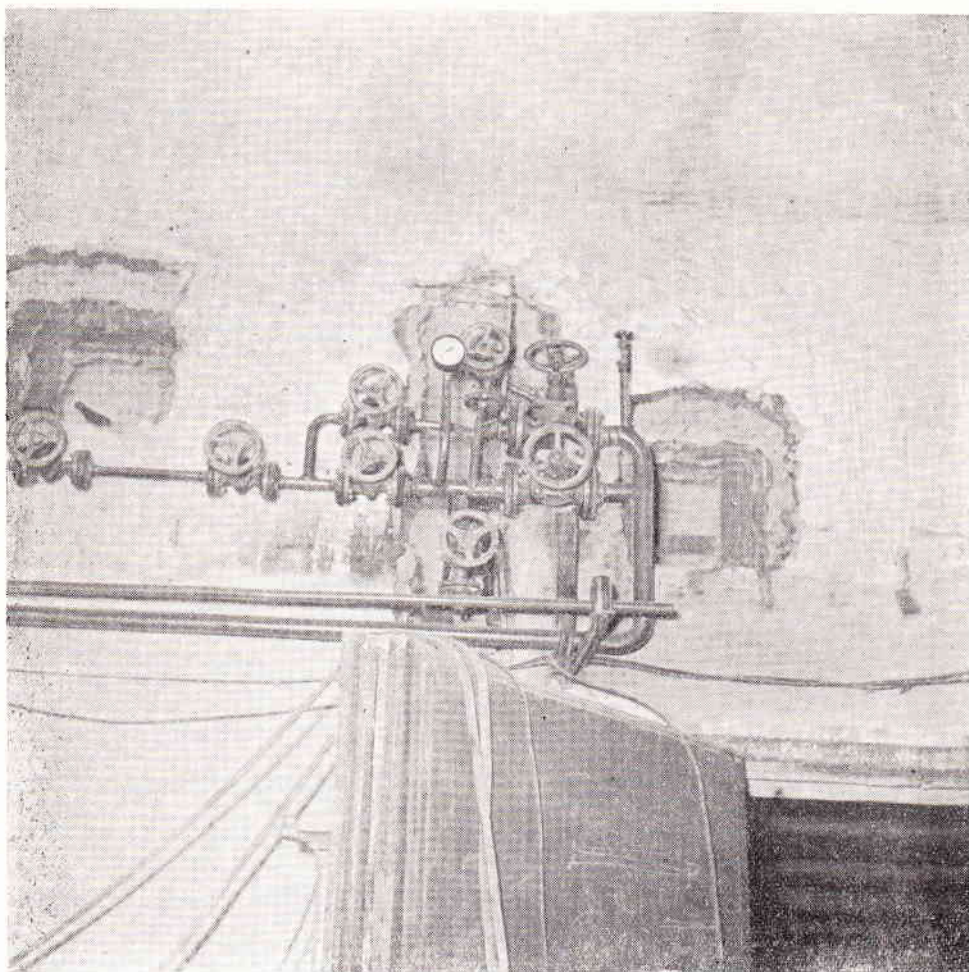
Na způsob zapojení chladičů jsou rozdílné názory. Část autorů, zabývajících se problémem recirkulace chladiva doporučuje zaplavení horem, druhá část zaplavení spodem.

Je zřejmé, že každý z uvedených způsobů má svoje výhody. Proto je třeba při návrhu způsobu zaplavení uvážit jednotlivé výhody.

Zapojení spodem dle některých autorů (Stoecker, Lorentzen) je výhodnější proto, že součinitel přestupu tepla je při tomto způsobu zapojení lepší. Uvedená fakta podložená měřeními platí však pouze pro určité výparníky. Jak však dokazují jiní autoři (Richards) je třeba zvážit pro jaký účel a podmínky je okruh nucené cirkulace použit.

Proto při návrhu zapojení chladičů a způsobu jejich zaplavení je nutno mít na zřeteli tyto skutečnosti:

1. Druhy výparníků — chladičů.
2. Počet chladičů v jednotlivých okruzích.



Obr. 6. Mrazírna Prešov-III. patro. Rozdělovací stanice pro sklad č. 47 — propojení chladičů spodem i horem.

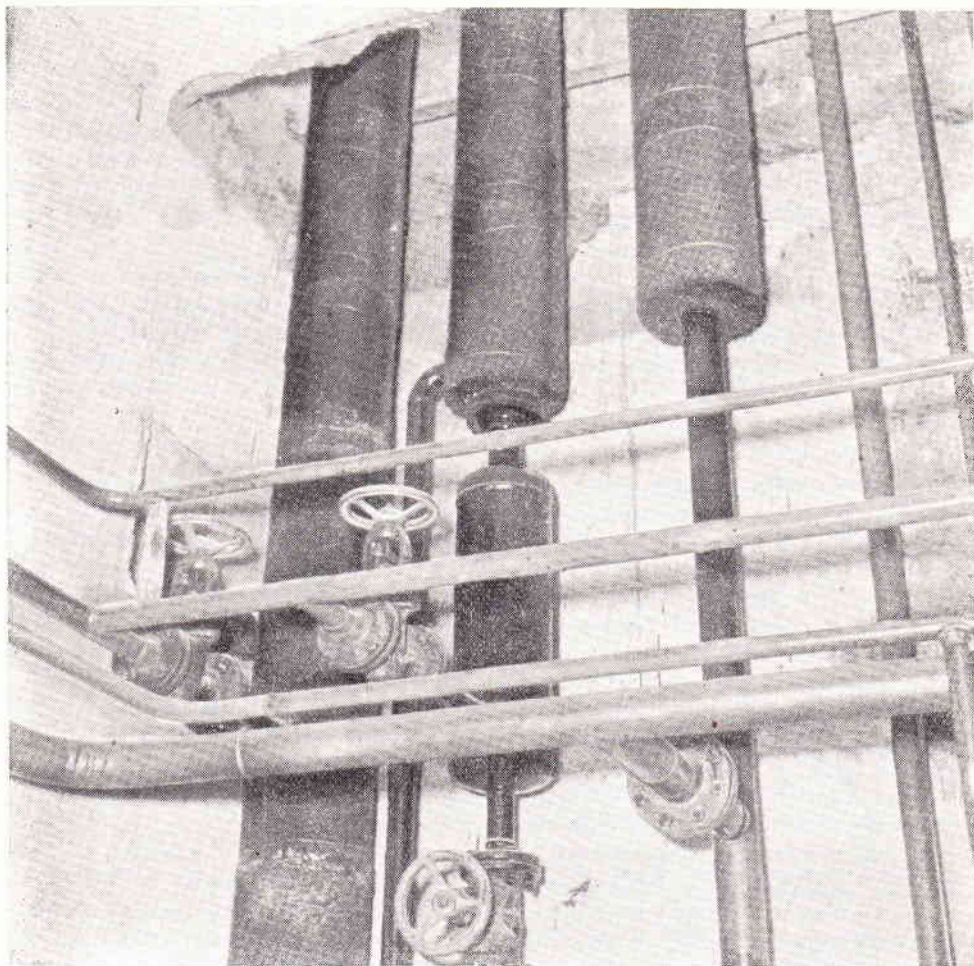
### 3. Zatížení chladičů

#### 4. Celkové uspořádání chladičů v okruhu případně ve více okruzích.

Při návrhu způsobu zaplavení je nutno určit výstupní rychlost směsi par a kapaliny chladiva a tlakovou ztrátu v chladiči. Pro velké výstupní rychlosti a tím velké tlakové ztráty se doporučuje zaplavení spodem. U trubkových chladičů je v literatuře doporučováno zaplavení spodem.

V případě, že se jedná o větší počet chladičů různých typů umístěných v rozlehlých objektech jako jsou např. mrazírny a masokombináty, pivovary, mlékárny atd., doporučuje se použít cirkulační systém se zaplavováním chladičů horem. Případné snížení součinitele přestupu tepla je vyváжено jednodušší manipulací, větší pohotovostí při odtávání, stálým odstraňováním oleje z chladičů.





Obr. 7. Mrazírna Prešov-stupačka. Pohled na stupačku zásobníkem IV. patra v zapojení kaskádou.

Při použití zaplavování chladičů spodem, uvádějí někteří autoři jako výhodu, že po uzavření solenoidových ventilů zabudovaných na vstupu kapalného chladiva do chladiče je prostor dále vychlazován odsáváním čpavku z chladiče. Po zkušenostech z provozu zařízení stejného typu v mraz. Prešov nemůžeme uvedenou skutečnost potvrdit. Naopak jak z provozu je zřejmo, dochází k podchlazování vychlazovaných prostorů a tím k nedodržování teplotního režimu mrazírny. Další závadou je shromažďování kapaliny ve vysokotlaké části okruhu. Není-li s touto skutečností počítáno při návrhu sběrače čpavku, dochází k zaplavování kondensátorů a tím ke snížení kondensátorové plochy. Aby k uvedenému zjevu nedocházelo, je nutno zavírat ventily na výstupním potrubí z chladiče. Při roz-

sáhlych objektech z provozních důvodů to znamená zabudovat solenoidové ventily — tím se však zvyšuje cena zařízení.

U objektů budovaných naším nár. podnikem (Prešov, Martin, Topolčany) bylo použito zaplavování spodem. Důvodem byla skutečnost, že s projekcí a provozem podobných zařízení nebylo dosud žádných zkušeností a zaplavení spodem skýtalo větší záruky správné funkce zařízení. U prvního objektu, kde bylo použito zařízení s nucenou cirkulací tj. mrazírny Prešov bylo ve dvou podlažích ve IV. a III. patře použito možnosti zaplavování chladičů spodem i horem (obr. č. 6) a celý objekt je řešen ještě na zaplavení pomocí kaskády, kdy je čpavek čerpadly dopravován do kolektoru v nejvyšším místě objektu. Z kolektoru je zásobován zásobník IV. patra, přebytečná kapalina přepadá do zásobníčku III. patra atd. Z posledního zásobníčku přepadá přebytečná kapalina zpět do exp. nádoby.

Funkční zkoušky prokázaly spolehlivou funkci dvou alternativ zapojení tj. zaplavování chladičů spodem a horem. Při provozu zařízení se zapojením pomocí kaskády (obr. č. 7) pracoval okruh s touto závadou:

Vzhledem k malému tlakovému přetlaku před regulačními ventily oproti vypořovacímu tlaku vyvolanému výškou hladiny v zásobníčku patra byla velmi obtížná regulace. To vedlo k nestejnoměrnému vychlazování skladů.

Pro další patra tj. II, I a přízemí byl již volen pouze způsob zaplavování chladičů spodem, s ohledem na danou velikost expansní nádrže.

Tepelné vyhodnocení nebylo možno provést z toho důvodu, že funkční zkoušky probíhaly po dlouhodobé rekonstrukci mrazírny a vzhledem ke zpoždění montážních prací byla doba určená na zkoušky příliš krátká, aby bylo možno docílití ustáleného stavu předpokládaného projektem.

Nepříznivým faktorem byla skutečnost, že byla uvedena do provozu pouze část okruhu. Dalším zásahem byla změna typů chladičů ve IV. patře na žádost investora. Tím bylo použito pouze nástropních chladičích svazků, kde se případný vliv statické výšky čpavku v chladiči vzhledem ke konstrukci prakticky nemohl projevit, protože se jednalo o podstropní žebrovicové svazky.

Na základě ověření funkce okruhu při zaplavování chladičů horem bylo při projekci dalšího zařízení pro pivovar Rimavská Sobota použito zaplavení veškerých chladičů horem. V případě pivovaru, kde se jedná o vychlazování prostorů s nadnulovými teplotami je toto uspořádání obzvláště výhodné. Po uzavření solenoidového ventilu na vstupu do chladiče, kapalný čpavek vyteče z chladiče a námraza z chladiče odtává.

## V. Propojovací potrubí

Pro dobrou funkci okruhu a dosažení nejlepších hodnot je nutno propojovacímu potrubí věnovat patřičnou pozornost. Správná volba rozměrů potrubí má vliv na určení velikosti čerpadla. Dopravní výška čerpadla musí být navržena na součet statické výšky, odporů v sacím a výtlačném potrubí a tlakový spád škrtícího orgánu před chladičem.

K odškrcení přetlaku způsobeného čerpadlem před vstupem kapalného čpavku do chladiče se používá ručních regulačních ventilů. Protože tyto ventily pracují za jiných podmínek než při použití v okruhu bez nucené cirkulace je nutno velikost ventilu určit výpočtem. Ve většině případů bude ruční regulační ventil menší než připojovací potrubí k chladiči.

Důvodem je jiné obíhající množství a jiný tlakový rozdíl před a za ventilem. Tento tlakový rozdíl se volí 0,5—0,7 kg/cm<sup>2</sup>. V literatuře jsou doporučeny tyto velikosti regulačních ventilů: Js 15- do 200 l/hod, Js 20 pro 200—650 l/hod, Js 25 pro 650—1100 l/hod, Js 32 pro 1100—1800 l/hod, Js 40 pro 1800—2700 l/h. Uvedená množství jsou navržena pro přetlak 0,7 kg/cm<sup>2</sup>. U zařízení dodaného pro mrazírnu v Prešově jsou regulační ventily stejného rozměru jako přípojovací rozměry chladiče, t. zn. že jsou předimenzovány. Funkčně ventily vyhovují, citlivost škrcení je však menší a ventily jsou velmi přivřeny.

Jsou-li k odškrcení tlaku zabudovány clonky musí být navrženy pro individuální požadavky.

Při návrhu potrubí je třeba provést kontrolu, zda vlivem tepelných ztrát nedojde k tvoření par v potrubí.

## Z á v ě r

Nucená cirkulace přináší značné výhody — ekonomické a provozní. Použitím cirkulace čpavku u rozsáhlých zařízení jaká jsou většinou v závodech potravinářského průmyslu se vytváří předpoklady pro bezpečný provoz případně plnou automatizaci zařízení. Zaváděním chladících zařízení s tímto systémem zapojení sleduje náš chladírenský průmysl světový směr.

## P o u ž í t á l i t e r a t u r a

1. E. Ščerbakov — Bezporuchové chladicí zařízení. Mjasnaja industria 5/1955.
2. N. V. Jakovlev — Čpavková cirkulační čerpadla. Sborník — Chłodilnaja technika 1955.
3. H. Witt — Oběhová čerpadla na čpavek. Kältetechnik 10/1956.
4. W. C. Matthew — Liquid ammonia recirculation application. Refrigerating engineering 1/1958.
5. V. Richards—Liquid ammonia recirculation Systems. Industrial Refrigeration 6/1959.
6. W. B. Scotland — Ammonia liquid pump recirculation. systems — Modern Refrigeration 11/1959.
7. W. B. Scotland — An analysis of an ammonia liquid pump recirculation system — Modern Refrigeration 12/1962.
8. Nucená cirkulace chladiva (Závěrečná zpráva úkolu technického rozvoje ČKD).

Anquez M. T., Tiersonnier B.

Rey L. R.

Náklady na chladiarenské zariadenie (Le coût de l'équipement frigorifique). Náklady na chladiarenský závod pozostávajú z týchto položiek: projekt a pozemok, stavba budovy, izolácia, chladiace zariadenie, prísunové a expedičné zariadenia, cesty a manipulačné pomôcky. Náklady na modernú chladiareň vo Francii, pričom autori poukazujú na zníženie týchto nákladov v posledných rokoch pre používanie nového stavebného materiálu. 1963, Rev. gén. Froid, 40, č. 5, s. 491—495.

Všeobecné princípy lyofilizácie potravín (Principes généraux de la lyophilisation alimentaire). Rôzne stupne lyofilizačného procesu. Zmrazovacia technika. Možnosti ďalšieho mechanického a tepelného spracovania už zmrazeného materiálu. Potreba automatickej regulácie sublimačnej fázy. Ekonomické hľadiská priemyselnej lyofilizácie. Možnosť zaradenia odbytu lyofilizovaných výrobkov do siete chladených a mrazených výrobkov. Perspektívy ich odbytu vo veľkom. 1963, Rev. gén. Froid, 40, č. 1, s. 83—101.